



УНИВЕРСИТЕТ ИТМО



КОНГРЕСС МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ

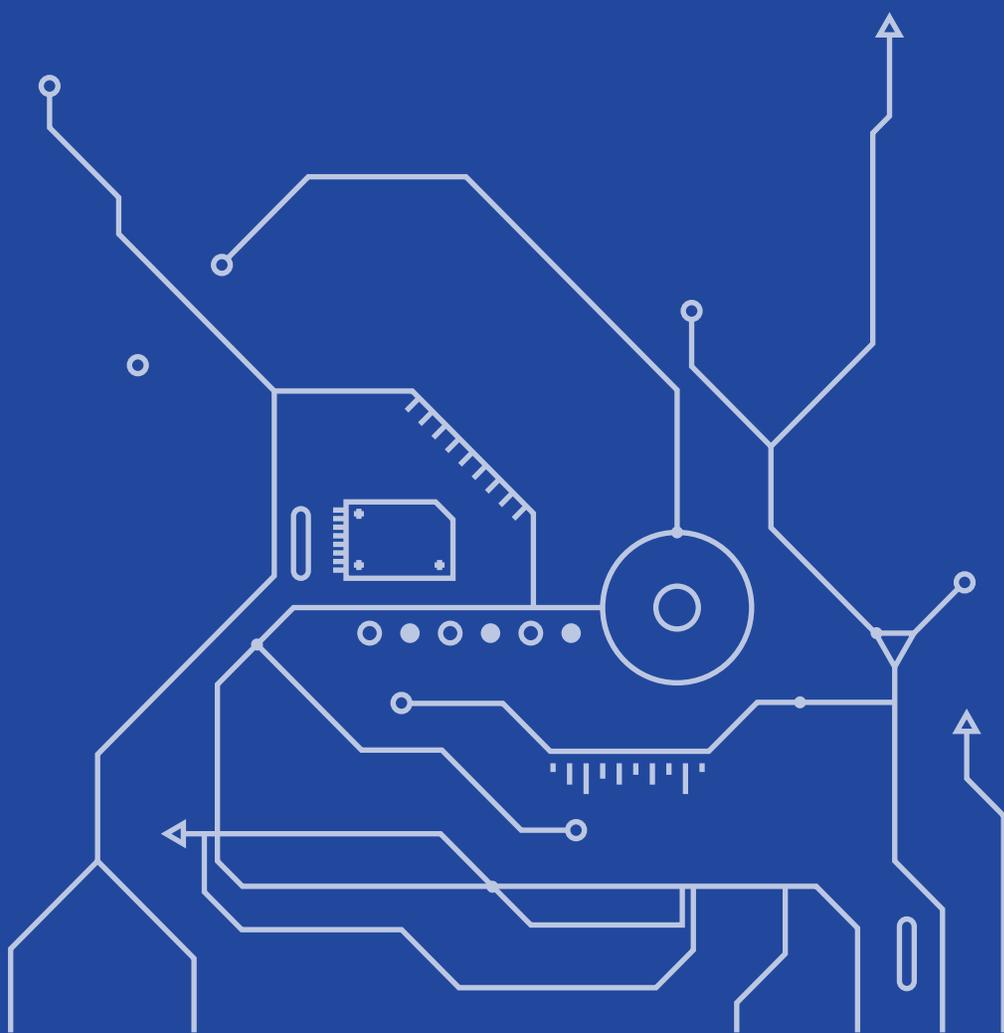
СБОРНИК ТРУДОВ

X

КОНГРЕССА МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ

Санкт-Петербург,
14-17 апреля 2021 г.

Том 2



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

**Сборник трудов
X Конгресса молодых ученых
Том 2**



УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

Санкт-Петербург
2021

УДК 063, 065, 535.1, ББК — 32, 40.06

Сборник трудов X Конгресса молодых ученых. Том 2.– СПб.: Университет ИТМО, 2021. – 373 с.

Издание содержит результаты научных работ молодых ученых, доложенные на X Конгрессе молодых ученых по тематикам: пищевых биотехнологий и инженерии; низкотемпературная энергетика; химико-биологическое; информационные технологии и программирование; инфокоммуникационные технологии; дизайн и урбанистики; фундаментальная фотоника.

ISBN 978-5-7577-0656-6

ISBN 978-5-7577-0658-0 (Том 2)



УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

Университет ИТМО (Санкт-Петербург) — национальный исследовательский университет, ведущий вуз России в области информационных, фотонных и биохимических технологий. Альма-матер победителей международных соревнований по программированию: ICPC (единственный в мире семикратный чемпион), Google Code Jam, Facebook Hacker Cup, Яндекс.Алгоритм, Russian Code Cup, Topcoder Open и др. Приоритетные направления: IT, фотоника, робототехника, квантовые коммуникации, трансляционная медицина, Life Sciences, Art&Science, Science Communication. Входит в ТОП-100 по направлению «Автоматизация и управление» Шанхайского предметного рейтинга (ARWU) и занимает 74 место в мире в британском предметном рейтинге QS по компьютерным наукам (Computer Science and Information Systems). С 2013 по 2020 гг. — лидер Проекта 5-100.

© Университет ИТМО, 2021

© Авторы, 2021

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ по направлению пищевых биотехнологий и инженерии;
низкотемпературная энергетика; химико-биологическое

Председатель редколлегии:

Баранов Игорь Владимирович

доктор технических наук, профессор, директор мегафакультета биотехнологий
и низкотемпературных систем Университета ИТМО

Члены редколлегии:

Румянцева Ольга Николаевна

кандидат технических наук, доцент, заместитель директора мегафакультета биотехнологий
и низкотемпературных систем

Волкова Ольга Владимировна

доктор технических наук, доцент, доцент факультета низкотемпературной энергетики

Никитин Андрей Алексеевич

кандидат химических наук, доцент факультета энергетики и экотехнологий

Виноградов Александр Валентинович

доктор химических наук, директор химико-биологический кластера

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ по направлению информационные технологии и программирование; инфокоммуникационные технологии; дизайн и урбанистики

Председатель редколлегии:

Духанов Алексей Валентинович

доктор технических наук, доцент факультета цифровых трансформаций

Члены редколлегии:

Ульянцев Владимир Игоревич

кандидат технических наук, заместитель декана факультета информационных технологий и программирования

Капитонов Александр Александрович

кандидат технических наук, декан факультета инфокоммуникационных технологий

Боченина Клавдия Олеговна

кандидат технических наук, доцент факультета цифровых трансформаций

Митягин Сергей Александрович

кандидат технических наук, директор института дизайна и урбанистики

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ по направлению фундаментальная фотоника

Председатель редколлегии:

Вознесенская Анна Олеговна

кандидат технических наук, доцент, заместитель директора института "Высшая инженерная школа"

Члены редколлегии:

Бахолдин Алексей Валентинович

кандидат технических наук, доцент, профессор инженерно-исследовательского факультета

Вейко Вадим Павлович

доктор технических наук, профессор, профессор факультета наноэлектроники

Кортаев Валерий Викторович

доктор технических наук, профессор, руководитель научно-исследовательский центра оптико-электронного приборостроения

Романов Алексей Евгеньевич

доктор физико-математических наук, профессор, профессор института перспективных систем передачи данных

ВВЕДЕНИЕ

Издание содержит результаты научных работ молодых ученых, доложенные на X Конгрессе молодых ученых Университета ИТМО, проходившего 14 – 17 апреля 2021 года, по тематикам: пищевых биотехнологий и инженерии; низкотемпературная энергетика; химико-биологическое; информационные технологии и программирование; инфокоммуникационные технологии; дизайн и урбанистики; фундаментальная фотоника.

Конгресс проводился в целях ознакомления общественности с результатами научных исследований, выполненных в рамках: государственного задания Министерства науки и высшего образования РФ, стратегии развития Университета ИТМО до 2027 года, грантов Президента РФ для поддержки молодых российских ученых, грантов РФФИ, РНФ, по постановлению Правительства РФ № 218 от 9 апреля 2010 года «Об утверждении Правил предоставления субсидий на развитие кооперации российских образовательных организаций высшего образования, государственных научных учреждений и организаций реального сектора экономики в целях реализации комплексных проектов по созданию высокотехнологичных производств», по постановлению Правительства РФ № 220 от 09 апреля 2010 г. «О мерах по привлечению ведущих ученых в российские образовательные организации высшего образования, научные учреждения и государственные научные центры Российской Федерации», государственной поддержки центров Национальной технологической инициативы на базе образовательных организаций высшего образования и научных организаций, федерального проекта «Цифровые технологии», национальной программы «Цифровая экономика в Российской Федерации» и по инициативным научно-исследовательским проектам, выполняемыми преподавателями, научными сотрудниками, аспирантами, магистрантами и студентами Университета, в том числе в содружестве с предприятиями, организациями Российской Федерации, а также международными научными сообществами; а также с целью стимулирования научно-технической деятельности молодых ученых, приобретения ими опыта публичных выступлений, повышения научного уровня и апробации выпускных квалификационных работ магистрантов и бакалавров за 2020/2021 учебный год.

Биотехнологии и низкотемпературные системы

УДК 620.95

**СДЕРЖИВАЮЩИЕ ФАКТОРЫ ПРОИЗВОДСТВА БИОГАЗА
В РОССИИ**

Антипова С.В.¹

Научный руководитель – ст. преподаватель Савоскула В.А.¹

¹Университет ИТМО

В работе рассмотрены ключевые сдерживающие факторы для производства биогаза в России. В нашей стране актуальна проблема образования больших объемов пищевых отходов, одним из вариантов решения которой является их переработка в биогаз. Однако по сравнению с рядом европейских стран, где данная технология уже применяется, в России имеется ряд сдерживающих факторов.

Ключевые слова: биогаз, альтернативное топливо, метан, биометан, возобновляемая энергия, энергия из отходов, биоэнергетика.

В настоящее время биогаз имеет огромные перспективы для применения во всем мире в качестве возобновляемого ресурса для производства энергии. В странах Европейского Союза построены сотни заводов по производству биогаза и создана инфраструктура для его реализации. В России же биогаз производится и используется лишь точно. Целью исследования является выявление сдерживающих факторов для производства и реализации биогаза на территории России.

Россия, в отличие от большинства европейских стран, обладает большими запасами природного газа, в связи с чем необходимость производства биотоплива не представляла практического интереса долгие годы. Однако с годами все сильнее растет процент выработанности месторождений, что приводит к необходимости разработки новых и развития ресурсной базы.

Согласно исследованию Европейской ассоциации биогаза (ЕВА) и Газовой инфраструктуры Европы (GIE), в последние годы развитие биометана переживает динамичный подъем, и в ЕС промышленность уже производит 23 КВт/ч биогаза. К 2030 году этот сектор может существенно увеличить производство до 370 КВт/ч и достичь 1170 КВт/ч к 2050 году [1].

Возвращаясь к ситуации в России, ключевым сдерживающим фактором для производства и массового потребления биогаза являются низкие цены на традиционные энергоносители. Биогаз после тщательной очистки полностью взаимозаменяем с природным газом. Однако в ближайшие 10 лет полный переход на биометан не представляется возможным, т.к. себестоимость природного газа значительно ниже. Биогаз можно рассматривать как дополнительный источник энергии, например, для автономного существования ферм и заводов.

Наконец, для производства биогаза необходимо сырье – органические отходы, растениеводческие материалы. В нашей стране есть несколько частных установок по производству биогаза из отходов жизнедеятельности животных. Транспортировка отходов нецелесообразна на дальние расстояния, строительство биогазовых установок необходимо производить близко к сырьевой базе.

Не менее важным фактором является качество сырья. В частности, если рассматривать производство биогаза из отходов с мусорных полигонов, стоит учитывать дополнительные затраты на ремонт и эксплуатацию оборудования (за счет неоднородности массы и содержания посторонних компонентов). В зависимости от вида сырья определяется конфигурация установки, соотношение твердых и жидких отходов, система очистки получаемого газа. Согласно отчету Продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН за 2019 год, около 33% продуктов питания человека, в общей сложности около 1,3 миллиарда тонн в год, расходуется впустую во всем мире [2]. В связи с этим одним из перспективных и важных направлений является переработка органических отходов в биогаз. Так, мы сможем снизить объемы отходов, отправляемых на мусорные полигоны, а также

получить биогаз и органические удобрения. Однако, согласно исследованиям, производство из такого сырья менее эффективно по сравнению с использованием отходов жизнедеятельности животных. Кроме того, из-за неоднородности массы выход биогаза может варьироваться – в зависимости от продукта из 1 тонны сырья можно получить 2~1500 м³ биогаза [3].

В дополнение к этому, в результате брожения образуется дигестат (сброженный органический остаток метаногенеза), который требует дополнительной обработки перед использованием в качестве удобрения. Он может содержать нитраты, аммиак, тяжелые металлы и другие вещества, вызывающие загрязнение почвы и грунтовых вод.

Стоит также упомянуть о факторах, влияющих на процесс брожения. Необходимость поддержания температуры, влажности среды, уровня pH, соотношения C:N:P, площади поверхности частиц сырья, частоты подачи субстрата, замедляющих веществ и стимулирующих добавок требует дополнительных затрат, что приводит к удорожанию установки [4]. Кроме того, как и для других возобновляемых источников энергии (например, солнце, ветер), производство биогаза зависит от погоды. Оптимальная температура, необходимая метановым бактериям для брожения, составляет около 37°C. В холодном климате реакторы требуют тепловой энергии для поддержания постоянной подачи биогаза. Также важную роль играет длительность процесса. Микроорганизмам требуется длительное время для преобразования органических веществ в биогаз. С увеличением времени выдержки содержание летучих веществ будет уменьшаться, а при уменьшении времени – сырье будет переработано в биогаз не в полном объеме. Время будет зависеть от температуры, состава сырья, а также скорости загрузки субстрата [2].

Одним из определяющих факторов является цена. На основании описанных в данной работе факторов себестоимость биометана в сравнении с природным газом будет выше, что гарантированно приведет к низкому спросу. Согласно данным IRENA, стоимость производства биогаза из промышленных отходов в ЕС составляет 0,11–0,50 долларов США за 1 м³, тогда как себестоимость производства природного газа в России примерно равна 0,05 доллара США за 1 м³. В перспективе планируется провести расчет теоретической установки и приблизительной себестоимости производства 1 м³ биометана из органических отходов в г. Санкт-Петербург, чтобы сделать вывод о целесообразности проекта.

Российская Федерация имеет хорошие предпосылки для эффективного развития сектора биоэнергетики, поскольку обладает большим потенциалом биомассы, доступной для производства энергии [5]. Выявленные сдерживающие факторы требуют проработки и экономической оценки. Необходимо проведение дальнейшего исследования для разработки программы по увеличению востребованности биогаза в России, а также расчета биогазовой установки и себестоимости продукта.

Литература

1. Gas Decarbonisation Pathways 2020-2050 // Guidehouse, April 2020.
2. Mirmohamadsadeghi S., Karimi K., Tabatabaei M., Aghbashlo M., «Biogas production from food wastes: A review on recent developments and future perspectives» // Bioresource Technology Reports, Volume 7, September 2019, 100202.
3. Биогазовая ценность из разного сырья [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://transut.ru/biogas/pererabotka-v-biogaz> (дата обращения: 23.04.2020).
4. Nsair A., Onen Cinar S., Alassali A., Qdais H. Abu, Kuchta K., «Operational Parameters of Biogas Plants: A Review and Evaluation Study» // Energies 2020, 13, 3761.
5. Курнакова Н.Ю., Католиченко Д.С., Сухарев О., Волхонский А.А., «Анализ развития производства биоэнергетического топлива» // Фундаментальные исследования – 2016. – № 9 (часть 2) – С. 268-272.

УДК 621.565

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ОРЕБРЕНИЯ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ МНОГОПОТОЧНОГО ТЕПЛООБМЕННИКА

Артемьев Д.В.¹, Зайцев А.В.¹

Научный руководитель – к.т.н., доцент Зайцев А.В.¹

¹Университет ИТМО

Работа выполнена в рамках темы НИР № 620149 «Усовершенствование ожигателя природного газа».

В работе приводятся результаты исследования влияния оребрения в многопоточном пластинчато-ребристом теплообменнике на его эффективность. Суть исследования заключается в проведении сравнительного анализа плоского, волнистого, перфорированного и зубчатого оребрения. Для анализа используется критерий теплового совершенства оребрения, определяются его максимальные значения при выборе соответствующего типа оребрения и сравнение кривых эффективностей.

Ключевые слова: многопоточный теплообменник, пластинчато-ребристый теплообменник, оребрение, эффективность оребрения, сжиженный природный газ.

Пластинчато-ребристые теплообменники (ПРТ), относящиеся к классу многопоточных, в настоящее время считаются одними из наиболее эффективных теплообменных аппаратов (ТОА), поскольку по сравнению с остальными типами теплообменников обладают максимально допустимой возможной площадью теплообмена на 1 м². Благодаря этому конструкция такого типа ТОА является компактной, а также, идеально обеспечивая теплообмен между неагрессивными теплоносителями, позволяет при этом достигать охлаждения до –270 °С, что делает её актуальной для использования в криогенной и других технологиях [1].

Помимо возможности задания количества потоков до десяти, отличительной особенностью пластинчато-ребристых ТОА также является обеспечение теплообмена между средами через стенку с применением оребрения различного типа. Компоновка ребер в блоке теплообменника показана на рисунке 1.а. Гофрированные металлические ребра помещаются между плоскими пластинами. В единую конструкцию пластины и ребра объединяются посредством пайки. Ребра имеют двойное назначение:

- 1) обеспечение жесткости конструкции при воздействии давления извне;
- 2) формирование развитой оребренной поверхности для увеличения эффективности теплопередачи.

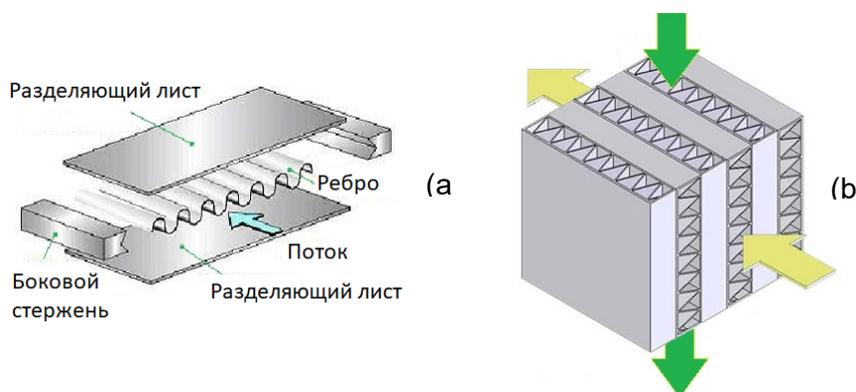


Рис. 1. Компоновка ребра между пластинами (а) и распределение потоков (б)

По краям разделительных пластин расположены боковые проставки, которые фиксируют пластины и создают замкнутые каналы для сред. Принцип распределения потоков между ребрами показан на рисунке 1.б. Потоки различных сред одновременно распределяются между ребрами в параллельном, противоточном или перекрёстном направлении относительно

друг друга. Интенсификация теплообмена происходит не только за счет применения оребренных с двух сторон разделительных пластин, но и вследствие увеличения числа Рейнольдса при изменении направления движения теплоносителя при прохождении через ребро и увеличения его турбулентности [2].

На рисунке 2 представлены различные типы оребрения. Распространены следующие виды ребер:

1. Плоские ребра. Применяются как стандартный тип оребрения и обычно используются для потоков с низким перепадом давления.
2. Зубчатые ребра. Производятся путем разрезания оребрения на части по 3,2 мм вдоль потока и смещения этих частей на половину шага оребрения относительно друг друга. Такая конфигурация оребрения приводит к резкому увеличению теплопередачи по сравнению с предыдущим вариантом.
3. Волнистые ребра. Изготавливаются путем смещения ребер вдоль потока в сторону через каждые 9,5 мм, чтобы получить зигзагообразную траекторию. Такое оребрение обеспечивает промежуточную производительность между оребрением плоского и зубчатого типа.
4. Плоские перфорированные ребра. Обеспечивают небольшое увеличение производительности по сравнению с применением обычных плоских ребер. Однако это преимущество частично нивелируется за счет условного уменьшения площади оребрения из-за перфорации. Основное применение такого оребрения вызвано необходимостью обеспечения миграции жидкости через ребристые каналы, обычно в режиме кипения [3].

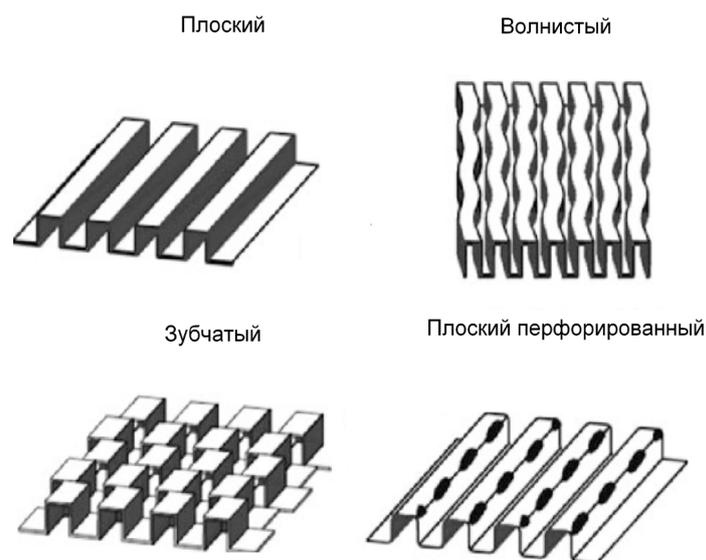


Рис. 2. Типы оребрения

В качестве основного инструмента для проведения анализа использовано программное обеспечение Xchanger Suite 8.2, модуль Xpfe. Рассматривался процесс, характерный для технологий ожижения природного газа (ПГ), а именно теплообмена между ПГ, аммиаком и этиленом, причем последние два потока выступают в качестве низкотемпературных теплоносителей. Исходные теплофизические данные и геометрия аппарата представлены в таблице 1.

На рисунке 3 показана модель рассчитываемой в программе конструкции ПРТ с направлениями потоков. Из рисунка следует, что направление потока ПГ из распределительной камеры – прямоточное относительно потока этилена и противоточное относительно потока аммиака. Потоки этилена и аммиака имеют противоточное направление относительно друг друга. Области оребрения для каждого из потоков выделены соответственно зеленым, оранжевым и синим цветом.

Таблица 1. Исходные данные

Режимные параметры						
Номер потока	1		2		3	
Название потока	Природный газ		Аммиак		Этилен	
Расход, кг/с	2,3		4,72		4,44	
Давление на входе, кПа	3500	3494,9	1000	869,1	1000	991,5
Температура, °С	25	-116,2	-140	-69,2	-120	-97,9
Падение давления, кПа	5,12		130,8		8,44	
Тепловая нагрузка, МВт	-1,57		1,35		0,213	
Геометрия теплообменного аппарата						
Длина аппарата, мм	2370					
Ширина аппарата, мм	550					
Высота аппарата, мм	581					
Ориентация в пространстве	Вертикальная					
Число слоев	83					
Число типов оребрения	3					
Эффективная площадь, мм ²	864,3					

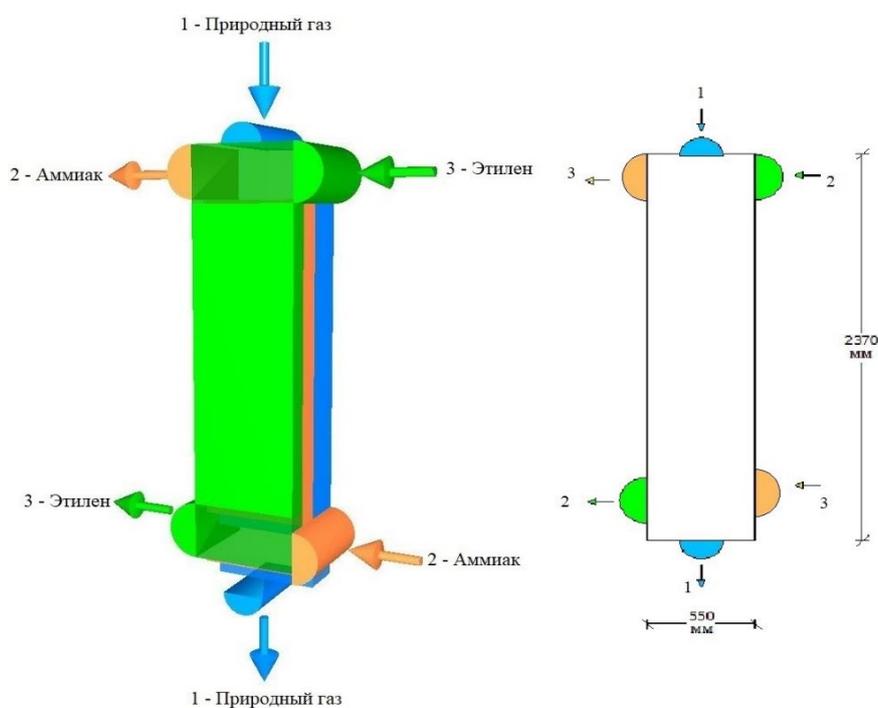


Рис. 3. Модель конструкции пластинчато-ребристого теплообменного аппарата

В процессе расчета, учитывая приведенные параметры ТОО, задавались типы оребрения, число и геометрия ребер. Геометрические параметры оребрения представлены на рисунке 4.

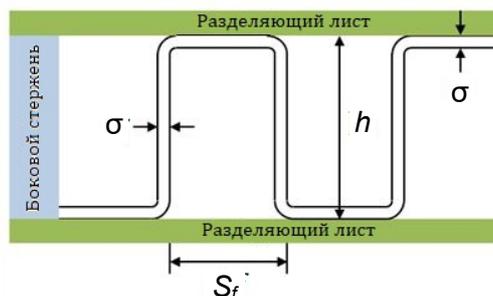


Рис. 4. Геометрия ребра

В качестве вариантов для исследований рассмотрено четыре вышеприведенных типа оребрения (плоские, перфорированные, зубчатые и волнистые ребра), а также три набора геометрических параметров, включающие высоту ребра h , толщину σ и частоту оребрения $1/S_f$.

В качестве основного показателя эффективности оребрения выбран критерий теплового совершенства k_{ST} , выраженный в отношении фактора теплоотдачи Колберна $C_j = St \cdot Pr^{2/3}$ к коэффициенту потерь на трение (фактору трения Фаннинга) f [4]:

$$k_{ST} = \frac{C_j}{f}.$$

Повышение критерия k_{ST} обеспечивает приближение теплогидравлических характеристик течения в оребренном канале к характеристикам идеального безотрывного нестесненного течения у поверхностей. При снижении значения k_{ST} наблюдается рост относительных затрат энергии на трение. Таким образом, определение критерия теплового совершенства позволяет оценить теплогидравлическую эффективность оребрения.

Результаты численных экспериментов приведены в таблице 2. Из таблицы следует, что наиболее эффективным типом оребрения является применение перфорированных ребер, а из представленных вариантов геометрии наиболее эффективным является следующий: высота ребра $h = 5$ мм, толщина $\sigma = 0,1$ мм и частота оребрения $1/S_f = 601$ ребро./метр. В дальнейшем, с увеличением всех параметров геометрии, критерий теплового совершенства k_{ST} падает.

Таблица 2. Результаты экспериментов

Номер ребра	1			2			3		
Тип ребра	Плоский								
Высота ребра h , мм	5	6	7	5	6	7	5	6	7
Толщина σ , мм	0,1	0,2	0,7	0,1	0,2	0,7	0,1	0,2	0,7
Частота оребрения $1/S_f$, ребро/метр	601	708	802	601	708	802	601	708	802
Коэффициент трения, f	0,025	0,027	0,029	0,025	0,027	0,029	0,025	0,027	0,029
Коэффициент Колбуерна, C_j	0,007	0,007	0,008	0,007	0,007	0,008	0,007	0,007	0,008
Критерий теплового совершенства, k_{ST}	0,284	0,272	0,265	0,284	0,272	0,265	0,284	0,272	0,265
Номер ребра	1			2			3		
Тип ребра	Перфорированный								
Высота ребра h , мм	5	6	7	5	6	7	5	6	7
Толщина σ , мм	0,1	0,2	0,7	0,1	0,2	0,7	0,1	0,2	0,7
Частота оребрения $1/S_f$, ребро/метр	601	708	802	601	708	802	601	708	802
Коэффициент трения, f	0,022	0,024	0,027	0,022	0,024	0,027	0,022	0,024	0,027
Коэффициент Колбуерна, C_j	0,007	0,007	0,008	0,007	0,007	0,008	0,007	0,007	0,008
Критерий теплового совершенства, k_{ST}	0,318	0,298	0,287	0,318	0,298	0,287	0,318	0,298	0,287
Номер ребра	1			2			3		
Тип ребра	Волнистый								
Высота ребра h , мм	5	6	7	5	6	7	5	6	7
Толщина σ , мм	0,1	0,2	0,7	0,1	0,2	0,7	0,1	0,2	0,7
Частота оребрения $1/S_f$, ребро/метр	601	708	802	601	708	802	601	708	802
Коэффициент трения, f	0,063	0,079	0,168	0,063	0,079	0,168	0,063	0,079	0,168
Коэффициент Колбуерна, C_j	0,011	0,011	0,011	0,011	0,011	0,011	0,011	0,011	0,011
Критерий теплового совершенства, k_{ST}	0,177	0,143	0,068	0,177	0,143	0,068	0,177	0,143	0,068

Номер ребра	1			2			3		
Тип ребра	Зубчатый								
Высота ребра h , мм	5	6	7	5	6	7	5	6	7
Толщина σ , мм	0,1	0,2	0,7	0,1	0,2	0,7	0,1	0,2	0,7
Частота оребрения $1/S_f$, ребро/метр	601	708	802	601	708	802	601	708	802
Коэффициент трения, f	0,043	0,045	0,047	0,043	0,045	0,047	0,043	0,045	0,047
Коэффициент Колбурна, C_j	0,009	0,009	0,010	0,009	0,009	0,010	0,009	0,009	0,010
Критерий теплового совершенства, k_{ST}	0,205	0,209	0,214	0,205	0,209	0,214	0,205	0,209	0,214

Далее на рисунке 5 рассмотрено поведение кривых эффективности для вариантов с наибольшим критерием теплового совершенства с разными типами оребрения, откуда видно, что наиболее равномерное распределение кривых $f(Re)$ и $C_j(Re)$ соответствует оптимальному критерию теплового совершенства.

Таким образом, можно сделать вывод, что максимальный критерий теплового совершенства в проведенных исследованиях составляет 0,318, или 31,8 %, что соответствует найденной геометрии оребрения (высота ребра – 5 мм, толщина ребра – 0,1 мм, частота оребрения – 601 ребро/м). При этом наиболее эффективным типом оребрения признано оребрение с плоско-перфорированными ребрами.

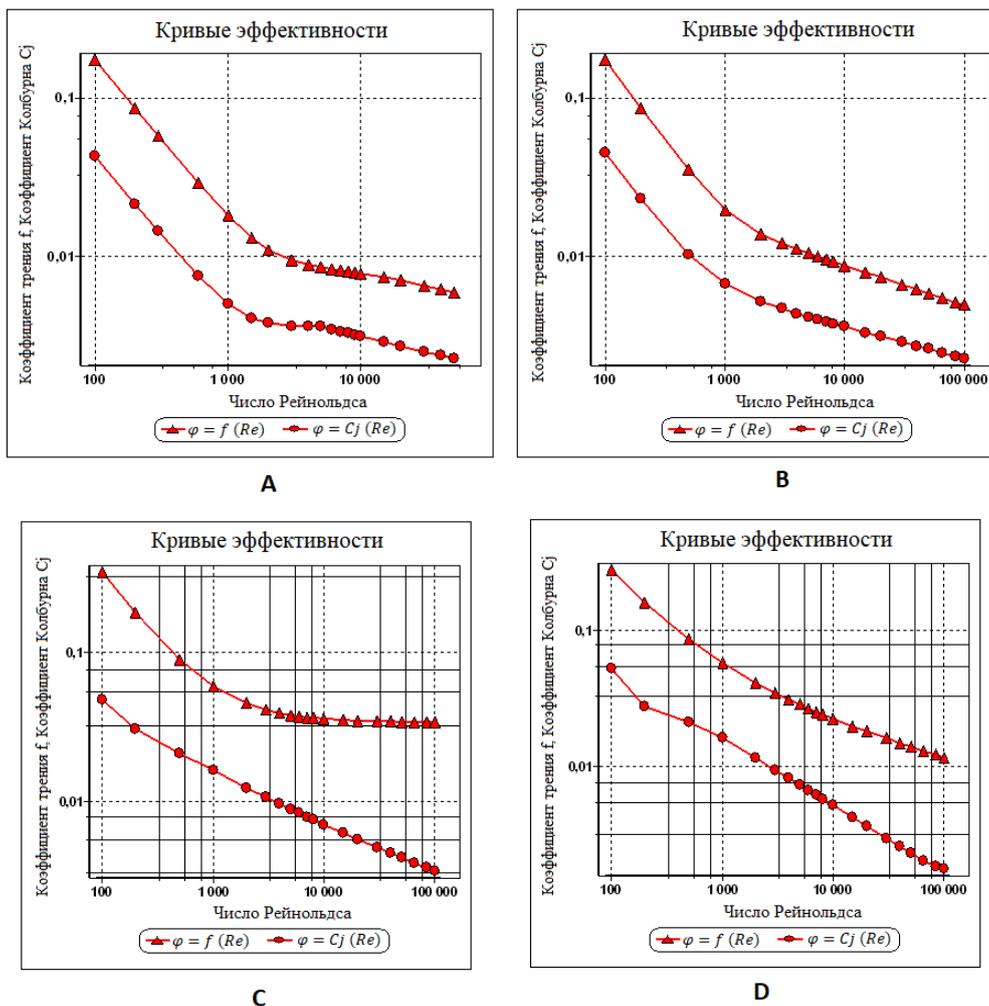


Рис. 5. Зависимости коэффициента потерь на трение и фактора Колбурна для плоских (а), перфорированных (б), зубчатых (с), и волнистых (д) ребер

Литература

1. Yuan Xue, Zihua Ge, Xiaoze Du, Lijun Yang. On the Heat Transfer Enhancement of Plate Fin Heat Exchanger. *Energies*, 2018. P. 4-5.
2. Junling Hu, Ruoxu Jia, Xingguo Xiong. Modeling of a Counter Flow Plate Fin Heat Exchanger. University of Bridgeport, 2014. P. 3–4.
3. В.Н. Белозерцев, В.В. Бирюк, А.И. Довгялло и др. Интенсификация теплообмена // Учеб. пособие. – Самара: Изд-во Самарского университета, 2018. 208 с.
4. А.В. Чичиндаев. Тепломассообмен влажного воздуха в компактных пластинчато-ребристых теплообменниках // Учеб. пособие. – Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2009. С. 55–59.

УДК 504.064.45

АНАЛИТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА ТОПЛИВА ИЗ ТКО

Барбанэль П.Ф.¹

Научный руководитель – доцент, к.т.н. Агаханянц П.Ф.¹

¹Университет ИТМО

В работе представлены результаты исследования применения аналитического метода оценки теплоты сгорания отходов. По результатам литературного обзора были выявлены методы оценки и проведены расчеты. Для апробации представленных в источниках уравнений были использованы данные лабораторных испытаний образца твердых коммунальных отходов (ТКО) Московской области. Результаты расчетов и их анализ также представлены в работе.

Ключевые слова: ТКО, теплотворная способность, аналитические методы, лабораторные методы, морфологический состав, элементный состав.

Актуальность исследования обусловлена тем, что захоронение твердых коммунальных отходов (ТКО) приводит к загрязнению окружающей среды и потере ресурсного потенциала отходов. Согласно государственному докладу «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2019 году», на переработку отправлялось 16% ТКО, все остальные ТКО направлялись на захоронение. В докладе приведены данные о результатах Федерального проекта «Комплексная система обращения с твердыми коммунальными отходами» на 2019 год. В пункте «Объем ТКО, направленных на обработку, нарастающим итогом» фактические данные превышают плановые в два раза. Важно учесть, что обработка включает в себя лишь предварительную подготовку отходов к дальнейшей утилизации. В пункте «Объем ТКО, направленных на утилизацию (вторичную переработку), нарастающим итогом» фактические данные в два раза меньше запланированных. Утилизация отходов с получением энергии на 2019 год не планировалась в принципе.

Эта ситуация демонстрирует отставание России, в то время как развитые страны активно реализуют концепцию нулевого захоронения. В частности, в Финляндии, согласно отчету Всемирного банка, захоронению подвергается 1% ТКО, при этом для рекуперации энергии используется 56%.

Основным способом получения энергии из отходов является их сжигание с последующим использованием тепла для производства пара и/или электроэнергии. Отходы сжигаются в неподготовленном виде, а также в виде топлива, так называемого solid recovered fuel (SRF). Такое топливо изготавливается из фракции (остатки сортировки), которая не может быть повторно использована из-за неликвидности материалов (пластика, картона, бумаги, текстиля). Предварительная подготовка такого топлива позволяет снизить выбросы и затраты на испарение влаги непосредственно в процессе сжигания. Изготовленное из отходов топливо классифицируется по содержанию хлора и ртути, а также по теплоте сгорания - главному экономическому показателю [1].

Определение теплоты сгорания топлива из отходов производится в лаборатории на калориметрах согласно ГОСТ 33108-2014 «Топливо твердое из бытовых отходов. Определение теплоты сгорания». При проведении испытания требуется проба малой массы, всего 1 грамм. Отбор средней пробы такой малой массы затруднен ввиду сложности состава отходов. При расчетах после проведения испытания необходимо учитывать содержание азота, водорода и кислорода в пробе, определение которых требует дополнительных лабораторных испытаний [2]. Лабораторные испытания для определения теплоты сгорания материалов также отличаются дороговизной.

Известно, что теплота сгорания топлива зависит от его состава, поэтому помимо лабораторных испытаний могут быть использованы аналитические методы определения данной величины. Теплоту сгорания можно рассчитать, используя данные о морфологическом и элементном составе фракций, входящих в топливо. Формулы, основанные на элементном

составе, изначально широко использовались для расчета теплоты сгорания природных топлив, таких как ископаемый уголь. Для расчета теплоты сгорания отходов предпочтительным в экономическом плане является использование данных о морфологическом составе, так как его установить проще и дешевле, нежели проводить лабораторные испытания для определения элементного состава. Элементный состав может быть определен расчетным путем на основании справочных данных, тем не менее, это может снизить точность результатов расчета.

В ходе исследования был проведен поиск уравнений, применяемых для расчета теплоты сгорания отходов. В научных источниках предложено 7 уравнений, использующих для расчета теплоты сгорания данные морфологического состава, и 2 уравнения, которые базируются на элементном составе:

$$Q_p^H = 4,186((95F_{пол} + 40F_{орг} + 40F_{мак} + 44F_{дер.тек}) \frac{100-W}{100} - 14W), \quad (1)$$

где Q_p^H – низшая теплота сгорания ТБО на рабочую массу, кДж/кг;

$F_{пол}$ – общее содержание полимеров, мас.%;

$F_{орг}$ – общее содержание органических расходов (пищевых и растительных), мас.%;

$F_{мак}$ – общее содержание макулатуры, мас.%;

$F_{дер.тек}$ – общее содержание дерева и текстиля, мас.%;

W – общая влажность отходов, мас.%.

$$Q_p^H = \frac{100-W}{100} (38,8(Pa + Ga + T + Oc) + 50,9(Te + Ru) + 73,7Pl) - 6W, \quad (2)$$

где Q_p^H – низшая теплота сгорания ТКО на рабочую массу, кДж/кг;

Pa – общее содержание бумаги, мас.%;

Ga – общее содержание органических расходов (пищевых и растительных), мас.%;

T – общее содержание макулатуры, мас.%;

Oc – общее содержание остальных горючих компонентов, мас.%;

Te – общее содержание текстиля, мас.%;

Ru – общее содержание резины и кожи, мас.%;

Pl – общее содержание пластика, мас.%;

W – общая влажность отходов, мас.%.

$$Q_p^H = 23(Ga + 3,6Pa) + 160(Pl + Ru), \quad (3)$$

$$Q_p^H = 112,157Ga + 183,386Pa + 288,737Pl + 5064,701, \quad (4)$$

$$Q_p^H = 112,815Ga + 184,366Pa + 298,343Pl - 1,920W + 5130,380, \quad (5)$$

$$Q_p^H = 81,209Ga + 285,035Pl + 8724,209, \quad (6)$$

$$Q_p^H = \sum_{i=1}^n \frac{Q_{pi}^H \cdot C_i}{100} - 4,2(t_1 - t_2)W - 2268W/100, \quad (7)$$

где Q_p^H – низшая теплота сгорания ТБО на рабочую массу, кДж/кг;

Q_{pi}^H – теплота сгорания на рабочую массу i -го компонента ТБО, кДж/кг;

C_i – содержание i -го компонента в общей массе ТБО, %;

t_1 – температура подачи в печь, град;

t_2 – температура кипения воды, град; W – общая влажность отходов, мас.%.

$$Q_p^H = 81 \left(C - 3 \cdot \frac{O}{8} \right) + 57 \cdot 3 \cdot \frac{O}{8} + 345 \left(H - \frac{O}{10} \right) + 25S - 6(9H + W), \quad (8)$$

где Q_p^H – низшая теплота сгорания ТБО на рабочую массу, кДж/кг;

C – общее содержание углерода, мас.%;
 H – общее содержание водорода, мас.%;
 O – общее содержание кислорода, мас.%;
 S – общее содержание серы, мас.%;
 W – общая влажность ТБО, мас.%.

$$Q_p^H = 81 \left(C - 3 \cdot \frac{O}{4} \right) + 57 \cdot 3 \cdot \frac{O}{4} + 342,5H + 22,5S - 6(9H + W), \quad (9)$$

Для апробации уравнений были проведены расчеты с использованием морфологического состава и теплоты сгорания пробы ТКО Московской области (рисунок). Данные морфологического состава и теплоты сгорания были получены из аккредитованной лаборатории, данные элементного состава были получены расчетным путем с использованием справочных сведений об элементном составе отдельных фракций.

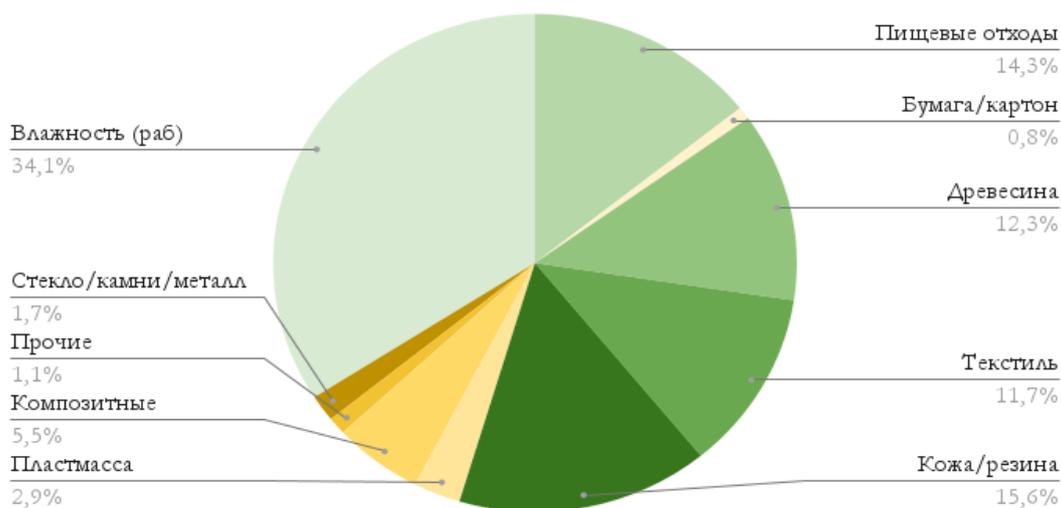


Рисунок. Морфологический состав (на рабочую массу) ТКО Московской области

Результаты расчетов теплоты сгорания, а также отклонений от результата лабораторного испытания представлены в таблице. Теплота сгорания, определенная лабораторный способом составила 13550 кДж/кг.

Таблица. Результаты апробации уравнений

Наименование формулы	Состав	Результат расчета пробы, кДж/кг	Отклонение, %
Уравнение 1 [3]	морфологический	8883,06	34,44
Уравнение 2 [4]	морфологический	6616,05	51,17
Уравнение 3 [4]	морфологический	7796,96	42,46
Уравнение 4 [4]	морфологический	7654,99	43,51
Уравнение 5 [4]	морфологический	7693,37	43,22
Уравнение 6 [4]	морфологический	10715,21	20,92
Уравнение 7 (с использованием данных иностранных источников)	морфологический	10825,64	20,11
Уравнение 7 (с использованием данных российских источников)	морфологический	19277,60	-42,27
Уравнение 8 [5]	элементный	12750,16	5,90
Уравнение 9 [5]	элементный	18386,79	-35,70

Полученные отклонения расчетных значений от результатов лабораторного определения показывают, что ни одно уравнение, базирующееся на морфологическом составе, не дало удовлетворительных результатов. Отклонение от результатов лабораторных испытаний составило от 20,11% до 51,17%. Из двух уравнений, использующих данные элементного состава, уравнение 8 показало относительно близкие цифры (отклонение составило 5,9%). Уравнение 9 показало значительное отклонение (35,7%).

Далее будет проведено лабораторные определение морфологического состава и теплоты сгорания отходов. Также будет продолжен поиск методов определения теплоты сгорания отходов в научных источниках.

Литература

1. Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации: ГОСТ 33516-2015 (EN 15359:2011) Топливо твердое из бытовых отходов. Технические характеристики и классы [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200126393> (дата обращения: 07.12.2020).
2. Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации: ГОСТ 33108-2014 (EN 15400:2011) Топливо твердое из бытовых отходов. Определение теплоты сгорания [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200120566> (дата обращения: 07.12.2020).
3. Ильиных Г.В. оценка теплотехнических свойств твердых бытовых отходов исходя из их морфологического состава // Вестник ПНИПУ. Урбанистика. 2013. N 3. С. 125–137.
4. Kathiravale S. et al. Modeling the heating value of Municipal Solid Waste // Fuel. 2003. - Vol. 11, No 9. P. 1119–1125.
5. Ni-Bin C. et al. Evaluation of heat value and its prediction for refuse-derived fuel // The Science of the Total Environment. 1997. № 97. P. 139–148.

УДК 66-9

ВЛИЯНИЕ СИЛЫ ЗАТЯЖКИ ПРИЖИМНОЙ ГАЙКИ КОРПУСА ШНЕКА НА ИЗНОС ПАРЫ НОЖ-РЕШЕТКА

Баринов Г.В.¹

Научный руководитель – д.т.н., профессор Пеленко В.В.¹

¹Университет ИТМО

Работа выполнена в рамках темы НИР №619296 «Исследование и применение методик обработки промышленных данных».

В работе рассмотрен процесс продавливания (экструзии) с целью определения совместной деформации пары нож – решетка под действием сил давления, действующих на пару нож-решетка, при которых происходит упругая деформация пластины, жестко закрепленной по внутреннему контуру в корпусе шнека (решетка), и балки, закрепленной по внутреннему контуру (четырёхлучевой нож), приводящая к увеличению износа пары нож-решетка за счёт не уравновешенной деформации.

Ключевые слова: пара нож-решетка, износ, деформация, прижимная гайка, совместная деформация, сила затяжки.

Одна из главных задач мясоперерабатывающей промышленности в условиях рыночных отношений является снижение себестоимости общих затрат на производство при одновременном увеличении выпуска, улучшении качества, расширения ассортимента выпускаемой продукции, что позволит повысить конкурентоспособность предприятий. Из этого следует, что требуются снижение стоимости обслуживания оборудования путем исследования процессов, ведущих к поломке и износу деталей механизма. Одной из наиболее ответственных операций при переработке мяса является измельчение. В этой операции большое значение отдается расходному материалу паре нож решетка с высоким процентом износа.

Целью моей работы является изучение совместной деформации ножа и решетки с выводом уравнения для получения данных о выборе необходимых геометрические характеристик режущего инструмента, ведущих к уменьшению износа. Задачами являются нахождение деформаций решетки и ножа, проведение эксперимента на зависимость силы затяжки прижимной гайки на совместную деформацию пары нож решетка.

Изучив статьи, посвященные изучению процесса износа пары нож решетка, за счет сил, действующих на пару, приходим к выводу, что для снижения интенсивности процесса износа не в полной мере учитывается показатели силы затяжки прижимной гайки, влияющие на процесс износа за счет не уравновешенной деформации пары нож решетка [1].

Получение уравновешенной деформации за счет регламентации силы затяжки прижимной гайки в зависимости от видов сырья, режимов работы оборудования и степени износа режущего инструмента является очень важным параметром, исходя из этого, необходимо разработать математическую модель взаимодействия пары нож-решетка, которая позволит более точно оптимизировать работу оборудования.

Для получения полной картины влияния силы затяжки прижимной гайки на пару нож – решетка был проведен эксперимент на экструдере (мясорубка) для определения температурных и энергетических показателей [2].

Результаты эксперимента показаны на рисунках 1 и 2.

Проведя эксперимент, получили не только показатели влияния затяжки прижимной гайки на температурные и энергетические затраты, но и то, что при правильной силе затяжки можно добиться уравновешивания деформаций. Получение условий равенства деформационного прогиба пары нож-решетка, обеспечивает в плоскости их взаимодействия равномерное распределение контактных усилий. В этом случае происходит равномерный и минимальный взаимный износ решетки пары нож-решетка.

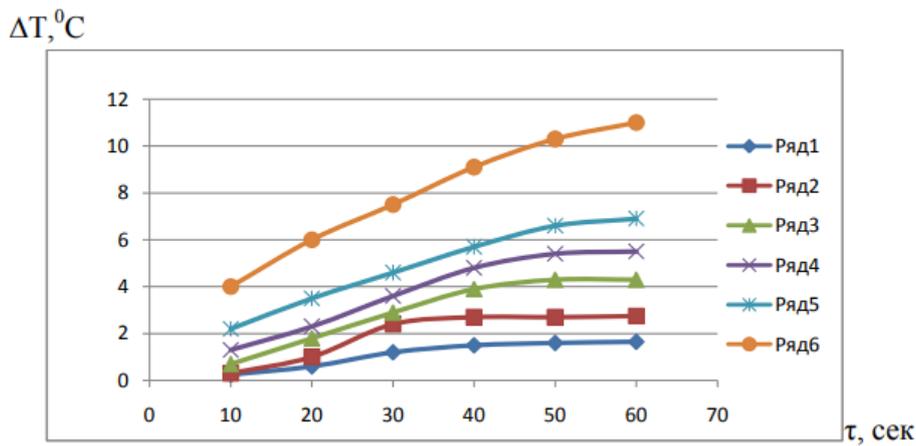


Рис. 1. График зависимости прироста температуры ΔT режущего узла волчка от момента затяжки гайки $M_{зат}$

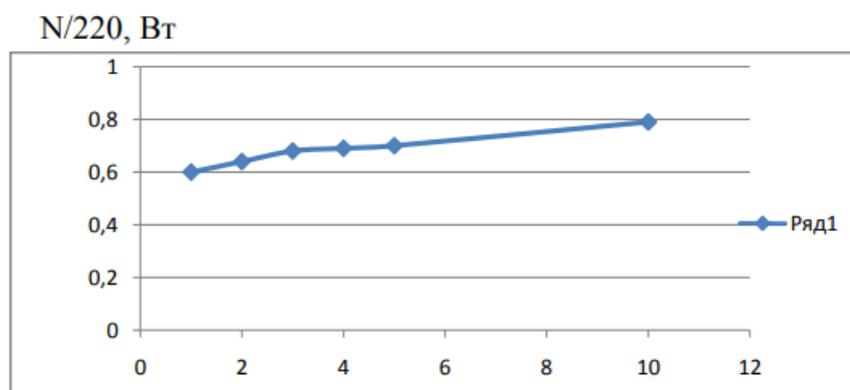


Рис. 2. График зависимости $\Delta I = f(M_{зат})$

Именно это обстоятельство требует разработки для волчка математической модели взаимодействия элементов кинематической пары трения скольжения нож-решетка. Разработка состоит в определении максимальных прогибов ножа и решетки и в обеспечении равенства этих величин для снижения износа. Величины прогибов решетки при заданных ее размерах и известной нагрузке определяется условиями ее внешнего закрепления.

Выберем случай, когда решетка жестко закреплена по внутреннему контуру рисунке 3.

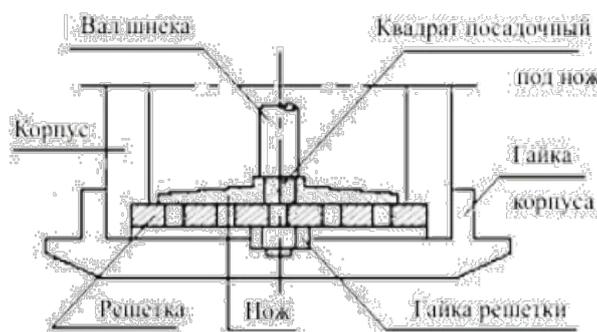


Рис. 3. Схема нагружения перфорированной решетки волчка

Для определения прогиба решетки используем основное дифференциальное уравнение симметричного изгиба круглой пластины постоянной толщины:

$$\frac{1}{r} \times \frac{d}{dr} \left\{ r \frac{d}{dr} \left[\frac{1}{r} \times \frac{d}{dr} \left(r \frac{dw}{dr} \right) \right] \right\} = \frac{q(r)}{D}, \quad (1)$$

где r – расстояние от рассматриваемой точки до центра пластины, м;
 w – прогиб пластины, м;

$q(r)$ – интенсивность внешней поперечной нагрузки, Н/м²;

D – цилиндрическая жесткость пластины, Н*м.

Интегрируя уравнение (1), мы находим максимальное значение прогиба решетки (2). Решение уравнения (1) будет отличаться от (2) в том, что в случае равномерно распределенной нагрузки $q(r) = q = \text{const}$, независима от координаты r выбранной точки и в том, что наличие в решетке перфорированных отверстий приводит к уменьшению цилиндрической жесткости [3]. Учитывая вышесказанное, получим окончательный вид уравнения максимального значения прогиба решетки.

$$W_{max} = -\frac{3q(a-b)^2(1-\nu^2)}{E\delta_p^3} \left| \frac{(a-b)^2}{2} + b^2 \ln \frac{b}{a} \right| \left(\frac{a}{a-n_r d-b} \right), \quad (2)$$

где a – радиус решетки, м;

b – радиус центрального отверстия, м;

δ – толщина решетки, м;

q – давление мясного сырья, Па;

d – диаметр перфорирующих отверстий, м;

n_r – количество отверстий, расположенных на длине радиуса решетки;

E – модуль Юнга;

ν – коэффициент Пуассона материала решетки.

Расчет уравнения упругости ножа проводим аналогичным способом и получаем уравнение максимального прогиба ножа [3].

$$f_{max} = -\frac{3q(a-b)^4}{2E\delta_n^3}. \quad (3)$$

Полученные данные изгибов должны подчиняться равенству (4), что гарантирует равномерный и минимальный взаимный износ решетки пары нож-решетка.

$$f_{max} = W_{max}. \quad (4)$$

С учетом равенства (2) и (3) равенство (4) примет вид (5).

$$\delta_p = \delta_n \left[1 + \frac{2b^2}{(a-b)^2} \ln \frac{b}{a} \right]^{\frac{1}{3}} \left(\frac{a}{a-n_r d-b} \right)^{\frac{1}{3}}. \quad (5)$$

Толщина ножа и решетки должны подчиняться равенству (5) для минимизации износа решетки и ножа.

Рассматриваемый расчет деформацией может применяться при расчете энергетических затрат на процесс продавливания (экструзии), в выборе оптимального режущего инструмента для различного вида и качества сырья.

Литература

1. Чижиков Т.В. Машины для измельчения мяса и мясных продуктов. Легкая и пищевая промышленность, 1982 . 302 с.
2. Аналитическая и экспериментальная оценка влияния момента трения кинематической пары нож-решетка на производительность измельчителя. Доктор техн. наук, проф. Пеленко В.В., канд. техн. наук, доц. Зуев Н.А., д.техн. наук Ольшевский Р.Г., доц. Иваненко В.П., канд. техн. наук, доц. Крысин А.Г.
3. Оценка зависимости производительности измельчителей мяса от их конструкции и физико-механических свойств сырья. Д-р техн. наук, проф. Пеленко В.В., канд. техн. наук, доц. Зуев Н.А., д.техн. наук Ольшевский Р.Г., доц. Иваненко В.П., канд. техн. наук, доц. Крысин А.Г. Вестник Международной академии холода. 2015. № 1. С. 9-15.

УДК 006.91

ОСОБЕННОСТИ ВЫБОРА СРЕДСТВ ИСПЫТАНИЙ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ЗОНДОВ

Беднова М.В.¹, Черников И.Г.¹, Стрельников А.В.^{1,2}**Научный руководитель – к.т.н. Кустикова М.А.¹**¹ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева»²Университет ИТМО

Проводится анализ парка гидрологических зондов, применяемых в настоящее время при контроле параметров морской воды. Рассматривается вопрос выбора методов и средств измерений параметров гидрологических зондов при проведении испытаний в целях утверждения типа средств измерений. Приводится разработанный проект программы испытаний в целях утверждения типа гидрологического зонда IDRONAUT OCEAN SEVEN 316Plus CTD.

Ключевые слова: удельная электрическая проводимость, CTD-зонд, зонд гидрологический, программа испытаний в целях утверждения типа СИ, параметры морской воды.

Мировой океан занимает около 71% поверхности Земли и является источником энергетических, пищевых и минеральных ресурсов. Поэтому изучение его параметров является одной из приоритетных задач многих государств. Стоит отметить, что процесс океанологических измерений усложняется из-за неустойчивости стратифицированной среды, параметры которой изменяются в пространстве и времени [1].

Одним из широко применяемых видов оборудования для изучения физико-химических свойств морской воды в естественных условиях являются гидрологические зонды, которые также называют CTD-зонды. Они способны измерять такие параметры, как удельная электрическая проводимость (УЭП), температура и глубина, которые являются основными характеристиками морской воды. С помощью этих трех параметров можно вычислить и другие: соленость, плотность, вязкость, температуру замерзания и т.д. Помимо упомянутых каналов измерений, некоторые модели могут быть оснащены дополнительным оборудованием, например, датчиком мутности или датчиком растворенного кислорода.

Большая часть CTD-зондов представляет собой прочный погружаемый корпус, в котором находятся датчики. Существуют кабельные и автономные зонды. Первые оснащаются кабель-тросом, по которому осуществляется электропитание и передача данных. Автономные же зонды включают в свою конструкцию внутренний аккумулятор и запоминающее устройство, информацию с которого считывают уже после поднятия зонда.

CTD-зонды, в зависимости от совокупности факторов (цена, метрологические и технические характеристики, сложность конструкции), подразделяются на 4 группы:

1) высший класс CTD-зондов, которые отличаются сложной конструкцией, высокой ценой и высокими метрологическими характеристиками. Зонды такого класса используются, как правило, в качестве основной части измерительно-исследовательского комплекса, в том числе в международных программах, например, WOCE (World Ocean Circulation Experiment);

2) средний класс CTD-зондов. Их метрологические характеристики, цена и сложность устройства ниже, чем у первого класса, но, при должной калибровке, их могут использовать как зонды-дублиеры или даже как основное оборудование измерительного комплекса;

3) низкий класс CTD-зондов, которые используют для прикладных задач на необорудованных судах;

4) низший класс CTD-зондов. Приборы этой категории предназначены для оценочных измерений при выполнении вспомогательных задач.

На рынке CTD-зондов существуют несколько крупных производителей: «Sea-Bird Electronics, Inc.» (SBE), США; «Falmouth Scientific, Inc.» (FSI), США; «IDRONAUT S.R.L.» (IDRONAUT), Италия; «Richard Brancker Reaserch Ltd» (RBR), Канада; «Sea & Sun Technology GmbH» (Sea & Sun Technology), Германия. Несмотря на многообразие конструкторских решений, большинство зондов имеют схожие метрологические характеристики и

предназначены для измерения основных параметров морской воды в следующих диапазонах:

- 1) УЭП морской воды в диапазоне от 0,05 до 8,5 См/м;
- 2) температура в диапазоне от -5 до +50 °С;
- 3) гидростатическое давление в диапазоне от 0 до 100 МПа [2; 3].

Так как измерения физико-химических параметров морской воды являются сферой государственного регулирования, STD-зонды должны быть внесены в Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений. Для этого средство измерений должно пройти процедуру испытаний в целях утверждения типа СИ. Данная процедура регламентирована приказом Минпроторга РФ от 28 августа 2020 г. № 2905 «Об утверждении порядка проведения испытаний стандартных образцов или средств измерений в целях утверждения типа, порядка утверждения типа стандартных образцов или типа средств измерений, внесения изменений в сведения о них, порядка выдачи сертификатов об утверждении типа стандартных образцов или типа средств измерений, формы сертификатов об утверждении типа стандартных образцов или типа средств измерений, требований к знакам утверждения типа стандартных образцов или типа средств измерений и порядка их нанесения» [4].

Рассмотрим основные этапы испытаний в целях утверждения типа СИ. Во Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д.И. Менделеева, а именно в научно-исследовательскую лабораторию госэталонов в области физико-химических свойств жидкостей (НИЛ 2450), поступила заявка на проведение испытаний в целях утверждения типа СИ гидрологических зондов производства фирмы IDRONAUT серии OCEAN SEVEN различных модификаций. В ходе анализа заявки было выявлено, что для проведения испытаний необходимо и достаточно провести испытания модели 316Plus STD, так как она содержит комбинацию всех типов модулей, выпускается по одной технической документации, закрывает все диапазоны измерений (см. таблицу), а определяемые при испытаниях метрологические и технические характеристики позволяют подтвердить соответствие всего комплекса метрологических и технических характеристик требованиям технической документации изготовителя.

Таблица. Метрологические характеристики зондов IDRONAUT серии OCEAN SEVEN

Наименование характеристики	Значение для модификаций			
	304Plus	310	316Plus	320Plus
Диапазон измерений температуры, °С	от -5 до 35	от 5 до 50	от -3 до 50	от -5 до 45
Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений температуры, °С	±0,01	±0,01	±0,01	±0,01
Диапазон измерений гидростатического давления, МПа	от 0 до 10	от 0 до 7	от 0 до 10	от 0 до 10
Пределы допускаемой приведенной погрешности измерений гидростатического давления, %	±0,05	±0,05	±0,05	±0,05
Диапазон измерений УЭП, См/м	от 0,005 до 7	от 0,005 до 7	от 0,005 до 9	от 0,005 до 9
Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений УЭП в диапазоне от 0,005 до 0,5 включ. См/м, См/м	±0,001	±0,001	±0,001	±0,001
Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений УЭП в диапазоне св. 0,5 См/м, См/м	±0,2	±0,2	±0,2	±0,2

Следующим этапом проведения испытаний СИ является разработка программы испытаний. Одним из основных пунктов программы испытаний является определение метрологических и технических характеристик средства измерений, включая показатели точности, выраженных в единицах величин, допущенных к применению в Российской Федерации.

Для определения метрологических характеристик измерительных каналов зондов применяются эталоны, стандартные образцы или средства измерений, прослеживающиеся к соответствующим Государственным первичным эталонам единиц величин. При их выборе следует учитывать, что отношение границ доверительной погрешности эталонов и средств измерений, используемых при испытаниях, и предела допускаемой погрешности испытываемых средств измерений не более 0,5 [5].

Во время проведения испытаний в лаборатории должны поддерживаться нормальные условия окружающей среды, а именно:

- температура окружающего воздуха, °С: 25 ± 5 ;
- относительная влажность воздуха, не более, %: 95;
- атмосферное давление, кПа: от 86 до 107.

Для определения метрологических характеристик измерительного канала температуры используются:

- измеритель температуры многоканальный прецизионный серии МИТ 8 с термометром сопротивления эталонным ЭТС-25, пределы допускаемой абсолютной погрешности в диапазоне от -5 до $+100$ °С, $\pm 0,004$ °С;
- термостат жидкостной «ТЕРМОТЕСТ-100», погрешность поддержания температуры $\pm 0,1$ °С в диапазоне температур от -30 °С до $+90$ °С.

Проверку диапазона и определение абсолютной погрешности измерений температуры проводить путем сравнения значений, полученных на зонде со значением эталонного термометра. Измерения проводить в трех точках, расположенных на начальном (0 °С) среднем (25 °С) и конечном (45 °С) участках диапазона.

Далее рассчитывается абсолютная погрешность измерений температуры по формуле:

$$\Delta t = t_{изм} - t_{эм},$$

где $t_{изм}$ – температура, измеренная зондом, °С;

$t_{эм}$ – температура, измеренная эталонным термометром, °С.

Результаты испытания считаются положительными, если в процессе испытаний значение абсолютной погрешности измерений температуры не превышает $\pm 0,01$ °С в заданном диапазоне.

Следующим измеряемым параметром STD-зонда является канал измерений УЭП. Проверку его диапазона и определение погрешности измерений проводят путем сравнения значений УЭП контрольных растворов хлористого калия, измеренных зондом, со значениями, полученными на рабочем эталоне 1 разряда единицы УЭП жидкостей. В каждой точке проводят не менее трех независимых измерений. При этом используется следующее оборудование:

- рабочий эталон 1 разряда единицы удельной электрической проводимости жидкостей (КПУ-1-0,06Э), диапазон измерений УЭП жидкостей от 10^{-4} до 100 См/м, пределы допускаемой относительной погрешности измерений: $\pm 0,1$ %;
- термометр лабораторный электронный ЛТ-300, пределы допускаемой абсолютной погрешности в диапазоне от -50 до $199,99$ °С $\pm 0,05$ °С;
- контрольные растворы УЭП.

Для определения погрешности в диапазоне рабочих температур анализируемой среды измерения повторить в двух точках, расположенных на начальном (5 – 10 %) и конечном (80 – 90 %) участках диапазона температур.

Для каждого измеренного значения измерений УЭП рассчитывают абсолютную и относительную погрешность по формулам:

$$\Delta\chi = \chi_{изм} - \chi_0,$$

$$\delta\chi = \frac{\chi_{изм} - \chi_0}{\chi_0} \cdot 100\%,$$

где $\chi_{изм}$ – значение УЭП, измеренное зондом, См/м;

χ_0 – значение УЭП, измеренное на рабочем эталоне, См/м.

Результаты испытания считаются положительными, если в процессе испытаний значение:

– абсолютной погрешности измерений УЭП в диапазоне от 0,005 до 0,5 (включительно) См/м не превышает $\pm 0,001$ См/м;

– относительной погрешности измерений УЭП в диапазоне св. 0,5 до 9 См/м не превышает $\pm 0,2$ %.

Последним исследуемым параметром STD-зонда является гидростатическое давление.

Проверку диапазона и определение приведенной (к диапазону) погрешности измерений гидростатического давления проводить путем сравнения значений, заданных на грузопоршневом манометре МП-600 (относительная погрешность измерения избыточного давления в диапазоне до 60 МПа $\pm 0,005$ %), со значениями, измеренными зондом.

Приведенную (к диапазону) погрешность измерений гидростатического давления рассчитать для каждого измеренного значения по формуле:

$$\gamma_p = \frac{P_{изм} - P_{эт}}{P_n} \cdot 100\%,$$

где $P_{изм}$ – значение давления, измеренное зондом, МПа;

$P_{эт}$ – заданное значение давления, МПа;

P_n – верхний предел диапазона измерений, МПа.

Результаты испытания считаются положительными, если в процессе испытаний значение приведенной (к диапазону) погрешности измерений гидростатического давления не превышает $\pm 0,05$ % в диапазоне от 0 до 10 МПа.

В результате работы был разработан проект программы испытаний в целях утверждения типа STD-зондов Ocean Seven, модификации 304Plus, 310, 316Plus, 320Plus с указанием необходимого испытательного оборудования, обеспечивающих подтверждение заявленных метрологических характеристик. Проект программы испытаний разработан с учетом требований приказа Минпромторга № 2905 от 28 августа 2020 г. и документа РК СК 02-07-19 «Руководство по качеству испытаний средств измерений в целях утверждения типа» с изменением №1 от 10.02.2020 ФГУП «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева».

Литература

1. Максаковский В.П. Географическая картина мира. Книга 1. М.: Дрофа, 2008. 495 с.
2. Архипкин В.С., Лазарюк А.Ю., Левашов Д.Е., Рамазин А.Н. Океанология: инструментальные методы измерения основных параметров морской воды. М.: МАКС Пресс, 2009. 336 стр.

3. Рамазин А.Н. Левашов Д.Е. Методические рекомендации по калибровке и метрологическому обеспечению измерителей параметров водной среды. М.: ВНИРО, 2016. 127 с.
4. Об утверждении порядка проведения испытаний стандартных образцов или средств измерений в целях утверждения типа, порядка утверждения типа стандартных образцов или типа средств измерений, внесения изменений в сведения о них, порядка выдачи сертификатов об утверждении типа стандартных образцов или типа средств измерений, формы сертификатов об утверждении типа стандартных образцов или типа средств измерений, требований к знакам утверждения типа стандартных образцов или типа средств измерений и порядка их нанесения [Электронный ресурс]: приказ Минпроторга РФ от 28 августа 2020 г. № 2905. Доступ из информационно-правового портала «Гарант».
5. Об утверждении государственной поверочной схемы для средств измерений удельной электрической проводимости жидкостей [Электронный ресурс]: приказ Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 27 декабря 2018 г. № 2771. Доступ из электронного фонда правовых и нормативно-технических документов «КОНСОРЦИУМ КОДЕКС».

УДК 664.292

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ОБРАБОТКИ НА КАЧЕСТВО ПЕКТИНА

Бобылькова О.М.¹, Егорова О.А.¹

Научный руководитель – д.т.н., профессор Алексеев Г.В.¹

¹Университет ИТМО

Работа выполнена в рамках темы НИР № 620145 «Роль биологически активных веществ природного происхождения в развитии и нутритивной профилактике неинфекционных заболеваний».

Приведены описания исследований качественных показателей пектиновых веществ, извлеченных из цитрусового сырья, замороженных при различных температурах. При замораживании в продуктах происходят физико-химические изменения, которые приводят к изменениям их исходных свойств. Целью исследований является изучение влияния низких температур на студнеобразующую и сорбционную способность цитрусового пектина.

Ключевые слова: пектин, заморозка сырья, выход пектина, экстракция, молекулярная масса.

Пектин – это природный полимер, находящийся в стенках растительных клеток, который широко применяется в пищевой промышленности применяется в качестве гидроколлоида, вещества, способного улавливать воду и образовывать гели в низких концентрациях. В пищевом секторе пектин традиционно используется в качестве желирующего агента, загустителя и стабилизатора, а также в качестве заменителя жира и укрепляющего здоровье функционального ингредиента [1].

В классической схеме кислотного гидролиза используются сильные минеральные кислоты. Так как на сегодняшний день существует тенденция экологичного производства, в лаборатории Университета ИТМО мы проводили экстракцию с использованием лимонной кислоты. Переход от сильных кислот к органическим несет за собой потерю выхода конечного продукта. Для устранения этой проблемы был использован метод замораживания сырья.

Нами были получены положительные результаты, и выявлена тенденция увеличения выхода конечного продукта с увеличением температуры замораживания сырья. Замораживание сырья является важным этапом, который приводит к увеличению выхода пектиновых веществ, не менее важно изучить влияние низкой температуры на физико-химические свойства пектинов. В данной работе мы исследовали качественные показатели пектина после экстракции с использованием замороженного сырья [2].

В данном эксперименте проводили исследования в диапазоне температур от -33 до -5. В качестве сырья использовались флаведо и альбедо апельсинов. Строение и химический состав пектиновой молекулы значимым образом влияют на устойчивость к низким и сверхнизким температурам растительных тканей. Характерными показателями пектина являются молекулярный вес, метоксильное число, ацетильное число, растворимость в воде, желеобразующая способность, комплексообразование.

Желирующая способность пектина возрастает с увеличением молекулярной массы. Молекулярная масса – важный параметр качественных характеристик пектина. Она тесно связана с вязкостью растворов пектина, так как вязкость – это внутреннее трение, появляющееся в результате внутримолекулярного взаимодействия [1].

Для характеристики молекулярной массы пектиновых веществ используют изменение вязкости пектиновых растворов. Для проведения исследования вязкости раствора цитрусового пектина был использован капиллярный вискозиметр ВПЖ-1. В экспериментах каждое измерение проводили по три раза. Для проведения исследования сначала была взята навеска пектина, которую растворили в воде на магнитной мешалке. Путем добавления воды к раствору получили значения времени истечения растворов различной концентрации. В результате анализа полученных экспериментальных данных была определена величина вязкости.

Для конечного значения молекулярной массы нужно провести ряд расчетов, основанных на измерениях на капиллярном вискозиметре.

Вязкость раствора пектина рассчитывается по формуле

$$\eta_x = \eta_0 \frac{\tau_x}{\tau_0}, \quad (1)$$

где η_0 - вязкость воды, Па·с,

τ_x – среднее арифметическое время истечения раствора, с,

τ_0 – время истечения воды, с.

Относительная вязкость раствора рассчитывается по формуле

$$\eta_{отн} = \frac{\eta_x}{\eta_0}, \quad (2)$$

Удельная вязкость рассчитывается по формуле

$$\eta_{уд} = \eta_{отн} - 1. \quad (3)$$

Приведенная вязкость рассчитывается по формуле

$$\eta_{пр} = \frac{\eta_{уд}}{C}, \quad (4)$$

где C – концентрация раствора.

Зная величины приведенной вязкости, строится график $\eta_{пр}$ от C и определяют характеристическую вязкость $[\eta]$. Характеристическую вязкость находят графическим путем, проведя отрезок на оси ординат.

Зная характеристическую вязкость, можем выразить среднюю молекулярную массу, используя уравнение Марка-Куна-Хаувинка:

$$[\eta] = K \cdot M^\alpha, \quad (5)$$

где K и α - константы, зависящие от свойств исследуемого вещества, для пектина $K=1,1 \cdot 10^{-5}$, $\alpha = 1,2$ [1].

Результаты опытов представлены в таблицах 1 – 4.

Таблица 1. Результаты вискозиметрии раствора пектина, полученного из свежих апельсинов

№	С р-ра	Время истечения τ , с			$\tau_{ср}$, с	η_x , Па·с	$\eta_{отн}$	$\eta_{уд}$	$\eta_{пр}$	$[\eta]$	М
5	0,0625	17	16	17	16,67	1 363,64	1,52	0,52	8,24	3,36	37153
4	0,125	19	18	19	18,67	1 527,27	1,70	0,70	5,58		
3	0,25	29	30	29	29,33	2 400,00	2,67	1,67	6,67		
2	0,5	59	60	60	59,67	4 881,82	5,42	4,42	8,85		
1	1	252,6	255,6	253,8	254,00	20 781,82	23,09	22,09	22,09		

Таблица 2. Результаты вискозиметрии раствора пектина, полученного из замороженных апельсинов при -3°C

№	С р-ра	Время истечения τ , с			$\tau_{ср}$, с	η_x , Па·с	$\eta_{отн}$	$\eta_{уд}$	$\eta_{пр}$	$[\eta]$	М
5	0,0625	14,00	14,00	14,00	14,00	1 145,45	1,27	0,27	4,36	3,53	32 359
4	0,1250	16,00	16,00	16,00	16,00	1 309,09	1,45	0,45	3,64		
3	0,25	21,00	21,00	21,00	21,00	1 718,18	1,91	0,91	3,64		
2	0,5	34,00	35,00	35,00	34,67	2 836,36	3,15	2,15	4,30		
1	1,0	60,02	60,05	60,06	60,04	4 912,64	5,46	4,46	4,46		

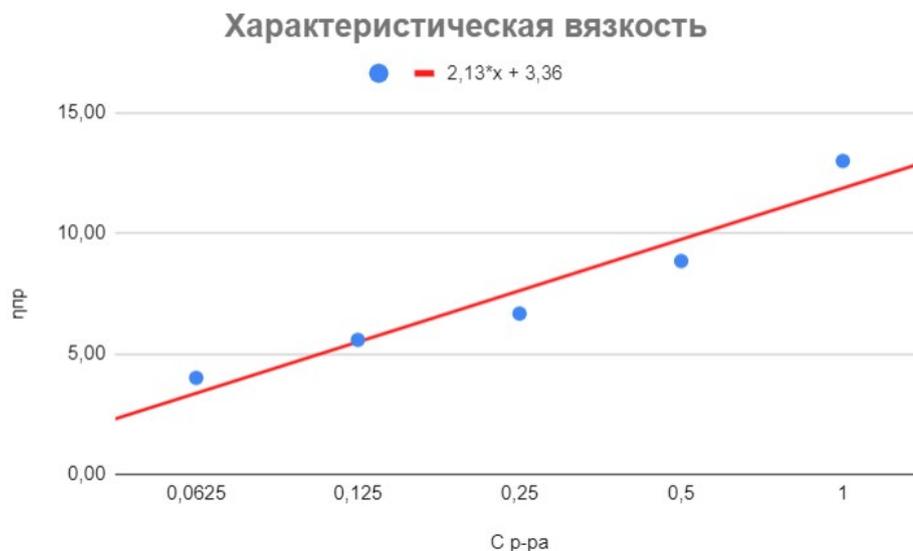


Рис. 1. Характеристическая вязкость раствора пектина, полученного из свежих апельсинов

Молекулярная масса пектина, полученного из свежих апельсинов равна 37153.

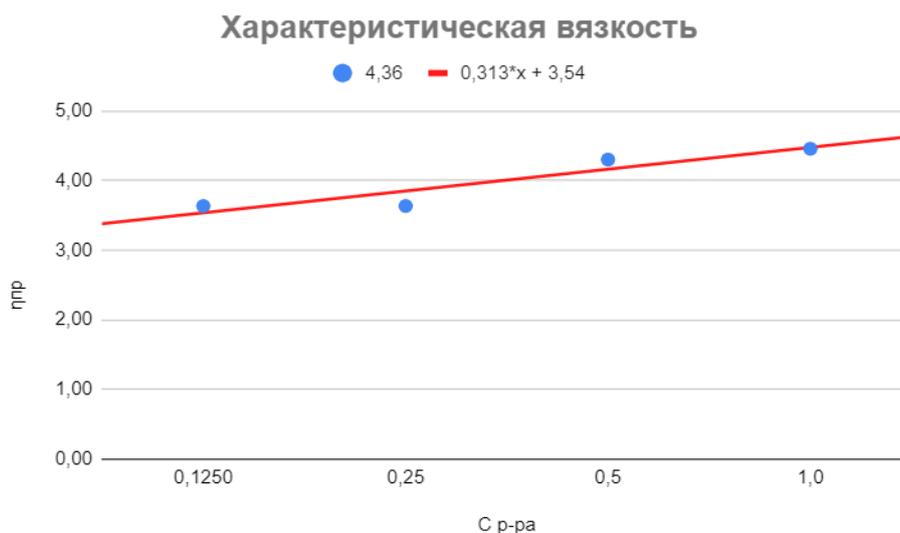


Рис. 2. Характеристическая вязкость раствора пектина, полученного при заморозке апельсинов при $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$

Молекулярная масса пектина, полученного при заморозке апельсинов при $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$, равна 32359.

Таблица 3. Результаты вискозиметрии раствора пектина, полученного из замороженных апельсинов при $-22\text{ }^{\circ}\text{C}$

№	C p-ра	Время истечения τ , с			τ_{cp} , с	η_x , Па·с	$\eta_{отн}$	$\eta_{уд}$	$\eta_{пр}$	[η]	M
5	0.0625	14	14	14	14	1 145,45	1,27	0,27	4,36	3,26	28840
4	0.125	16	16	16	16	1 309,09	1,45	0,45	3,64		
3	0.25	20	20	20	20	1 636,36	1,82	0,82	3,27		
2	0.5	32	31	30	31	2 536,36	2,82	1,82	3,64		
1	1	56	55	57	56	4 581,82	5,09	4,09	4,09		

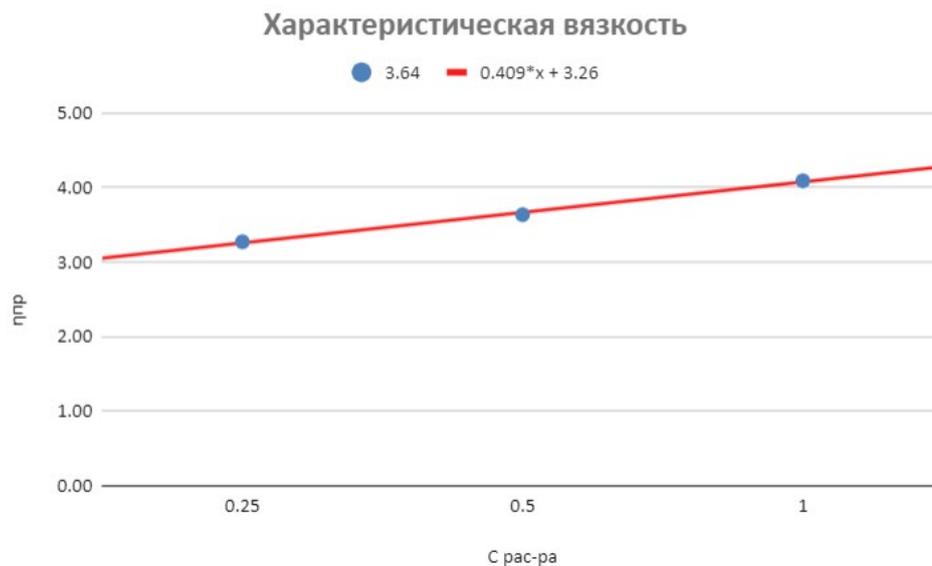


Рис. 3. Характеристическая вязкость раствора пектина, полученного при заморозке апельсинов при – 22 °С

Молекулярная масса пектина, полученного при заморозке апельсинов при -22°С, равна 28840.

Таблица 4. Результаты вискозиметрии раствора пектина, полученного из замороженных апельсинов при – 32 °С

№	С р-ра	Время истечения τ, с			τ _{ср} , с	η _х , Па·с	η _{отн}	η _{уд}	η _{пр}	[η]	М
5	0,0625	14,00	14,00	14,00	14,00	1 145,45	1,27	0,27	2,90	2,71	26 302
4	0,125	15,00	15,00	15,00	15,00	1 227,27	1,36	0,36	2,91		
3	0,25	20,00	20,00	19,00	19,67	1 609,09	1,79	0,79	3,15		
2	0,50	29,00	30,00	29,00	29,33	2 400,00	2,67	1,67	3,33		
1	1,00	55,00	57,00	57,00	56,33	4 609,09	5,12	4,12	4,12		

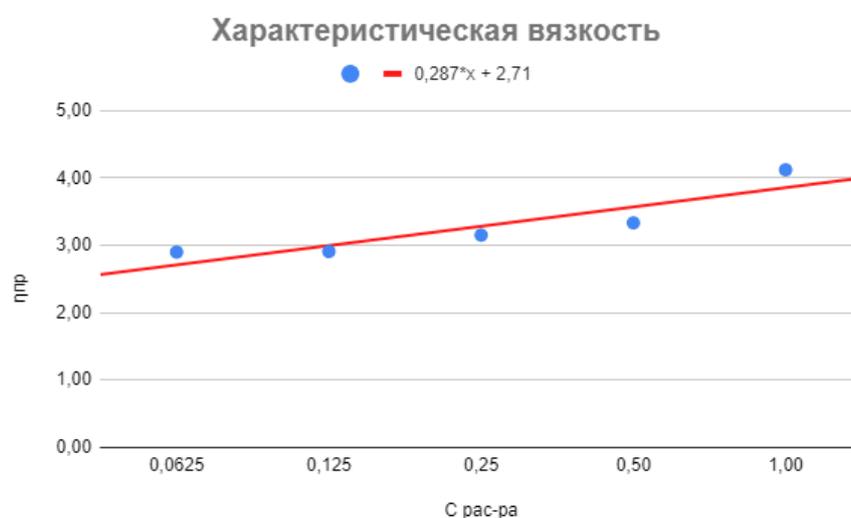


Рис. 4. Характеристическая вязкость раствора пектина, полученного при заморозке апельсинов при – 32 °С

Молекулярная масса пектина, полученного при заморозке апельсинов при -32°С, равна 26302.

Полученные данные объединим в таблицу 5.

Таблица 5. Молекулярная масса растворов пектина

Сырье	М.м.
Свежие апельсины	37153
Замороженные апельсины при – 3 °С	32359
Замороженные апельсины при – 22 °С	28840
Замороженные апельсины – 32 °С	26302

Цитрусовый пектин имеет молекулярную массу от 23000 до 360000, из таблицы 5 видно, что молекулярная масса пектина, полученного из замороженных апельсинов, имеет тенденцию к небольшому снижению с понижением температуры замораживания, но, тем не менее, все значения соответствуют молекулярным массам пектина с высокой желирующей способностью. Это уменьшение можно отнести к деструкции молекул под действием низкой температуры. Полученные данные позволяют рекомендовать предварительное замораживание сырья при производстве пектина высокого качества.

С учетом известных данных по увеличению выхода при снижении температур замораживания и полученных данных по снижению качества планируется продолжить экспериментальные работы для оптимизации процесса производства пектина с использованием схемы низкотемпературной обработки сырья.

Проведенные исследования физико-химических свойств пектинов позволяют определить возможность их наиболее эффективного применения, а их величины могут зависеть от способа выделения пектина и способа обработки сырья. Значения, полученные в ходе данного исследования, позволяют рекомендовать использование низкотемпературной схемы обработки пектиносодержащего сырья для увеличения выхода конечного продукта с сохранением его качества в производстве пектина с использованием лимонной кислоты.

Литература

1. Донченко Л. В., Фирсов Г. Г. Пектин: основные свойства, производство и применение. М.: ДеЛи принт, 2007. 275 с.
2. Егорова О. А., Кравцова Е. В. Системный многоступенчатый анализ существующих технологий получения пектина // Медико-биологические и нутрициологические аспекты здоровьесберегающих технологий: материалы I Международной научно-практической конференции (Кемерово, 27 ноября 2020г.). 2020. С. 302–306.
3. Богус А. М., Шаззо Р. И. Физические способы получения пектина. – Краснодар: Экоинвест, 2003. 127 с.
4. Алексеев Г. В., Егоров А. Н., Сидорова А. И., Егорова О. А. Применение различных видов экстракции при получении пектина // Энергетика, информатика, инновации 2017: сборник трудов VII Международной научно-технической конференции. 2017. Т. 2. С. 257–260.

УДК 504

ИЗУЧЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ, РЕЖИМОВ ПРОИЗВОДСТВА И РЕЦЕПТУРЫ БИОРАЗЛАГАЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ

Васильева М.О.¹Научный руководитель – к.т.х., доцент Молодкина Н.Р.¹¹Университет ИТМО

Работа выполнена в рамках темы НИР №620147 «Получение вторичных сырьевых и энергетических ресурсов на основе принципов циркуляционной экономики».

В работе изучены существующие технологии и рецептуры биоразлагаемых материалов на основе природных компонентов. В данном исследовании разработана технология производства биоразлагаемых материалов с целью дальнейшего получения одноразовой посуды.

Ключевые слова: биоразлагаемый материал, рецептура, технология, режимы, рисовая шелуха.

При современных темпах роста производства пластика, по одному из прогнозов ученых, к 2050-ому году объемы вырастут до 32 млрд. тонн. При этом перерабатывается лишь 8% пластиковых отходов, остальное копится на свалках. За то время, которое разлагается пластиковое изделие, успеет смениться несколько поколений. Наиболее безопасным для экологии решением данной проблемы является переход к производству биоразлагаемых материалов.

В настоящее время производство биоразлагаемых материалов еще не получило широкого распространения. Во всём мире существует примерно 180 компаний, занимающихся производством биопластиков. Их распределение по странам отражено на рисунке 1 [1].

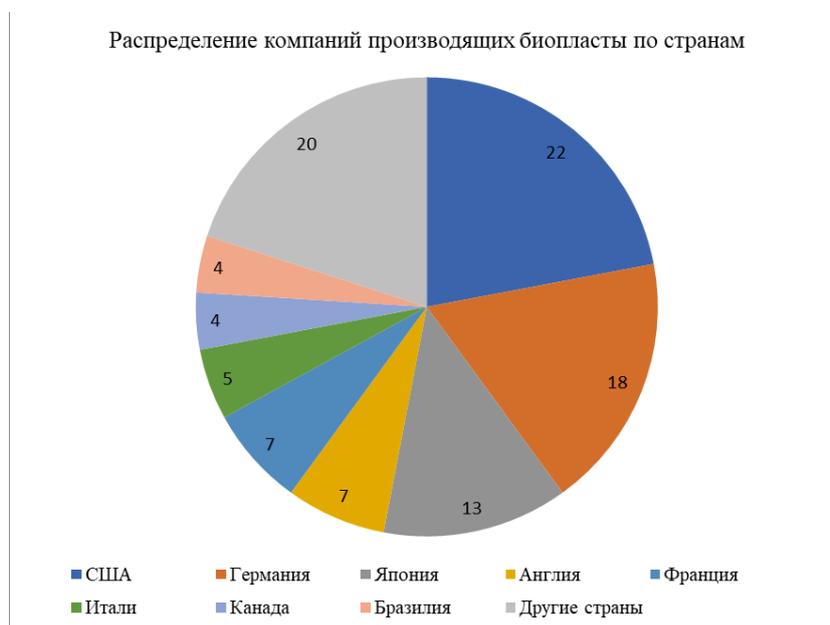


Рис. 1. Распределение компаний, производящих биопластики, по странам

Причём, как видно из диаграммы, в России данная отрасль производства только начала своё развитие. Можно выделить следующих производителей биопластиков: АО «ВНИИСВ», г. Тверь, занимается производством PLA, однако не в промышленных масштабах; МСРР Eurоре GmbH, Московская область, производят растворы для изготовления плёнок; ВитаХим, Группа компаний, Москва.

Биоразложение – это процесс, в результате которого материал разлагается до CO₂ и H₂O под действием живых организмов. Причём, если в состав материала входит несколько компонентов, то каждый из них должен быть разлагаемым.

Таким образом, наиболее часто встречаются материалы, в состав которых входят:

1. Отходы агропромышленного комплекса (рисовая шелуха, кофейный жом, свекольный жмых).
2. Природные полимеры (целлюлоза, крахмал, молочная кислота).

Причем использование отходов агропромышленного комплекса экономически выгодно. Так, например, при переработке 50 кг рисового сырца образуется 10 кг рисовой шелухи. В 2019 году сбор риса в России составил 1,1 млн тонн сырца, соответственно, в 2019 году было произведено 0,22 млн тонн рисовой шелухи (отходов). В настоящее время 75% рисовой шелухи сжигают, с образованием огромного количества золы. Таким образом, у производителей риса ежегодно образуется огромное количество отходов, единственным вариантом утилизации которых является сжигание и закапывание.

В использованной мной рецептуре [2] биоразлагаемого материала были использованы следующие компоненты: рисовая шелуха, крахмал, глицерин, лимонная кислота, вода.

Все компоненты смешиваются в строго определённом соотношении при повышенной температуре (нагрев в течение 15 минут на кипящей водяной бане). Содержание крахмала варьируется в зависимости от производителя (± 2 г).

Далее происходит формирование изделия. Нами был использован метод раскатки прижимным валиком с дальнейшим накладыванием материала на формовочную деталь.

Однако для промышленных масштабов данный метод не пригоден.

В литературе встречаются два технологических метода производства изделий из биоразлагаемых материалов [3].

Ограничение по возможным методам связаны со спецификой используемых материалов. Для сохранения конечными изделиями способности к биоразложению недопустимо использование различных добавок (терморегуляторов, пластификаторов и прочее). Компоненты, входящие в состав материала, также приводят к некоторым ограничениям при производстве. Например, при использовании крахмала нельзя повышать температуру обработки выше 110 °С. При нагреве сухого крахмала выше данной температуры происходит его декстринизация (разрушение структуры).

В литературе [3] встречаются технологии производства: горячее прессование, экструзия.

Метод горячего прессования подразумевает смешение в бункере всех компонентов, их плавление и продавливание через шнек непосредственно в формообразующую, где изделие формуется, приобретая свой конечный вид, после чего происходит его остывание. Таким образом, на выходе получается изделие требуемой формы и размера.

Метод экструдирования, по сути, ничем отличается, за исключением того, что материал из шнека не поступает в формообразующую, а проходит через отверстие, образовав собой полый «шланг». Таким образом, получается не конечное изделие, а промежуточный продукт, который в дальнейшем можно также пропустить через пресс, для придания изделию необходимой формы,

Сравнительная характеристика данных методов приведена в таблице 1.

Таблица 1. Сравнительная характеристика технологий производства биоразлагаемых материалов

Метод	Достоинства	Недостатки
Горячее прессование	Возможность производить изделия почти любой формы; Высокая производительность; Экономическая выгода.	Необходимость подготовки сырья (гранулирование); Большие габариты термопластавтоматов.
Экструзия	Относительная простота; Маленькие габариты; Высокая производительность.	Ограниченный вид производимых изделий. Необходимость использования дополнительного оборудования.

В ходе данной работы мной был апробирован метод экструзии. Материал был предварительно подготовлен по описанной выше методике. После прокатки прижимным валиком материал высушили и гранулировали до частиц размером 2 – 3 мм.

Экструдирование проводили при следующих режимах:

1. 770 – 800 оборотов.
2. Давление 1 – 2 Мпа.
3. Температура 50 – 67°C.

При температуре выше 68 градусов материал начинает гореть, шнек экструдера заклинивает, и число оборотов резко уменьшается, что видно на графике, приведённом на рисунке 2.



Рис. 2. График зависимости температуры от числа оборотов шнека в минуту

После проведения экструзии был произведён ряд опытов для сравнения свойств материала, получаемого методом экструзии, и материала, полученного методом раскатки прижимным валиком. Результаты эксперимента занесены в таблицу 2.

Таблица 2. Сравнительная характеристика материалов, полученных различными методиками

Показатель сравнения	Материал, полученный раскаткой	Экструдированный материал
Растворимость в воде ($t_{ком}$, 0,4 г материала в 150 мл H ₂ O)	Более 2 часа	Начало растворения через 10 минут, полное растворение через 40 минут
Влажность (отобраны навески для измерения массой 4,8 г)	4,96%	2,9%
Растворимость в горячей воде ($t = 80^{\circ}C$, 0,4 г материала)	Процесс начался через 30 минут, полное растворение через 2 часа	15 минут до полного растворения
Хрупкость	Устойчив к механическим воздействиям.	Материал ломкий, хрупкий

Таким образом, можно сделать вывод, что обработка с помощью экструзии привела к значительному ухудшению свойств материала, что негативно скажется при дальнейшей эксплуатации, ввиду несоответствия требованиям, предъявляемым к материалу, а именно:

1. Биоразлагаемость.
2. Устойчивость к воде.
3. Твёрдость.

4. Хрупкость.

5. Экономическая выгода.

В ходе работы была рассмотрена рецептура производства биоразлагаемых материалов, изучены технологии производства. Проведена апробация рецептуры и технологии с использованием экструдера.

В дальнейшем планируется изменить рецептуру, провести проверку материала на способность к биоразложению, а также изучить другие технологии производства.

Литература

1. Antonio, U. B. Innovation and Industrial Trends in Bioplastics / U. B. Antonio, P. Fernanda. Campinas, Brazil : Taylor & Francis. 2009. 65-78 с.
2. Биоразлагаемое вещество на основе природных полимеров [Текст]: пат 2709883 С1 Российская Федерация, МПК С08L 3/02 (2006.01), С08К 5/053 (2006.01), С08К 5/09 (2006.01). С 08L 101/16 (2006.01)
3. Azadeh Soroudi, Ignacy Jakubowicz, Recycling of bioplastics, their blends and biocomposites: A review / Azadeh Soroudi, Ignacy Jakubowicz. Boras, Sweden : European Polymer Journal. 2013. 1-32 с.

УДК 504.06

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ В ЖИЗНЕННОМ ЦИКЛЕ ТЕПЛООВОГО АККУМУЛЯТОРА

Вдовина И.О.¹

Научный руководитель - старший преподаватель Савоскула В.А.¹

¹Университет ИТМО

Работа выполнена в рамках темы НИР №620150 «Повышение эффективности энергетических систем путем использования тепловой энергии».

Целью данной работы являлось исследование экологических аспектов в жизненном цикле теплового аккумулятора (ТА) с применением метода экологического системного анализа: оценки жизненного цикла (ОЖЦ). А именно провести анализ ресурсной эффективности и оценку воздействия на ОС. По результатам работы определено, что тепловой насос может представлять собой источник воздействия на окружающую среду.

Ключевые слова: тепловой аккумулятор, ОЖЦ, производственная система, MIPS анализ, экологические аспекты.

Современный мир и отсутствие в нем энергии – трудно представляемое явление. Углубляясь в прошлое, в первобытное общество, когда огонь выступал в роли источника тепла и для термической обработки пищи, развитие мира и общества в нем способствовало увеличению использования всех видов энергии, что, в свою очередь, привело к росту ресурсопотреблению. Сегодня же, в 21 веке, человек не представляет свое комфортное существование без энергии.

Статистический ежегодник мировой энергетики 2020 доказывает, что наша страна имеет статус ведущей державы в области энергетических ресурсов. Россия обладает большими запасами газа, нефти и угля. Анализируя данный источник, в РФ на 2019 год по типу энергии ситуация такова: больше всего приходится на природный газ – 54%, далее нефть – 20%, 15% – уголь, на электроэнергию приходится 9% и по 1% у биомассы и теплоэнергетики [1].

Запасы традиционных энергетических ресурсов ограничены – это является общеизвестным фактом. И то, что они оказывают неблагоприятное воздействие на окружающую среду. Это один из критериев, который способствовал разработки и внедрению альтернативных источников энергии. Эти источники являются альтернативными, так как характеризуются как более экобезопасные по сравнению с традиционными.

Важным вопросом в использовании природных богатств окружающей среды является рациональное их природопользование. Поэтому имеются такие направления, которые направлены на рациональное использование природных ресурсов. Например, применение тепловых аккумуляторов (ТА) в целях сохранения тепловой энергии. Аккумуляторы тепла (тепловые накопители) характеризуются как устройство или совокупность установок, применяемые в целях сохранения энергии для последующего использования. При возникновении потребности в тепловой энергии или холоде нагретое или охлажденное вещество подается в сеть – в этом состоит принцип работы ТА. В роли теплоносителя выступает, например, вода [2].

Значительную роль играет экологическая оценка на основе оценки жизненного цикла (ОЖЦ) в уменьшении воздействия на окружающую природную среду. ОЖЦ тесно связана с экологическими аспектами продукции. Под экологическими аспектами понимаются элементы продукции и услуг, деятельности организации или материальных ресурсов, которые вероятнее всего могут оказывать воздействие на природу. Примерами экоаспектов, например, служат сбросы и выбросы, образование отходов, а также шум и т.д. Суть понятия «воздействие на окружающую среду» состоит в возникновении положительных или отрицательных изменений в окружающей среде, произошедшие в результате какого-либо аспекта [3].

Необходимо провести ОЖЦ для утверждения о том, что продукт безопасен для окружающей среды, иначе эта гипотеза будет необоснованной. Поэтому далее требуется определить виды воздействий в жизненном цикле аккумуляторов и каких экологических аспектов они касаются. В качестве объекта исследования был выбран тепловой аккумулятор для сохранения тепловой энергии.

Касаемо объекта исследования и его стадий жизненного цикла, то они включают: производство материалов и деталей; сборку теплового накопителя; его использование, включая техническое обслуживание; переработку или утилизацию отходов после окончания срока жизни (рис. 1).

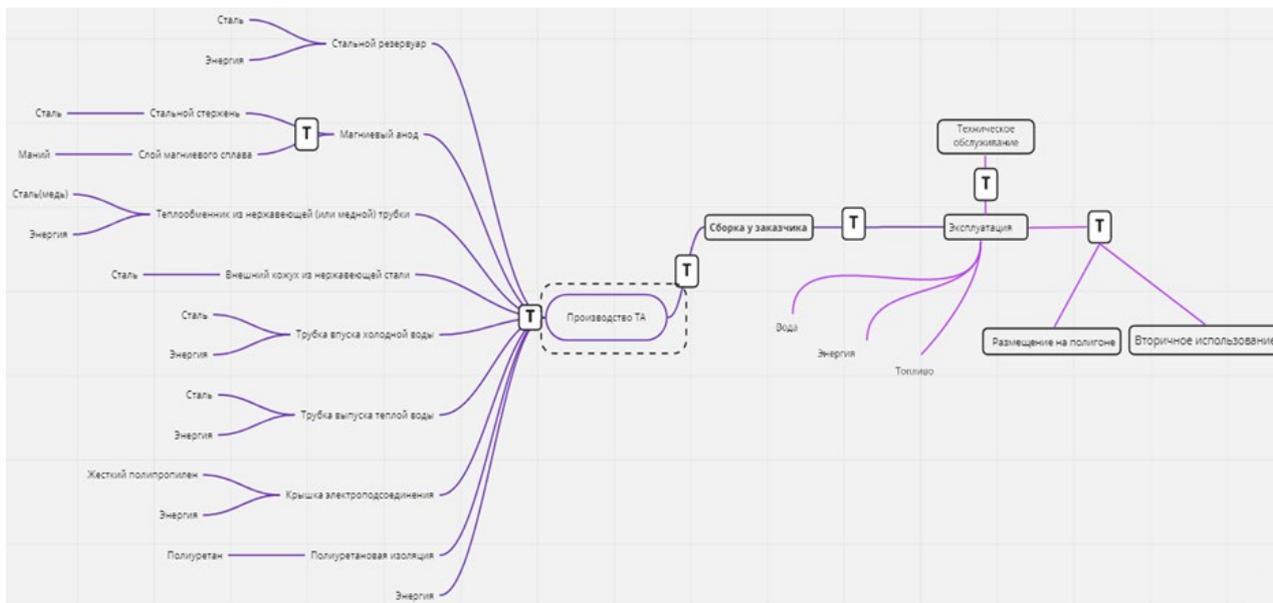


Рис. 1. Стадии жизненного цикла ТА и границы производственной системы

Структура единичных процессов изготовления ТА показана на рисунке 2. Входными потоками являются сталь, магний, полиуретан, жесткий полипропилен, энергия, вода и упаковочный материал. Загрязненные сточные воды, выбросы в атмосферу, отходы – все это является выходными потоками.

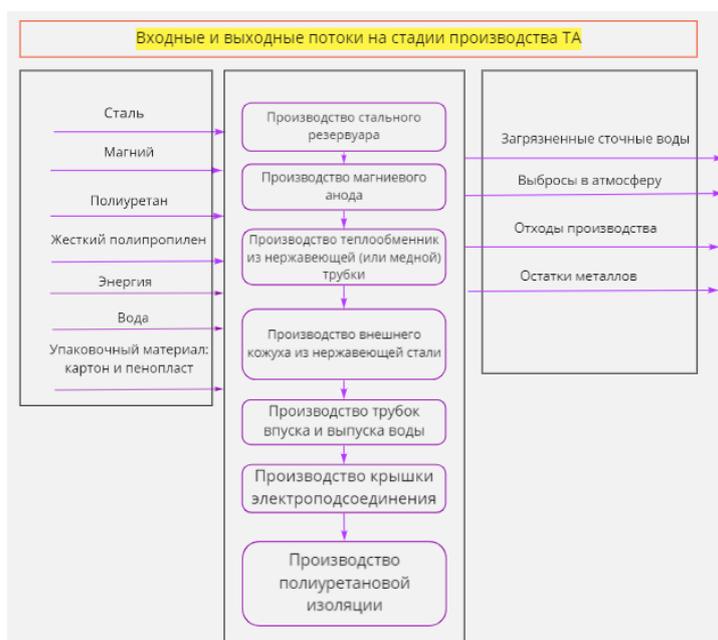


Рис. 2. Входные и выходные потоки на стадии производства ТА

Входные потоки ресурсов в жизненном цикле продукции, а именно материальные и энергетические, рассматриваются при анализе ресурсной эффективности (АРЭ). В создании продукции определить ресурсную эффективность позволит методика MIPS-анализа (от англ. Material Input per Product or Service Unit). Совокупность MIT-коэффициентов, характеризующее среднюю ресурсоемкость материала, дает возможность рассчитать MIPS на разных стадиях ТА [4]. Также полученные данные позволяют говорить о наиболее ресурсоемких и водоемких процессах в цепи создания продукции [5].

На рисунках 3 – 4 показана структура потоков абиотических ресурсов и потребление воды на стадии производства аккумулятора по данным выполненного АРЭ. Наиболее водоемкими на стадии производства являются процессы получения полиуретана – 50 %, электричества – 30%, стали – 16%, пропилена – 3%, картона – 1% и воды – менее 1%.

Наиболее ресурсоемкими, т.е. потребляющими наибольшее количество абиотических ресурсов, являются процессы получения технической стали – 44%, электричества – 40%, полиуретана – 15%, пропилена – 1%. Материалами, доля которых составляет менее 1%, можно пренебречь.

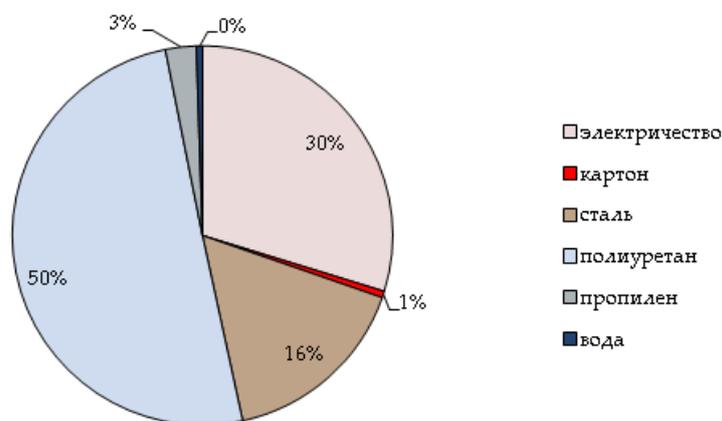


Рис. 3. Структура потребления водных ресурсов на стадии производства ТА

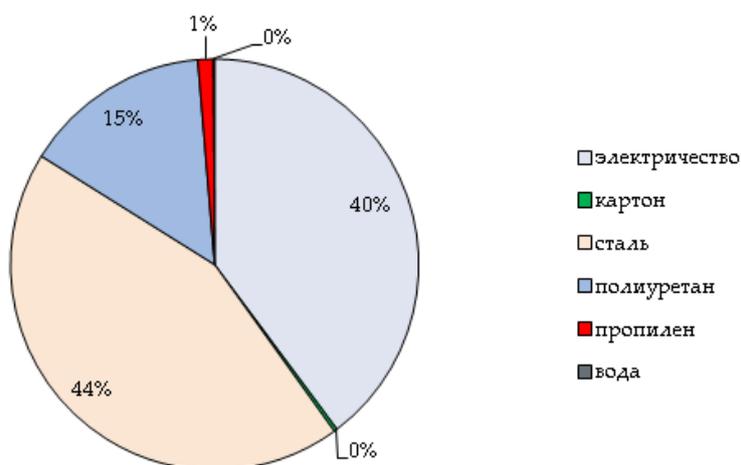


Рис. 4. Структура потребления абиотических ресурсов на стадии производства ТА

Для наглядного представления выходных потоков была построена диаграмма трех основных показателей на стадии производства (рис. 5). Такой показатель, как образование отходов, не изображен из-за большой разницы в значениях с другими категориями. Из диаграммы видно, что наибольшее значение – у показателя “потенциал эвтрофикации”, наименьшее – у потенциала закисления. Данные были получены с помощью программного продукта LCA Light Tools.

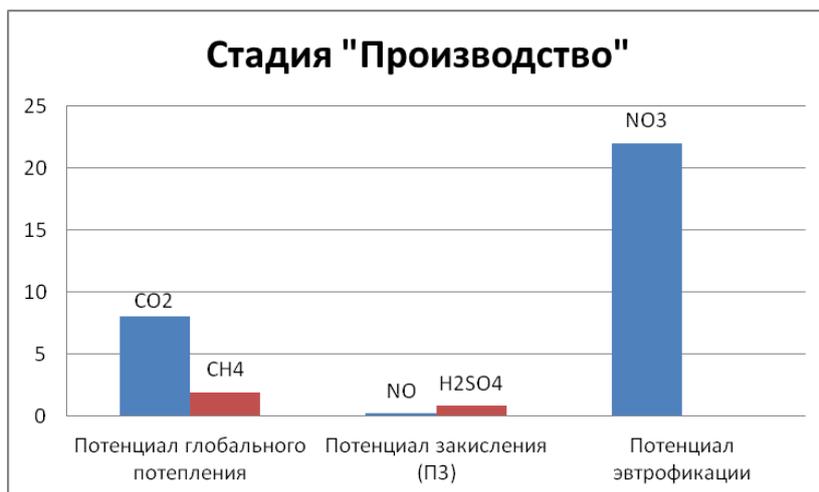


Рис. 5. Показатели категорий выходных потоков на стадии производства ТА

В ходе работы была проведена ОЖЦ теплового накопителя и определены экологические аспекты. Оценка жизненного цикла продукции была проведена с помощью методики MIPS для определения входных потоков и программного продукта - LCA Light Tools с целью выявления выходных потоков. Выполненная работа подтвердила эффективность использования ТА в энергетических системах, что должно обеспечить сокращение использования ресурсов.

В дальнейшей работе планируется рассмотрение аккумулятора определенной марки в конкретной энергетической системе с целью определения энергоэффективности его применения.

Литература

1. Разбивка по странам (Mtoe) // Статистический Ежегодник мировой энергетики 2020 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://yearbook.enerdata.ru/> (дата обращения: 03.03.2021).
2. Журович Е.А, Козлова К.С, Матирный А.А, Постникова П.И, Сенцов И.В, Цыгвинцев И.В, Шкорко М.Ю. Аккумулирование тепла в тепловом аккумуляторе для дежурного отопления индивидуального дома // Синергия наук. 2017. № 9. С. 353-365.
3. Ивахненко Е. А. Включение экологических аспектов в метод развертывания функции качества изделий // Известия тульского государственного университета. Технические науки. 2019. № 12. С. 37-41.
4. C. Liedtke, K. Bienge, K. Wiesen, J. Teubler, K. Greiff, M. Lettenmeier, H. Rohn. Resource, 3, 544 (2014).
5. Основы теории экоэффективности. Монография, под науч. ред. О. Сергиенко, Х. Рона (СПб., СПбГУНиПТ, 2004).

УДК 664.665

ОБОСНОВАНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЛЬНЯНОЙ МУКИ В РЕЦЕПТУРЕ ДИЕТИЧЕСКОГО ХЛЕБА

Вихрова М.А.¹

Научный руководитель – к.пед.н., доцент Пчёлина Е.А.¹

¹Новгородский государственный университет им. Ярослава Мудрого

В работе представлено обоснование выбора льняной муки в разработке рецептуры диетического хлеба. В ходе работы было разработано две рецептуры диетического хлеба, сбалансированного по содержанию макронутриентов. Промышленные и разработанные образцы хлеба были проанализированы на органолептические, физико-химические свойства, установлена их пищевая ценность.

Ключевые слова: хлеб, льняная мука, диетическое питание, функциональное питание, ореховый напиток, жмых фундука.

Введение

Хлеб на протяжении многих столетий является традиционным продуктом для человечества. Он присутствует на столах у разных стран и культур, и у каждой нации преобладает свой тип хлеба, приготовленный из разных видов муки. Несмотря на всё многообразие данного продукта на рынке, с каждым годом его спрос уменьшается: в 2021 – 2024 годах ожидается, что предложение хлеба продолжит снижение, а к 2024 году будет ниже на 1,7% по сравнению с 2019 годом: с 7,89 до 7,76 млн т. [1]. Потребители чаще выбирают изделия с использованием альтернативных видов муки. Такие виды хлеба, как правило, сбалансированы по содержанию макро- и микронутриентов, не содержат дрожжей и глютена.

Одним из таких перспективных видов муки является льняная мука, которую технологи всё чаще добавляют к пшеничной при производстве хлеба. Но, несмотря на это, такой хлеб будет иметь высокий гликемический индекс и изменять гормональный фон человека. Данный факт не позволяет регулярно употреблять хлеб людям с метаболическими нарушениями, сердечно-сосудистыми заболеваниями (ССЗ), сахарным диабетом (СД). Поэтому целью данной работы является обоснование использования льняной муки в приготовлении рецептуры диетического хлеба, имеющего низкий гликемический индекс и оптимальное соотношение макро- и микронутриентов.

Основная часть

Льняная мука (измельчённые семена льна) является источником ряда ценных для организма макро- и микронутриентов. В ней содержатся жирные кислоты (пальмитиновая, стеариновая, линолевая и линоленовая), в частности, содержание альфа-линоленовой кислоты колеблется от 39,9 до 60,4%. Всего 10 г семян льна в ежедневном рационе увеличивает дневное потребление клетчатки на 1 г растворимой клетчатки и на 3 г нерастворимой [2]. Белковый состав измельчённых семян льна характеризуется повышенным содержанием незаменимых аминокислот, по сравнению с пшеничной и ржаной мукой. Содержание эссенциальных аминокислот в льняной муке составляет более 75%. Лизина, основной причины пониженной ценности белков стандартного хлеба, в льняной муке в 5,2 – 4,3 раз больше, чем в пшеничной муке высшего сорта и обдирной ржаной муке соответственно [3].

Продукт может рассматриваться в качестве обогащающей добавки и пластификатора, поскольку жиры в технологии хлебопечения обеспечивают эластичность мякиша, необходимую консистенцию теста, снижение скорости очерствения и повышение пищевой ценности готового продукта. Наиболее часто льняную муку используют как компонент при создании хлеба из пшеничной муки. В данном случае она перекрывает потребность человека в основных макро- и микронутриентах, а именно в незаменимых аминокислотах, ненасыщенных жирных кислотах, пищевых волокнах, флавоноидах и витаминах. Но, несмотря на этот факт, конечный продукт на основе пшеничной и льняной мучной смеси

вызывает достаточно большие скачки глюкозы за счёт содержания в пшеничной муке большого количества легкоусвояемых углеводов.

На базе кафедры биологии, биохимии и биотехнологий НовГУ была разработаны две рецептуры диетического хлеба на основе льняной муки. Образец № 1: льняная мука, напиток растительного происхождения на основе ядер фундука, яйца, подсолнечное масло, сода, яблочный уксус, соль. Образец № 2: льняная мука, напиток растительного происхождения на основе ядер фундука, жмых фундука, яйца, подсолнечное масло, сода, яблочный уксус, соль. Выбор ингредиентов обоснован ценными свойствами каждого из компонентов рецептуры, а именно повышенным содержанием ненасыщенных жирных кислот, аминокислот, витаминов и микроэлементов.

Далее было проведено изучение органолептических свойств хлеба, а именно симметричности, правильности его формы, характера корок хлеба (цвет, толщина корок, отсутствие или наличие отслоения корок от мякиша, наличие трещин или подрывов), эластичности мякиша, вкуса и запаха. Были проведены анализы образцов хлеба по физико-химическим свойствам, а именно, была изучена их влажность, пористость и кислотность (табл.2) [4, 5]. Разработанные образцы сравнивались с производственным образцом «Пшеничный хлеб с добавлением льняной муки и картофельных хлопьев» (Образец № 3).

Таблица 1. Сравнение органолептических показателей разработанных образцов №1 и №2 с производственным образцом №3

№	Показатели	Результаты сравнения разработанных образцов		
		Образец №1	Образец №2	Образец №3
1	Форма	Круглая	Круглая	Овальная
2	Характеристика корки	Цвет: тёмно-коричневая Поверхность: неровная, с разрывами	Цвет: тёмно-коричневая Поверхность: неровная, с надрывами	Цвет: светло-коричневая Поверхность: гладкая
3	Эластичность мякиша	Эластичный	Эластичный	Очень эластичный
4	Структура пористости	Мелкопористый	Мелкопористый	Среднепористый
5	Цвет мякиша	Коричневый	Коричневый с кусочками фундука	Молочный
6	Вкус	Специфический, характерный для льняной муки	Специфический с привкусом орехов и льна	Нормальный
7	Запах	Специфический, характерный для льняной муки	Специфический, характерный для льняной муки	Без посторонних запахов

Таблица 2. Сравнение пищевой ценности и стоимости разработанных образцов №1 и №2 с производственным образцом хлеба №3 (на 100 г)

Параметр	Результаты сравнения разработанных образцов		
	Образец №1	Образец №2	Образец №3
Физ-хим. показатели (влажность, % / пористость, % / кислотность, град)	47,1/27,3/1	53,5/53,5/0,9	38,0/82,3/0,3
Калорийность, ккал / кДж	305 / 1276	388 / 1623	270 / 1130
Макронутриенты (белки / жиры / углеводы)	16,9 / 24,3 / 4,0	18,3 / 32,4 / 4,5	11 / 2,5 / 51
Количество хлебных единиц (ХЕ)	0,33	0,38	4,25

Также было проведено сравнение пищевой ценности разработанных образцов с производственным образцом хлеба, а также их количества хлебных единиц (ХЕ) (табл.2). Это условный показатель подсчёта углеводов в пище, которые используют в своей практике диетологи для оценки рационов лиц с метаболическими нарушениями.

Выводы

По итогам работы было разработано две рецептуры диетического хлеба. Оба образца имеют нестандартное для хлеба соотношение белков, жиров и углеводов, а именно количество белков и жиров превышает количество углеводов. В первую очередь, это связано с подбором ингредиентов для рецептур. Добавление льняной муки, продуктов переработки ядер фундука и яиц позволили обогатить рецептуры ненасыщенными жирными кислотами и белком.

Подбор ингредиентов также повлиял на органолептические и физико-химические свойства приготовленных образцов, в частности на вкус и запах, влажность, пористость и кислотность. Например, сравнительно высокую влажность и низкую кислотность образцов можно объяснить наличием естественно большого количества свободных жирных кислот льняной муки и жмыха фундука.

Количество ХЕ в приготовленных образцах также оптимально ниже, чем у производственного аналога. Такие низкие числовые параметры позволят снизить потребление инсулина людьми, страдающими сахарным диабетом. Поскольку количество белков и жиров в разработанных образцах находится в оптимальном соотношении с количеством углеводов, то употребление обоих образцов хлеба в небольших количествах принесёт физиологическую пользу для людей с метаболическими нарушениями.

Литература

1. Хлеб на внутреннем рынке России: итоги и прогнозы. СФЕРА: Кондитерская и хлебопекарная промышленность № 1 (86) 2021, [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://sfera.fm/uploads/view/konditer_1_86_2021/14/ (Дата обращения: 28.04.2022).
2. Goyal, A., Sharma, V., Upadhyay, N., Gill, S., & Sihag, M. (2014). Flax and flaxseed oil: an ancient medicine & modern functional food. *Journal of food science and technology*, 51(9), 1633–1653. <https://doi.org/10.1007/s13197-013-1247-9>.
3. Супрунова И. А., Чижикова О. Г., Самченко О. Н. Мука льняная перспективный источник пищевых волокон для разработки функциональных продуктов // *Техника и технология пищевых производств*. 2010. №4 (19). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/muka-lnyanaya-perspektivnyy-istochnik-pischevyh-volokon-dlya-razrabotki-funktsionalnyh-produktov> (дата обращения: 19.04.2021).
4. Измерительные методы контроля показателей качества и безопасности продуктов питания. В 2-х ч. Ч. 1: Продукты растительного происхождения/ Шевченко В.В., Вытовтов А.А., Нилова Л.П., Карасева Е.Н. – СПб.: Троицкий мост, 2009. – 304 с.: илл. – С. 92–93.
5. Технология переработки продукции растениеводства: Учеб.-метод. пособие к лаб. занятиям/ Сост. Т.И. Гудкова; НовГУ им. Ярослава Мудрого. – Великий Новгород, 2006. – 39 с. – С. 31–36.

УДК 004.925.8

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ЭТАПОВ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ КОМПЛЕКТУЮЩИХ, ИЗГОТОВЛЕННЫХ ПО АДДИТИВНЫМ ТЕХНОЛОГИЯМ

Вольф М.Н.¹

Научный руководитель –к.т.н., доцент Кустикова М.А.¹

¹Университет ИТМО

Аддитивные технологии постепенно внедряются в производственный цикл на многих предприятиях, особенно при работе с металлическими изделиями. Понимание того, как деталь изготавливается, какая необходима последовательность при создании детали с применением аддитивных технологий, имеет решающее значение, для того чтобы избежать сбоев и экономических потерь.

Ключевые слова: аддитивные технологии, 3D-принтер, последовательность этапов, подтверждение соответствия.

Аддитивные технологии (АТ) завоевывают новые отрасли производства за счет более надежного и экономичного способа изготовления. К преимуществам аддитивного производства относятся: оптимизация деталей, снижение веса и простота прототипирования, которые стали факторами, ускоряющими популярность 3D-печати. Аддитивное производство нашло свои ниши, в частности, в автомобилестроении, аэрокосмической промышленности и стоматологии. Хотя исследования в этих отраслях все еще ведутся. Было доказано, что аддитивно изготовленные детали превосходят по своим технико-экономическим показателям традиционно изготовленные детали, однако они должны быть разработаны по конкретной технологии 3D-печати с учетом ее ограничений.

Сегодня все более актуальны перспективы внедрения аддитивных технологий в любых сферах деятельности, что, разумеется, связано с преимуществами, предоставляемыми их применением.

Аддитивное производство (АП) включает набор новых технологий, позволяющих создавать трехмерные объекты непосредственно из цифровых моделей с помощью аддитивного процесса, обычно путем нанесения последовательных слоев полимеров, керамики или металлов [1].

Следовательно, изделие формируется послойно, методом добавления слоя конкретного материала, отверждения или фиксации этого слоя в соответствии с конфигурацией сечения САД-модели и соединения каждого последующего слоя с предыдущим [2]. Это существенно отличается от существующих традиционных технологий обработки металлов, так как материал в этих случаях отрезается, а не наращивается. Многочисленные процессы аддитивного производства различаются в зависимости от материалов и методов формирования рисунка и плавления слоев, которые они используют.

Традиционные методы практически всегда ограничены объемом производственного цикла и геометрической сложностью компонента, в результате этих факторов мы время от времени вынуждены использовать процессы и инструменты, которые увеличивают конечную стоимость производимого элемента. Аддитивные технологии производства обеспечивают конкурентные преимущества по сравнению с традиционными методами благодаря тому, что они адаптируются к геометрической сложности и индивидуальному дизайну изготавливаемой детали. В соответствии с областью применения могут быть также достигнуты следующие позитивные результаты: более легкие изделия, мультиматериальные и эргономичные изделия, эффективные и короткие производственные циклы, меньшее количество ошибок сборки, и, следовательно, меньшие сопутствующие затраты, накладные расходы на инструмент, сочетание различных производственных процессов, оптимизированное использование материалов, и более устойчивый производственный процесс.

Что касается производства промышленных компонентов, то в качестве очевидных преимуществ следует выделить следующие 7 компонентов:

1. Сокращение времени, необходимого для выхода новой продукции. Одним из самых больших преимуществ аддитивного производства перед более традиционными методами является скорость. Сокращение временной шкалы между первоначальной концепцией, 3D-моделью и изготовленными деталями. В то время как технология 3D-печати устранила необходимость физического изготовления деталей на каждом этапе процесса, иногда самый эффективный способ понять дизайн или визуализировать несоответствия – это увидеть объект в 3D-пространстве.

2. Короткие производственные циклы: одной из характеристик, делающих это возможным, является отсутствие необходимости в оснастке, что представляет собой значительное преимущество по отношению к традиционным способам изготовления, необходимость в крупногабаритном оборудовании стремительно снижается. Возможность арендовать малые складские и производственные помещения. Снижение погрешностей сборки и связанных с ними затрат.

3. Снижение инвестиционных затрат на инструмент. Это означает большую гибкость в адаптации к рынку и снижение или даже устранение связанных с этим затрат (изготовление инструмента, перебои в работе из-за внесенных изменений и техническое обслуживание).

4. Гибридные процессы. В этом случае было бы интересно объединить процессы аддитивного производства с обычными процессами, чтобы максимально использовать преимущества, предлагаемые обоими. Например, чрезвычайно выгодно сочетать технологию аддитивного производства с механизированным удалением материала в целях улучшения качества поверхности за счет уменьшения «шагового эффекта», создаваемого технологиями аддитивного производства.

5. Оптимальное использование материалов: потери материала сводятся к минимуму, поэтому любой оставшийся материал может быть легко переработан и использован повторно.

6. Более экологичный производственный процесс: токсичные химические продукты не используются в заметных количествах. А ведь проблема экологии стала одной из важнейших проблем человечества за последние десятилетия.

Помимо того, что 3D-принтеры являются эффективным инструментом для прототипирования и, в меньшей степени, производства, они становятся решением для замены деталей прямо на борту корабля. Гибкость доступа к любой конкретной детали по требованию, особенно если эта деталь может быть извлечена из существующей 3D-CAD-модели всего корабля, является экстраординарной.

Однако технологии аддитивного производства имеют ряд недостатков, которые необходимо учитывать при выборе какой-либо технологии создания продукта.

1. Производство деталей по аддитивным технологиям приводит к так называемому «шаговому эффекту». Самым главным минусом этого явления будет усложнение формирования геометрических кривых и чрезвычайно шероховатые поверхности изготавливаемой детали, что в дальнейшем может пагубно отразиться на использовании детали и сокращению общего срока службы эксплуатации детали.

2. Что касается некоторых аддитивных технологий, то сама производственная операция может быть медленной, что делает ее не подходящей для крупносерийного производства.

3. Трудности в подтверждении соответствия готовой продукции, изготовленной с использованием аддитивных технологий.

Основными составляющими производства изделий с использованием АТ являются:

- исходный материал – пластмассовые нити, металлические порошки и т.д.;
- приборы или оборудование – 3D-принтеры с умной системой управления;
- технология, определяющая режим печати – сплавления исходного материала;
- инженерно-технические ресурсы;
- система менеджмента качества.

На данный момент в Российской Федерации ни одна из составляющих производства с использованием аддитивных технологий не подлежит обязательному подтверждению соответствия. Это означает, что зачастую заказчик не уверен в качестве продукции и не может

сослаться на нормативно-правовую базу в данном вопросе. Это порождает массу проблем, в связи с чем развитие аддитивных технологий и выход их в массовое использование осложнено. Однако заявителю нужны доказательства соответствия качества продукции установленным требованиям, и он предъявляет самые жесткие требования к соответствию технических показателей и безопасности деталей.

Рекомендуемая последовательность работ при использовании способа аддитивных технологий описана ниже.

Этап 1. Определение требований к комплектующим деталям:

- конструкторская документация с указанием требований к точности размеров;
- требования к свойствам материала, в том числе механическим характеристикам материала;
- требования к подтверждению качества детали, перечень и объём научно-исследовательских работ, подтверждающих качество данного изделия.

Этап 2. Определение технологии получения деталей, обеспечивающей необходимую точность геометрических размеров и свойств материала.

Организация ASTM International, которая занимается разработкой технических стандартов для широкого спектра материалов, изделий, систем и услуг классифицирует аддитивные технологии, разделяя их на 7 категорий [3].

Однако в международном сообществе устоявшейся классификации аддитивных технологий пока не принято [1]. Различные авторы подразделяют их:

- по применяемым строительным или модельным материалам (жидкие, сыпучие, полимерные, металло-порошковые и т. д.);
- по источнику энергии (лазер или электронный луч);
- по методам подвода энергии для фиксации слоя построения (с помощью теплового воздействия, облучения ультрафиолетовым или видимым светом, посредством связующего состава и т.д.);
- по методам формирования слоя.

Этап 3. Изготовление деталей и заготовок (заготовки – это образцы, используемые для оценки свойств деталей) по выбранной технологии.

Этап изготовления комплектующих и контрольных образцов в первую очередь подразумевает правильный выбор оборудования и 3D-принтера. Данный выбор необходимо сделать, учитывая представленные критерии: стоимость приобретения оборудования; производительность оборудования; качество поверхности используемой модели; степень детализации модели; точность конструкции оборудования; трудоемкость пост-обработки; стабильность материала модели; срок службы оборудования до замены основных узлов; стоимость материалов модели; сроки поставки расходных материалов и запасных частей, а также их надежность; развитость службы технической поддержки на региональном, федеральном уровнях; стоимость текущего технического обслуживания машины и прогноз будущего расхода на схожие операции; стоимость сервисного контракта (в пост-гарантийный период); надежность и долговечность машины; требуемая квалификация и, соответственно, заработная плата обслуживающего персонала и т.д.

Этап 4. Подтверждение качества комплектующих.

Этап 5. Принятие решения о применении комплектующих.

Разнообразие материалов, процессов, применяемых при печати изделий, предполагает очень большое количество методов тестирования и испытаний тех самых продуктов. В отдельном случае приходится формировать индивидуальную программу испытания и достаточное количество тестов для получения требуемых подтверждений соответствия, что также занимает большое количество времени и ресурсов.

Предприятия России, которые заинтересованы во внедрении аддитивных технологий, на данном этапе закупают 3D-принтеры для печати металлических (и не только) изделий с целью создания прототипов, изучения возможности технологий, проведения соответствующих научно-исследовательских работ.

Основной вопрос применения аддитивных технологий, в любом случае, сводится к установлению основных требований к материалу и соответствующему изделию, способам их подтверждения для постоянного обеспечения качества выпускаемой продукции.

Отсутствие конкретных стандартов в сфере АП создает проблемы для заинтересованных сторон в проведении взаимных сравнений между оборудованием, материалами и методами, которые предсказывают окончательные свойства деталей.

Вместе с очевидными преимуществами АТ их применение несет за собой острые вопросы законодательства и регулирования в данном вопросе. Фирма получит максимальные выгоды от внедрения аддитивных технологий только при таком условии, если обеспечит заводской стандарт качества напечатанных деталей, а также их долговечность и легкозаменяемость.

Литература

1. Довбыш В. М. Аддитивные технологии и изделия из металла / В. М. Довбыш, П. В. Забеднов, М. А. Зленко // Библиотечка литейщика. 2014. № 9. С. 14-71.
2. Зленко М. А. Аддитивные технологии в машиностроении / Зленко М. А., Попович А. А., Мутылина И. Н. -Санкт-Петербург: Издательство политехнического университета, 2013. 221 с.
3. Conti P., Cianetti F., Pileri P. Parametric Finite Elements Model of SLM Additive Manufacturing process. 2017. DOI:10.1016/j.prostr.2017.12.041.

УДК 536.629

КАЛОРИМЕТРИЧЕСКИЙ МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ МОЩНОСТИ ТЕПЛОВЫДЕЛЕНИЙ В ЭЛЕМЕНТАХ ЭЛЕКТРОНИКИ

Герасютенко В.В.¹, Шарков А.В.¹, Кораблев В.А.¹, Яворская И.А.²

Научный руководитель – д.т.н., профессор Шарков А.В.

¹Университет ИТМО

²«ООО» Сигнал, Ленинградская область

Работа выполнена в рамках темы НИР №620150 «Повышение эффективности энергетических систем путем использования аккумуляторов тепловой энергии».

Представлен метод определения мощности тепловыделений в объектах электронной техники. Показана практическая реализация предложенного метода на примере исследования мощности тепловыделений транзистора. Разработана установка для проведения экспериментальных исследований, состоящая из калориметрического ядра, теплоемкой оболочки, исследуемого объекта, датчиков температуры и системы электропитания. На основе уравнений теплового баланса построены тепловая и математическая модели системы. С использованием преобразования Лапласа определена передаточная функция перегрева калориметра в зависимости от тепловой мощности рассеяния. В ходе экспериментальных исследований определены коэффициенты передаточной функции. Показана зависимость перегрева ядра калориметра от времени при различных значениях подаваемой мощности на транзистор. Определен темп остывания калориметрического ядра, и по передаточной функции восстановлено значение мощности тепловыделений транзистора. Проведено сравнение полученной мощности тепловыделений транзистора с подаваемой мощностью и оценена погрешность предложенного метода.

Ключевые слова: калориметрический метод, мощность тепловыделений, передаточная функция, транзистор, темп охлаждения, тепловой режим.

Введение

При проектировании электронных аппаратов актуальной проблемой является обеспечение нормального теплового режима. Повышение температуры в приборах и устройствах электроники приводит к изменению их параметров и уменьшению надежности. Продолжительной и устойчивой работы приборов можно добиться, создав им необходимые температурные условия. Для обеспечения нормального теплового режима аппарата следует выбирать оптимальную по размерам, массе и энергопотреблению систему охлаждения, а также определенным образом размещать отдельные элементы аппаратуры друг относительно друга.

При расчете теплового режима радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) требуется определять мощности тепловыделений от отдельных элементов. Рассчитать мощности тепловыделений бывает достаточно трудно, потому что, как правило, электронные элементы имеют большое количество выводов, а электрическая энергия преобразуется в другие виды энергии.

Известны следующие методы определения мощности тепловыделений в элементах электронной техники: расчет мощности тепловыделений по значениям тока и напряжения; определение мощности тепловыделений с помощью динамического калориметра; определение мощности тепловыделений с помощью тепломера Герашенко [1]; метод определения тепловыделений с помощью передаточных функций [2–4]. В работе предложена практическая реализация калориметрического метода измерения мощности тепловыделений в приборе электроники.

1. Описание метода

Предложенный метод для измерения мощности тепловыделений в электронных приборах, заключается в следующем: на первом этапе создается тепловая модель системы с помощью уравнений теплового баланса, далее применяется метод передаточных функций с использованием интегрального преобразования Лапласа. С помощью преобразования Лапласа определяется передаточная функция зависимости перегрева ядра калориметра от мощности

тепловыделений. Коэффициенты передаточной функции определялись экспериментально, с помощью установки, состоящей из калориметрического ядра с закрепленным на нем транзистором. По результатам исследований строятся графики зависимости перегрева ядра калориметра от времени при подаче различных мощностей на транзистор. С помощью передаточной функции зависимости перегрева калориметрического ядра от времени восстанавливается значение мощности тепловыделений исследуемого объекта. В данной работе рассматривается пример реализации метода для определения мощности тепловыделений объекта электроники.

2. Тепловая и математическая модели для расчета мощности тепловыделений объекта электроники

Предложена тепловая модель со следующими допущениями:

В расчетах учитываются среднеобъемные и среднеповерхностные температуры;

Величины проводимостей $\sigma_{ок}$, $\sigma_{кс}$ приняты постоянными.

Уравнения теплового баланса для исследуемой системы имеют следующий вид [4 – 5]:

$$\begin{cases} C_o \frac{dT_o}{d\tau} + \sigma_{ок}(T_o - T_k) = \Phi(\tau) \\ C_k \frac{dT_k}{d\tau} + \sigma_{ок}(T_k - T_o) + \sigma_{кс}(T_k - T_c) = 0 \end{cases} \quad (1)$$

где τ - время, с;

C_o , C_k – теплоёмкость электронного объекта и калориметрического устройства соответственно, Дж/К;

T_o , T_k , T_c – температуры электронного объекта, калориметрического устройства и оболочки соответственно, К; Φ – мощность тепловыделений в электронном элементе, Вт;

$\sigma_{ок}$ – тепловая проводимость между электронным объектом и калориметрическим устройством, Дж/К;

$\sigma_{кс}$ – тепловая проводимость между калориметрическим устройством и оболочкой, Дж/К.

Из уравнений (1) определяется мощность тепловыделений $\Phi(\tau)$. При этом возникает погрешность, которая связана с тем, что температурное поле калориметра и исследуемого объекта неравномерны во времени. Для того чтобы уменьшить погрешность применяют метод передаточных функций на основе интегрального преобразования Лапласа.

Передаточная функция зависимости перегрева калориметра от мощности тепловыделений определяется из системы уравнений (1), приведенной с помощью преобразования Лапласа к виду:

$$\begin{cases} C_o sL + \sigma_{ок}L - \sigma_{ок}N = \theta \\ C_k sN + \sigma_{ок}N - \sigma_{ок}L + \sigma_{кс}N = 0 \end{cases} \quad (2)$$

где N – изображение перегрева оболочки \mathcal{G}_k ;

L – изображение по Лапласу перегрева объекта \mathcal{G}_o ;

s – параметр преобразования Лапласа,

θ – изображение мощности $\Phi(\tau)$.

Калориметрическое ядро имеет признаки аperiodического звена второго порядка, передаточная функция:

$$U(s) = \frac{L[\Phi(\tau)]}{L[\mathcal{G}_k(\tau)]} = \frac{\theta}{N}, \quad (3)$$

где $L[\Phi(\tau)]$ - изображение по Лапласу мощности тепловыделений (выходной сигнал), $L[\mathcal{G}_k(\tau)]$ - изображение перегрева оболочки (входной сигнал).

Калориметрическое ядро имеет признаки инерционного звена, для которого

$$L[\vartheta_k(\tau)] = \vartheta_{ст} \left[\frac{1}{s} - \frac{1}{s+m} \right], \quad (4)$$

где $m = \sigma_{кс}/C_k$ - темп охлаждения;

$\sigma_{кс}$ – тепловая проводимость между калориметрическим устройством и оболочкой, Дж/К;

C_k – теплоемкость калориметрического устройства, Дж/К;

ϑ_k - перегрев калориметра, К;

$\vartheta_{ст}$ – стационарное значение перегрева калориметра, К.

3. Практическая реализация метода

Для определения коэффициентов передаточной функции предложена и собрана экспериментальная установка, состоящая из калориметрического ядра 2 с закрепленным на нем транзистором 1 (рис. 1).

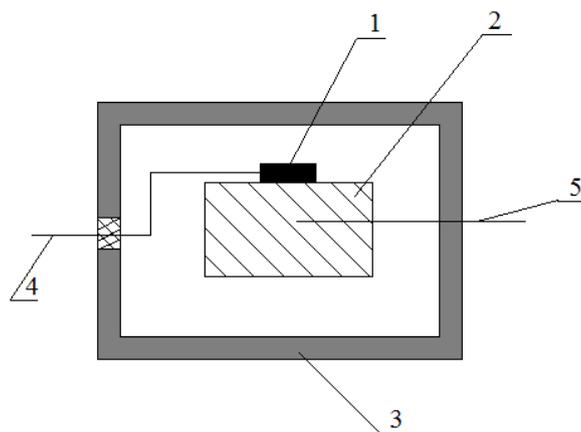


Рис. 1. Схема установки для измерения мощности тепловыделений в электронном элементе: 1 – исследуемый электронный элемент, 2 – калориметрическое ядро, 3 – оболочка, 4 – кабель электропитания, 5 – датчик температуры

Исследуемый элемент 1 закреплялся на калориметрическом ядре 2 с известной теплоёмкостью и тепловой проводимостью. На ядре установлен датчик 5 для измерения температуры [1]. Калориметр вместе с прибором помещались в теплоемкую оболочку 3 для исключения влияния внешней среды. Мощности тепловыделений в элементе определялись по скорости разогрева ядра и его перегреву относительно оболочки [6]. Калориметрическое ядро (рис. 2) выполняется из меди, массой 0,03 кг, с удельной теплоемкостью $C_{y0}=395$ Дж/ кг·К.

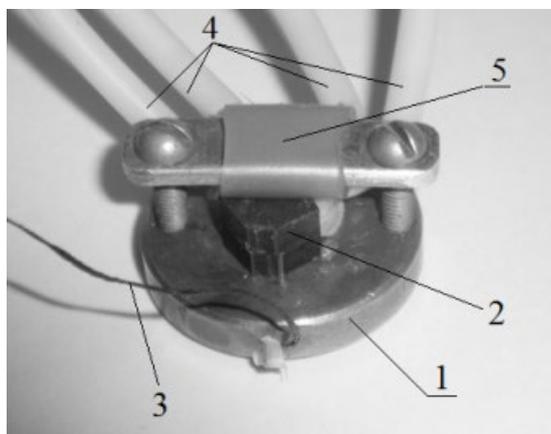


Рис. 2. Транзистор, установленный на калориметрическом ядре: 1 – калориметрическое ядро; 2 – транзистор; 3 – термопары типа хромель – копель; 4 – провода электропитания транзистора; 5 – силиконовая теплоизоляция

На одной из сторон калориметрического ядра имеется место для установки электронных элементов. Температура измерялась с помощью термопар типа хромель – копель. Оболочка шарообразной формы массой 1 кг (рис. 3) выполнена из высокотеплопроводного материала (алюминиевый сплав).

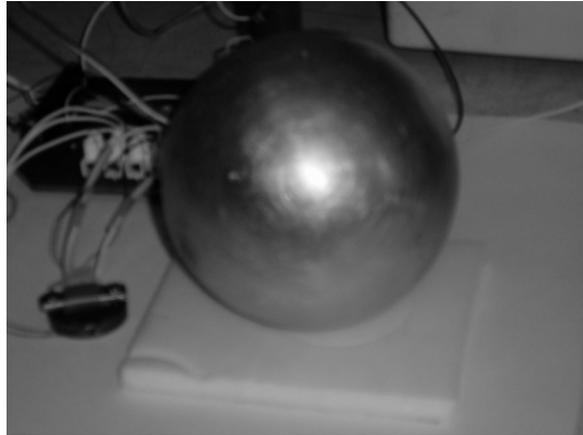


Рис. 3. Сферическая оболочка, предназначенная для стабилизации среды

Перед началом измерений производилась градуировка установки. На элемент устанавливался дополнительный проволочный нагреватель. Электрическая схема установки для градуировки показана на рисунке 4.

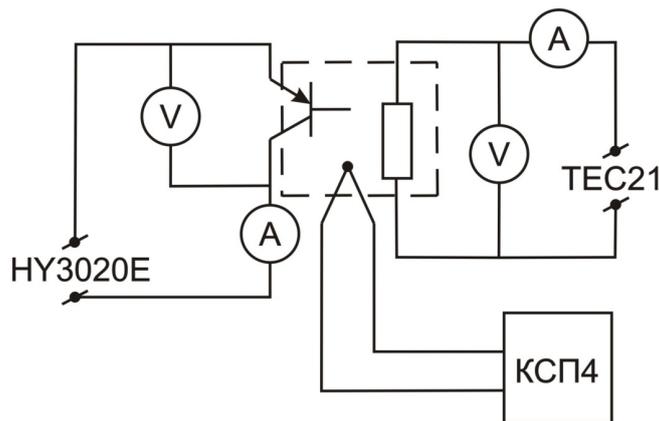


Рис. 4. Электрическая схема установки: КСП – 4 – потенциометр; TEC21 – источник питания; NY3020E – блок питания; А – амперметр; V – вольтметр

Калориметр с элементом накрывались оболочкой для стабилизации среды. Перегрев ядра калориметра определялся при различной мощности, подаваемой на нагреватель. После обработки полученных данных исследования зависимости перегрева ядра калориметра от времени определялась постоянная m (темп охлаждения).

4. Результаты исследования

Графики зависимости перегрева ядра от времени, при подаче мощности на транзистор, представлены на рисунке 5.

Калориметрическое ядро рассматривалось как аperiodическое звено, изменение перегрева во времени представляется в виде суммы экспонент:

$$\mathcal{G} = \mathcal{G}_{cm} \left[1 - \sum_{i=1}^n A_i \cdot e^{-m_i t} \right], \quad (5)$$

где \mathcal{G} - текущее значение перегрева калориметра, К;

\mathcal{G}_{cm} - стационарное значение перегрева калориметра, К.

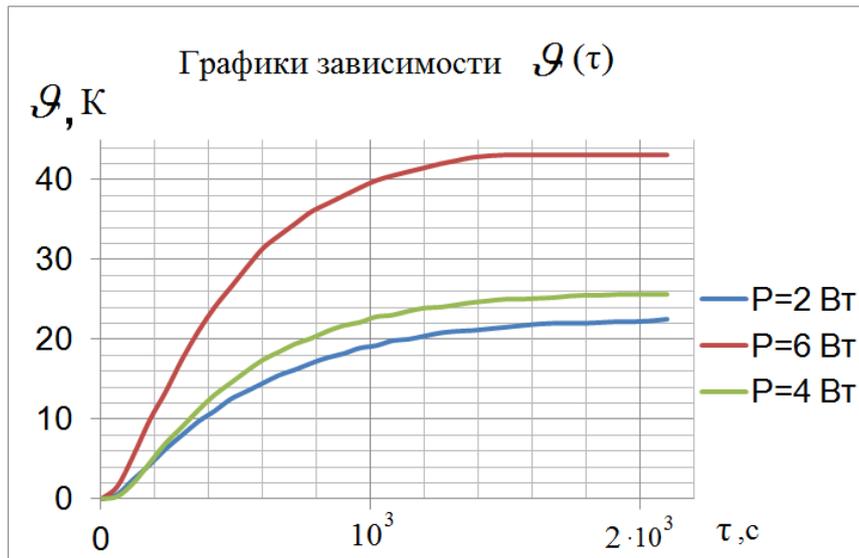


Рис. 5. Графики зависимости перегрева ядра от времени

Калориметрическое ядро представлялось как инерционное звено, следовательно, изменение перегрева во времени:

$$\theta = \theta_{cm} \cdot [1 - e^{-m\tau}]. \quad (6)$$

Обозначим для транзистора: $z_1 = \theta_{cm} - \theta$.

Проведена аппроксимация зависимости $z_1(\tau)$ при различных значениях подаваемой мощности и определена постоянная m (температура охлаждения): $m=2 \cdot 10^{-3} \text{ c}^{-1}$. При известном значении m по передаточной функции восстанавливается значение мощности тепловыделений:

$$\begin{aligned} \Phi(\tau) &= L^{-1}\{U(s) \cdot L[\theta_x(\tau)]\} = \\ &= L^{-1}\left\{\frac{P}{\theta_{cm}} \cdot \frac{s+m}{s} \cdot \theta_1 \cdot \frac{1}{s+m}\right\} = \frac{P}{\theta_{cm}} \cdot \theta_1, \end{aligned} \quad (7)$$

где P – мощность, подаваемая на транзистор, Вт;

θ_1 – перегрев, полученный аппроксимацией зависимости $z_1(\tau)$, К.

По передаточной функции была рассчитана мощность тепловыделений транзистора. Исследование точности метода показало, что относительная погрешность предложенного метода не превышает 7% при доверительной вероятности 0,9.

5. Выводы

Предложена практическая реализация калориметрического метода исследований мощности тепловыделений в элементах электронных устройств. Рассчитана мощность тепловыделений транзистора по передаточной функции. Выяснена необходимость экспериментальных исследований для определения коэффициентов передаточной функции. Оценена погрешность предложенного метода. Разработанный метод применяется для исследования теплового режима радиоэлектронной аппаратуры, например, для исследования мощности тепловыделений элементов микросборки и в тех случаях, когда невозможно определить мощность тепловыделений прямыми электрическими измерениями. Также с помощью применения передаточных функций возможно исследование мощности тепловыделений при нестационарных процессах.

Литература

1. Геращенко О.А. Основы теплотрии, Киев: Наукова думка, 1971. 192 с.
2. Лыков А.В. Теория теплопроводности, Москва: Высшая школа, 1967. 600 с.
3. Диткин В.А., Прудников А.П. Интегральное преобразование и операционное исчисление, Москва: Физматгиз, 1961. 173 с.
4. Peter Böckh, Thomas Wetzel Heat Transfer Basics and Practice, 2012, Springer-Verlag Berlin Heidelberg Publishing, 276p.
5. Rajendra Karwa Heat and Mass Transfer, Springer Singapore Publishing, 2020, 1166p.
6. Кораблев В. А., Минкин Д. А., Савинцева Л. А., Шарков А. В. Исследование мощности тепловыделений в элементах электронной и оптоэлектронной техники. Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2013. Т.56, №3. С.98 – 100.

УДК 504.06

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ СЕНСОРНЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУХА НАД ПОЛИГОНАМИ ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ

Гнатенко К.В.¹, Орипова А.А.¹

Научный руководитель – к.т.н., доцент Сергиенко О.И.¹

¹Университет ИТМО

Работа выполнена в рамках темы НИР №620148 «Исследование воздействия объектов размещения отходов на окружающую среду на основе современных сенсорных систем».

В статье проводится обзор современных измерительных систем для контроля за состоянием окружающей среды на основе беспроводных сенсорных сетей. В работе на основе обзора примеров практического применения современных портативных устройств для мониторинга окружающей среды были рассмотрены несколько представителей данных технологий. На основе расчета экономических и технических показателей применения этих устройств была выбрана наиболее оптимальная и практически применимая система контроля качества атмосферы.

Ключевые слова: окружающая среда, беспроводные сенсорные платформы, датчики, мониторинг, параметры.

Многочисленные исследования, как зарубежные, так и отечественные, в области мониторинга окружающей среды все больше подтверждают необходимость применения более модернизированного способа получения данных в реальном времени. Одним из таких способов является получение информации с помощью беспроводных сенсорных платформ.

Данные устройства функционируют благодаря механизму, включающему в себя вычислительные блоки, датчики и элементы связи с целью записи, наблюдения и реагирования на событие или явление. Такие сенсорные сети могут использоваться для сбора данных, мониторинга, наблюдения, дистанционного зондирования, в медицине и т.д. [2].

Типичная сенсорная сеть включает в себя датчики параметров окружающей среды (сенсорные узлы), базовую станцию и системы связи. Среди комплектующих беспроводной сенсорной платформы, базовая станция регулирует сенсорные узлы с помощью команд, а сенсорные узлы, взаимодействуя друг с другом, выполняют поставленные задачи. Последующим этапом сбора необходимых данных сенсорные узлы является отправка данных обратно на базовую станцию.

Базовая станция играет роль шлюза для других сетей через Интернет. А также эта станция, после приема данных от узлов датчиков, приводит в исполнение обработку данных и передает информацию, обновленную в течение последнего часа, пользователю через Интернет.

Несмотря на цель применения этих устройств, беспроводные сенсорные сети могут разделяться на такие категории, как детерминированная и недетерминированная, статическая и мобильная, с одной базовой станцией и несколькими базовыми станциями, со статическими базовыми станциями и мобильными базовыми станциями, гомогенная и гетерогенная и др.

С точки зрения принципа действия датчиков в сенсорной системе можно выделить устройства для физических или химических явлений и свойств. Таким образом, одну группу из них представляют химические сенсоры, имеющие чувствительность либо к химическим реакциям, либо непосредственно к самим определенным химическим веществам. Эти датчики идентифицируют и определяют количественное определение химических реагентов в газовой и жидкой фазах. Среди разновидностей отклика (первичного сигнала), срабатывающего в чувствительном слое химических сенсоров, выделяют следующие основные типы устройств: электрохимические (потенциометрические, кулонометрические и др.); магнитные (датчики Холла, магниторезистивные полупроводниковые элементы и др.); термометрические; оптические (спектрофотометрические, люминесцентные, и др.); электрические

(полупроводниковые на основе оксидов металлов и др.); биосенсоры (на основе различного биологического материала: ферментов, тканей, бактерий, антигенов, рецепторов). Анализ по основным определяемым веществам, области применения, изготовителям некоторых типов приведен в таблице 1.

Таблица 1. Типы химических датчиков для мониторинга параметров окружающей среды

Сенсоры	Электрохимические	Электрические	Термоката- лические (термохи- мические)	Оптические	Биосенсоры
Основные детектируе- мые вещества	Монооксид углерода (угарный газ), водород, сероводород, фосфин, озон, аммиак, диоксид углерода	Монооксид углерода (угарный газ), диоксид углерода, метан, водород, аммиак, сероводород, озон, сульфиды, бензольные соединения	Пропан, бутан, изобутан, метан и др. горючие вещества	Метан, пропан, пропилен, бутан, этилен, этанол	Обнаружение токсичных химикатов, токсинов, микроорганизмов
Область применения	Количественный и качественный состав водной и воздушной сред	Анализ воздушной среды	Анализ воздушной среды	Анализ воздушной и водной сред	Анализ, воздуха, водной среды, почвы
Фирма- изготовитель (страна)	Alphasense (Великобритания), Membrapor (Швейцария), Nemoto & Co. Ltd (Япония), Sixth Sense (Великобритания), Spec Sensors	Figaro Engineering Inc (Япония), Winsen Electronics Technology (Китай)	Sixth Sense (Великобритания)	Dynament (Великобритания), Sixth Sense (Великобритания), Winsen Electronics Technology (Китай), Luna Atlanta (Micron Optics) (США)	MicroVacuum Ltd. (Венгрия), DKK-TOA Corporation (Япония)

Другую группу представляют физические сенсоры, реагирующие на такие параметры, как давление, температура, магнитное поле и силы. Это устройства используют физические явления для детектирования изменений в окружающем пространстве. К ним относятся ПАВ-сенсоры, пьезосенсоры, а также микроэлектронные сенсоры.

С точки зрения технической составляющей и комплектующих беспроводных сенсорных сетей требуется еще значительная доработка элементов сети, а именно датчиков и способов передачи данных. Одним из недостатков работы сенсорных сетей являются периодически возникающие помехи посторонних источников радиосигналов. В таких случаях схемы обмена данными должны модифицироваться.

Одни из препятствий применения сенсорных систем могут появляться при использовании химических сенсорные датчиков. Одной из основных проблем химических сенсоров может быть изменение датчика исследуемыми химическими реакциям. Множество последствий, вытекающих из этого процесса, являются необратимыми, например, электрохимические элементы, работа которых основана на жидких электролитах (материалах, проводящих электрический при помощи ионов), при каждом измерении теряют небольшое количество электролита, поэтому необходимы несколько действий: либо постоянно доливать некоторое количество электролита, либо использовать датчики другого типа, такие как химические детекторы на основе полевых транзисторов [5].

Кроме того, различные многовариантные соединения химических реагентов, все из которых просто невозможно смоделировать, могут также негативно воздействовать на химические датчики. Вследствие этого воздействия будут серьезно изменяться рабочие параметры сенсоров, определенных в процессе калибровки, ввиду загрязнения различного типа, либо забивающих поры пленочных детекторов, либо изменяющих чувствительную поверхность (например, кремний в циркониевых датчиках создает неудаляемую пленку).

В данной работе было рассмотрено и произведено сравнения применения двух устройств этого семейства технологий в целях повышения безопасности эксплуатации полигона ТКО ООО «Новый Свет – ЭКО». Посредством модернизации системы экологического мониторинга атмосферного воздуха предлагается усиленный контроль с помощью беспроводных сенсорных систем за содержанием метана, сероводорода, аммиака, окиси углерода, бензола и других загрязняющих веществ. Как следствие, это будет способствовать снижению выбросов загрязняющих веществ в атмосферу и вероятности возгораний отходов на полигоне, приводящих к еще большему ухудшению ситуации.

ООО «Новый Свет – ЭКО» решает важнейшую для Ленинградской области и Санкт-Петербурга проблему утилизации и складирования мусора в рамках сохранения экологического баланса. Полигон осуществляет транспортирование и утилизацию прессованных бытовых отходов, прошедших предварительную сортировку.

Данный полигон наносит сильно ощутимый ущерб на окружающую среду и местным жителям Гатчины посредством выбросов в атмосферу в несколько тысяч тонн ежегодно. Так как данный объект относится к предприятию 1 категории, ему необходимо в течение текущего года перейти на наилучшие доступные технологии, которые будут способствовать уменьшению негативного воздействия на ос.

Один из способов решения проблемы представлен платформой датчиков Waspnote испанской компании Libelium для сбора данных на местности. Основой деятельности компании является разработка и производство беспроводных сетевых устройств с набором датчиков для различных специализированных рынков, предназначенных для системных интеграторов, инженерных и консалтинговых компаний, работающих в области интернета вещей (IoT), Умного города с минимальным временем выхода на рынок.

Эта платформа позволит увеличить объем сбора данных, что повысит эффективность мониторинга воздуха и контроль за концентрацией метана, который приводит к возгораниям на полигоне, наносящим ущерб ОС и убытки полигону.

Выбранное устройство Smart Environment PRO – комплект, представляющий собой следующий этап развития линейки продуктов Environment (окружающая среда). Он позволяет пользователям осуществлять промышленные, природоохранные и сельскохозяйственные проекты, для которых необходимо с большой точностью, надежностью и широким диапазоном измерений контролировать качество и загрязненность воздуха, это обеспечивается предварительной заводской калибровкой датчиков.

Платформа Smart Environment PRO состоит из набора датчиков, которые показаны в таблице в техническом описании, базовой платы, типа связи, питания, шлюза работы с данными. Необходимо предварительно запрограммировать устройство.

После покупки, сборки и установки датчиков платформу устанавливают и закрепляют на надежной вертикальной опоре, которая может быть бетонным столбом

Калибровка и установка программного обеспечения должна производиться как на сенсорном узле, так и на остальных составляющих беспроводной системы передачи информации конечному пользователю. Для этого требуется один специалист в данной области.

Эксплуатация данного устройства не требует больших затрат электроэнергии, так как почти всем датчикам в составе платформы в силу своих технических параметров и размеров не требуется значительного потребления энергии.

Один аккумулятор мощностью 6600 мАч обеспечивает работу платформы в течение одного дня без подзарядки.

Каждый час устройство снимает информацию с датчиков и направляет ее в облачное хранилище, к которому, в свою очередь, имеет доступ пользователь.

Цикл передачи информации заключается в получении датчиками (сенсорными узлами) информации. При необходимости датчики взаимодействуют друг с другом. Они отправляют данные базовой станции, которая действует как шлюз для других сетей через Интернет. После приема данных от узлов датчиков базовая станция выполняет простую обработку данных и отправляет обновленную информацию пользователю через Интернет.

На рисунке 1 представлен общий вид данной части платформы, производящей измерения и прикрепленной к любой устойчивой опоре.



Рис. 1. Сенсорная беспроводная система Smart Environment PRO

Экономия при внедрении данного типа устройств в основном достигается за счет сокращения платы за негативное воздействие полигона на ОС, а также снижения суммы штрафов за недостоверное определение веществ, выбрасываемых полигоном в атмосферный воздух, представляемых в отчетности полигоном государственными органами по надзору и охране ОС, и штрафов за возгорания, происходящие в результате часто бесконтрольного выброса метана.

Однако для определения чистой годовой экономии была использована методика расчета предотвращенного экологического ущерба по выбросам в атмосферный воздух от полигона, исходя из предположения, что сумма штрафов контролирующими органами за нарушение законодательства по охране атмосферного воздуха рассчитывается таким способом.

В качестве альтернативной технологии предлагается проведение мониторинга атмосферного воздуха с помощью набора датчиков из 4 промышленных газовых датчиков MOX (TGS 822, SP-AQ2, TGS 2106, TGS 2600), используемых в портативной сенсорной системе для полевых испытаний. Устройство представлено на рисунке 2.

Данная платформа будет собрана самостоятельно, в отличие от первой платформы, где компания-поставщик предоставляет полную комплектацию устройства [5].

Подсистема состоит из держателя матрицы датчиков, способного разместить до четырех газоизмерительных элементов (семейства TGS, серии SP, инновационных нанотехнологических устройств и т. Д.). Датчики представлены преимущественно японской компанией Figaro, а именно TGS 2600, анализирующий загрязняющие воздух газы (H₂, CO, CH₄, (CH₃)₃CH, C₂H₅OH и другие), TGS825-A00 (анализ сероводорода), TGS 2106 (анализ оксиды азота), SP-AQ2 (переключатель). Данная компания на рынке уже больше 5 лет и уверенно находится в мировых лидерах по поставке недорогих, достаточно качественных при низкой цене, устройств детектирования.



Рис. 2. Переносная газовая сенсорная система для полевых испытаний с автономным блоком питания

Эта подсистема состоит из перезаряжаемой батареи (Pb-гелевый, 7 Ач, 12 В) для непрерывной автономной работы до 24–48 часов, в зависимости от рассеиваемой мощности датчиков, частоты выборки и типа операций. Системой можно управлять двумя разными способами для разных целей [5].

Данная технология заключается в самостоятельном сборе портативной газовой сенсорной системы, названной NASUS. Она была разработана и собрана в лабораториях ENEA. NASUS (ширина 30 см, длина 28 см, высота 24 см), система сниффера для обнаружения газа в полевых условиях представляет собой платформу датчиков, способную размещать различные твердотельные газовые микросенсоры.

В таблице 2 представлены результаты анализа и расчета экономических и технических показателей применения двух платформ.

Таблица 2. Рентабельность проектов

Показатель	Ед. изм.	БСС №1 Libelium	БСС №2 NASUS
Общие инвестиции (I_0)	тыс. руб.	692 911	1 075 446
Чистая годовая экономия (В)	тыс. руб.	1 008 205,5	-13 446 Не окупается
Простой период окупаемости (РВ)	год	0,68 (8 мес.)	-
Динамический период окупаемости	год	1,26	-
Чистая приведенная стоимость (NPV)	тыс. руб.	285 358	-
Индекс доходности (PI)	-	5,1	-
Внутренняя норма рентабельности (IRR)	%	22	-

Таким образом, для контроля над уровнем выбросов, главным образом метана и других загрязняющих веществ, в атмосферу на полигоне предлагается установка сенсорной платформы БСС № 1, оснащенной датчиками, которые детектируют непрерывно во время работы необходимые вещества в составе атмосферы в реальном времени. Данная платформа компании Libelium требует незначительного энергопотребления и минимального технического обслуживания, благодаря качественным техническим комплектующим.

Второй способ предусматривает контроль качества воздуха с помощью менее дорогостоящего устройства. Мониторинг атмосферного воздуха с помощью платформы № 2 используемых в портативной сенсорной системе для полевых испытаний. Однако применение данной технологии будет приносить значительные затраты при эксплуатации.

Литература

1. Yu-Pin Lin, Tsun-Kuo Chang, Chihhao Fan, «Applications of Information and Communication Technology for Improvements of Water and Soil Monitoring and Assessments in Agricultural Areas—A Case Study in the Taoyuan Irrigation District» // MDPI. 2017. P. 1–12.
2. Rizky Pratama H., Fahmi N., Prayitno E., Rosmida, «Real-Time Monitoring for Environmental Through Wireless Sensor Network Technology» // Politeknik Negeri Bengkalis. 2018. P.1–5.
3. Казьмина И.Г., Рязанцева Л.Т., Федянин В.И. Химические сенсоры в системе экологического мониторинга. Воронежский государственный технический университет. 2015. 3 с.
4. Legin, E., Zadorozhnaya, O., Khaydukova, «Rapid Evaluation of Integral Quality and Safety of Surface and Wastewater s by a Multisensor System (Electronic Tongue)» // Sensors. 2019. P.1–19.
5. Lvova L., Corrado Di N. «Chemical sensors for water potability assessment» // Elsevier Inc. Bottled and Packaged Water. 2019. P.177-202.

УДК 575.16

**ПОДБОР УСЛОВИЙ ДЛЯ РЕПРОГРАММИРОВАНИЯ
ФИБРОБЛАСТОВ ЛИСИЦЫ В ИНДУЦИРОВАННЫЕ
ПЛЮРИПОТЕНТНЫЕ СТВОЛОВЫЕ КЛЕТКИ**

Еврейская А.А.¹

Научный руководитель – канд. биол. наук Мензоров А.Г.¹

¹Новосибирский национальный исследовательский государственный университет

Работа была выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-04-00369 на базе ЦКП «Коллекция плюрипотентных культур клеток человека и млекопитающих общебиологического и биомедицинского направления» ФИЦ ИЦиГ СО РАН (<http://ckp.icgen.ru/cells/>).

В работе изучено влияние ингибиторов сигнальных путей GSK3 и MEK/ERK (SHIR99021 и PD0325901, 2i) и вальпроевой кислоты (VPA) на рост фибробластов. Установлены концентрации ингибиторов и VPA, которые останавливают рост фибробластов и приводят к гибели клеток. Поставлен эксперимент по получению индуцированных плюрипотентных стволовых клеток (ИПСК). **Ключевые слова:** репрограммирование, фибробласты, SHIR99021, PD0325901.

Обыкновенные лисицы (*Vulpes vulpes*) с заметно отличающимися поведенческими фенотипами, агрессивным и ручным, были выведены в Институте цитологии и генетики СО РАН. В исследовании по отбору лисиц на толерантное и агрессивное отношение к человеку, начатом Беляевым Д.К. в 1959 году, удалось создать уникальные, известные во всем мире, группы одомашненных и агрессивных лисиц [1]. Одомашненная лиса представляет собой уникальную модель генетических событий раннего приручения, так как молекулярно-генетические механизмы поведенческих и морфологических черт ныне существующих пород собак могут не отражать генетическую природу ранних изменений, вызванных одомашниванием.

Мы проводим эксперимент по получению ИПСК одомашненных и агрессивных лисиц для создания *in vitro* модели изучения экспрессии генов-кандидатов, предположительно влияющих на поведение лисиц. В рамках этой работы проведено исследование влияния ингибиторов сигнальных путей GSK3 и MEK/ERK (2i) на рост фибробластов лисицы. За счет ингибирования сигнальных путей 2i повышают эффективность репрограммирования клеток человека и мыши в ИПСК, но есть данные, что «стандартная» концентрация для клеток некоторых видов токсична. Также мы проверили токсичность VPA. VPA повышает эффективность репрограммирования соматических клеток за счет ингибирования деацетилаз гистонов.

Культивирование фибробластов лисицы проводили в течение 15 дней в шести средах на основе полной ростовой среды (РС): а-МЕМ, 20% сыворотки крови плодов крупного рогатого скота, 1% 100X GlutaMAX и 1% 100X пенициллина-стрептомицина. «Стандартную» по литературным источникам концентрацию 2i приняли за единицу (3 μM SHIR99021 + 1 μM PD0325901) [2]. Среда: 1) РС с ДМСО (растворитель для 2i); 2) РС с VPA; 3) РС со «стандартной» концентрацией 2i (1X 2i); 4) РС с 0,33X 2i; 5) РС с 0,1X 2i; 6) РС.

Количество фибробластов, культивируемых в среде 0,33X 2i, не менялось, а при культивировании с 1X 2i уменьшалось в два раза (рис. 1). Во всех остальных условиях культивирования количество клеток увеличивалось. Следовательно, концентрация 2i 0,33X и более токсична и не рекомендуется для получения ИПСК лисиц из фибробластов. VPA и концентрацию 2i 0,1X можно использовать для получения ИПСК. В дальнейшем мы планируем изучить, достаточна ли концентрация 2i 0,1X для ингибирования сигнальных путей.

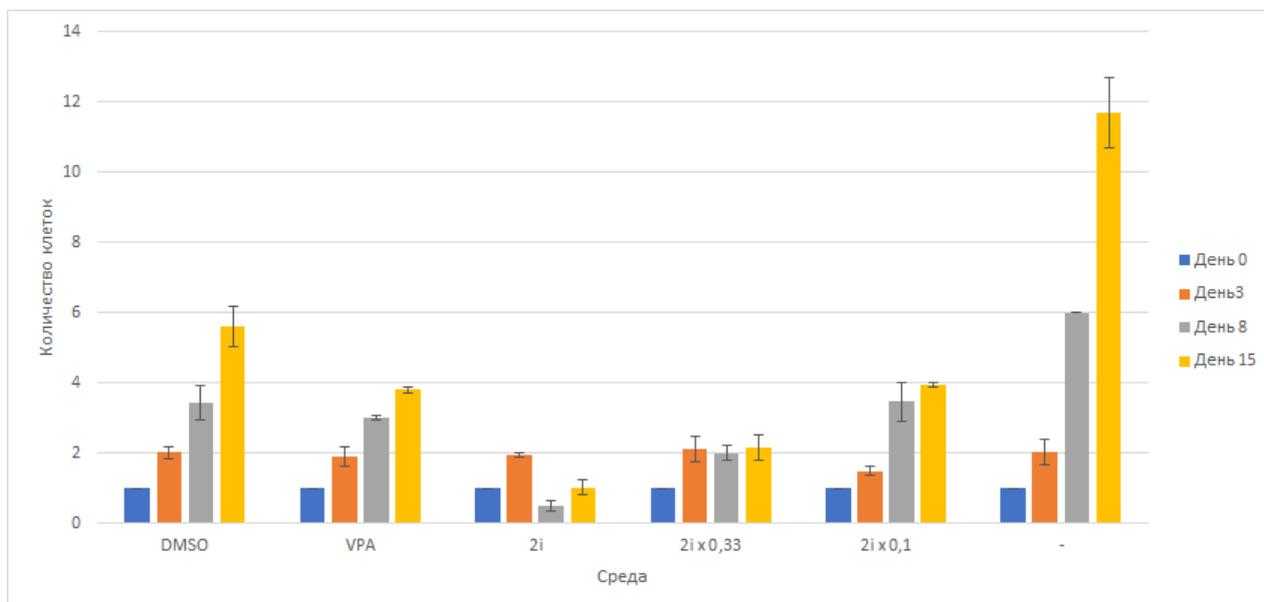


Рис. 1. Изменение числа клеток в зависимости от условий культивирования

Для получения ИПСК используют сверхэкспрессию различных транскрипционных факторов, например, OCT4, KLF4, SOX2 и C-MYC. Для получения ИПСК кошачьих, как и лисица, представителей отряда Хищные, оказался важен транскрипционный фактор NANOG [3]. Мы провели эксперимент по получению ИПСК лисицы с помощью лентивирусных векторов, несущих *OCT4*, *KLF4*, *SOX2*, *C-MYC* и *NANOG*. ИПСК получали по модифицированным протоколам получения ИПСК хорька [4] и американской норки [5]. ИПСК получали в двух средах с добавлением 2i и VPA: 1) α -MEM + 20% ES-FBS + 1% 100X NEAA + 1% 100X GlutaMAX + 1% 100X пенициллина-стрептомицина + 100 нг/мл bFGF; и 2) mTeSR1 + 1% 100X пенициллина-стрептомицина + 100 нг/мл bFGF. Было получено шесть колоний клеток перспективной морфологии (рис. 2). Экспрессия генов-маркеров плюрипотентности *Rex1* и *Nanog* отсутствовала, то есть это не ИПСК. В дальнейшем мы планируем повторить эксперимент по получению ИПСК с изменением условий культивирования.

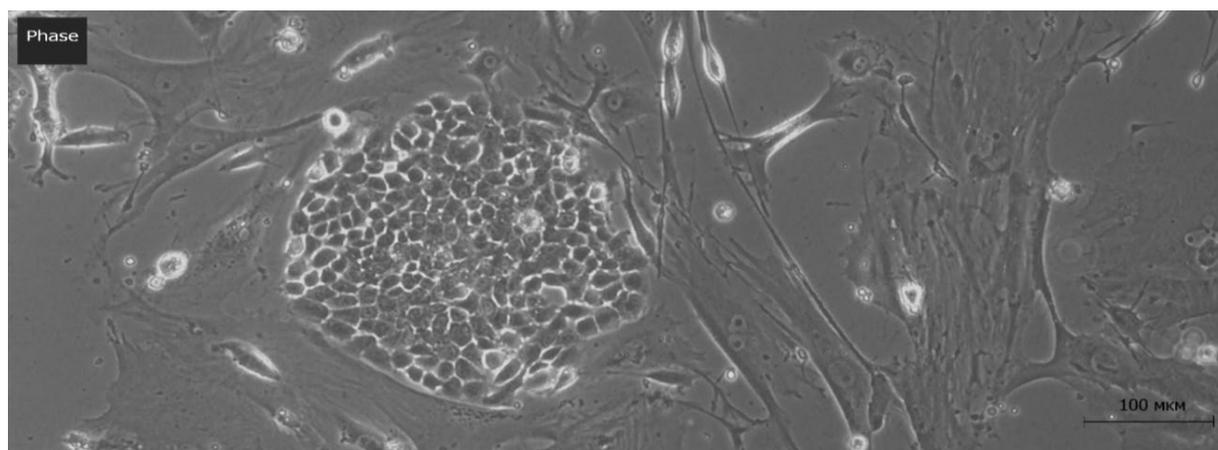


Рис. 2. Пример полученной колонии клеток

Также в фибробласты вносили эписомальные вектора, несущие *Oct4*, *Sox2*, *KLF4*, *L-MYC*, *Lin28*, *tp53DD* и *EBNA1*, с помощью электропорации. Эписомальные векторы в отличие от лентивирусов, позволяют получить ИПСК, свободные от трансгенов. После электропорации клетки культивировали в среде mTeSR1 + 1% 100X пенициллина-стрептомицина + 100 нг/мл bFGF. Колонии морфологии, похожей на ИПСК, не формировались (рис. 3).

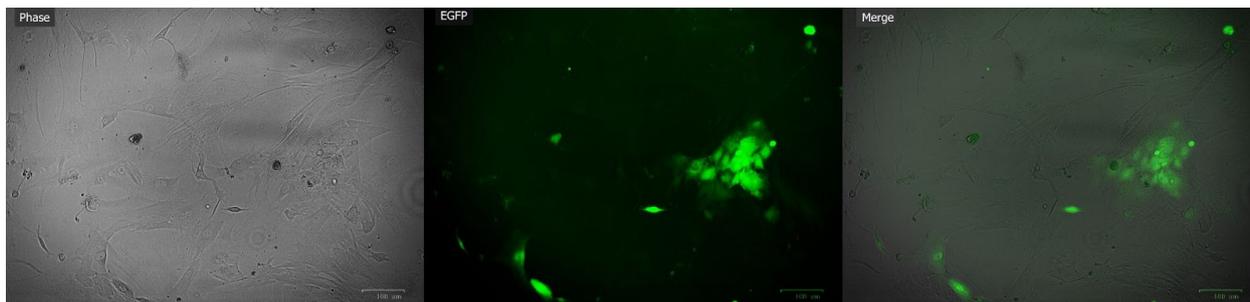


Рис. 3. Пример колонии клеток, полученной с помощью эписомальных векторов

Мы планируем продолжить эксперименты по получению ИПСК. Возможны следующие модификации протокола: 1) использование различных сочетаний ингибиторов – 2i, VPA и других; 2) использование различных ростовых факторов, например, LIF (Leukemia inhibitory factor, Фактор ингибирования лейкемии); 3) изменение системы доставки трансгенов, например, на основе вируса Сендай; 4) использование среды для культивирования на основе KSR (knockout serum replacement, нокаутный заменитель сыворотки); 5) использование не взрослых или неонатальных фибробластов, а эмбриональных.

Литература

1. Lord K.A., Greger L., Raymond P., Karlsson C.K., Karlsson E.K., «The History of Farm Foxes Undermines the Animal Domestication Syndrome» // *Trends in Ecology and Evolution*. 2020. 35(2). P. 125–136.
2. Petkov S., Hyttel P., Niemann H., «The Small Molecule Inhibitors PD0325091 and CHIR99021 Reduce Expression of Pluripotency-Related Genes in Putative Porcine Induced Pluripotent Stem Cells» // *Cellular Reprogramming*. 2014. 16(4). P. 235–240.
3. Gomez M.C., Serrano M.A., Earle Pope C., Jenkins J.A., Biancardi M.N., Lopez M., Dumas C., Galiguis J., Dresser B.L., «Derivation of cat embryonic stem-like cells from in vitro-produced blastocysts on homologous and heterologous feeder cells» // *Theriogenology*. 2010. 74(4). P. 489–515.
4. Gao J., Petraki S., Sun X., Brooks L.A., Lynch T.J., Hsieh C., Elteriefi R., Lorenzana Z., Punj V., Engelhardt J.F., Parekh K.R., Ryan A.L., «Derivation of induced pluripotent stem cells from ferret somatic cells» // *American Journal of Physiology-Lung Cellular and Molecular Physiology*. 2020. 318(4). P. L671–L683.
5. Menzorov A.G., Matveeva N.M., Markakis M.N., Fishman V.S., Christensen K., Khabarova A.A, Pristyazhnyuk I.N., Kizilova E.A., Cirera S., Anistoroaei R., Serov O.L., «Comparison of American Mink Embryonic Stem and Induced Pluripotent Stem Cell Transcriptomes» // *BMC Genomics*. 2015. 16 Suppl 13(Suppl 13):S6.

УДК 504.06

УНИВЕРСИТЕТЫ КАК ПЛАТФОРМЫ ОЗЕЛЕНЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЭКОСИСТЕМ

Ерёменко А.А.¹, Сергиенко О.И.¹

Научный руководитель – ст. преподаватель Савоскула В.А.¹

¹Университет ИТМО

В статье проведен анализ роли университетов в продвижении экономики замкнутого цикла, в целом, и промышленного симбиоза и озеленения промышленных экосистем, в частности, для возможного применения в рамках ИТМО Хайпарка. Отмечено, что университеты играют ключевую роль в обучении будущих лидеров, проведении передовых исследований для решения глобальных проблем современности, выступают катализаторами трансформационных изменений на локальном, национальном и глобальном уровнях. Именно поэтому университеты могут сыграть ключевую роль в претворении в жизнь подходов замкнутого цикла. В статье определены возможные варианты развития ИТМО как передового университета в сфере экономики замкнутого цикла с учетом запуска ИТМО Хайпарка.

Ключевые слова: экономика замкнутого цикла, промышленный симбиоз, озеленение промышленных экосистем, роль университетов, Хайпарк.

Рост населения, стимулирующий рост потребления, привел к пониманию необходимости перехода от линейной экономики к экономике замкнутого цикла, основанной на стремлении к безотходному пути развития. В результате преобразуются существующие производственные системы, появляются новые симбиотические связи между различными предприятиями и отраслями производства, технологические инновации.

Университеты традиционно считаются ведущими организациями в реализации образовательных и исследовательских задач, в том числе в сфере экономики замкнутого цикла. Однако их роль гораздо шире. Помимо генерирования и распространения знаний, университеты часто становятся драйверами внедрения инноваций, регионального развития, технологического и общественного прогресса. Соответственно, университеты могут играть ключевую роль в преобразовании местной, национальной и глобальной линейной экономик в экономику замкнутого цикла.

Особый интерес эта тема вызывает в связи с планируемым запуском ИТМО Хайпарк, на территории которого строятся университетский кампус, Технологическая долина и Бизнес-парк, а сам Хайпарк разместится на территории нового города-спутника Южный. Однако тематика роли университетов в продвижении промышленного симбиоза и озеленения промышленных экосистем недостаточно освещена в научно-исследовательских работах. Данная работа заполняет этот пробел и представляет обновленный расширенный обзор сфер деятельности университетов мира в продвижении промышленного симбиоза и озеленении промышленных экосистем для повышения экологической составляющей при проектировании и строительстве ИТМО Хайпарка.

Центральным элементом экономики замкнутого цикла является возобновление ресурсов. Промышленный симбиоз рассматривается как один из подходов к реализации экономики замкнутого цикла и достижения устойчивого «зеленого» роста. В рамках промышленной экологии в свое время было введено понятие «промышленная экосистема» по аналогии с природной биологической экосистемой - система, в которой потребление энергии и материалов оптимизировано, образование отходов сведено к минимуму, и отходы одного процесса служат сырьем для другого процесса. Эта же идея лежит в основе промышленного симбиоза - метафорическая интерпретация принципов существования природной экосистемы, где ничто не пропадает даром, все приносит пользу, таким же образом отходы одного предприятия могут быть источником для другого.

Одна из задач экономики замкнутого цикла – подготовка соответствующих специалистов, которые обладают новыми мышлением и подходами. В этой связи, безусловно,

университеты играют ключевую роль в подготовке таких специалистов и поиске решений проблем устойчивого развития. Первоначально потенциальная роль образования в переходе к устойчивому развитию была подчеркнута еще на первом Саммите Земли в Рио-де-Жанейро в 1992 году. Тогда же университеты стали включать вопросы устойчивого развития в свои учебные программы. За это время учебные программы по этим темам, доступные оффлайн и онлайн, значительно расширились.

Научно-исследовательская деятельность призвана сыграть фундаментальную роль: предоставлять научно-обоснованные знания, которые могут помочь в разработке политик и принятии бизнес-решений, а также способствовать развитию технологий и ноу-хау. Экономика замкнутого цикла требует больше, чем традиционная научно-исследовательская деятельность или фрагментарный подход. Необходимы изменения во всех системах и совместные усилия университетов, исследовательских и технологических центров, крупных предприятий, малого и среднего бизнеса, предпринимателей, муниципалитетов, правительства и гражданского общества. Важно сосредоточиться на тех секторах, которые используют больше всего ресурсов и которые обладают высоким потенциалом «замыкания цепи», таких как электроника и ИКТ, элементы питания и автомобили, упаковка, пластмасса, текстиль, строительство, продукты питания, вода и питательные вещества [1].

Так, британский университет UCL создал Междисциплинарный центр экономики замкнутого цикла по строительным материалам на минеральной основе. Работа центра сосредоточена на разработке систем и технологий для более эффективного использования и восстановления минеральных ресурсов. Великобритания ежедневно добывает более полумиллиона тонн строительных материалов и ежегодно производит 154 миллиона тонн минеральных отходов. Перед центром стоят три задачи: понять, как используются строительные материалы на минеральной основе; разрабатывать технологии, позволяющие восстанавливать материалы и уменьшать их воздействие на окружающую среду; и развивать бизнес, дизайн, финансовые и политические инструменты для внедрения изменений. В Центре работают 14 преподавателей UCL, представляющих 9 факультетов. Уникальность центра заключается в том, что он объединяет знания и опыт стейкхолдеров, которые обычно не работают вместе [2].

Более того, университеты объединяют свои усилия с внешними стейкхолдерами. Так, ведущие университеты мира, члены международной сети высших учебных заведений Pioneer Universities, которая разрабатывает инновационные исследовательские и учебные программы, ориентированные на экономику замкнутого цикла, активно взаимодействуют с бизнесом, стимулируют и поддерживают обмен знаниями между бизнесом и образованием, способствуя коллективному пониманию принципов и подходов экономики замкнутого цикла [3].

Университеты выступают «пионерами» в изучении и апробации новых технологий, решений, подходов, изменения поведенческих привычек. Так, например, Вагенингенский университет и научно-исследовательский центр (Нидерланды) самостоятельно занимается переработкой отходов и очисткой воды. Университет получает энергию из возобновляемых источников энергии, используя ветряные мельницы и солнечные батареи, полностью покрывая потребности кампуса. Шаньдунский университет (Китай) – самый экодружелюбный вуз в Азии. Его кампус не генерирует отходы, загрязняющие окружающую среду или влияющие на климат – это кампус с нулевой эмиссией. Помимо использования технологических решений, многие инициативы кампуса направлены на изменение привычек – здесь используют двухстороннюю печать для снижения потребления бумаги, отказались от пластиковых пакетов и одноразовых стаканчиков, собирают старую одежду и книги у преподавателей и студентов на переработку.

Университеты мира выступают активными исследователями вопросов промышленного симбиоза и его ключевой роли в «зацикливании» жизненного цикла продукта, особенно при использовании сырья посредством процессов переработки и повторного использования. В Европе создан специализированный Хаб для включения вопросов промышленного симбиоза в исследования, проводимые университетами. Хаб промышленного симбиоза стимулирует

взаимодействие предприятий различных отраслей промышленности с высшими учебными заведениями, в рамках которого студентам предлагаются реальные задачи в виде курсовых заданий, дипломных проектов и т.д., находя, таким образом, решения проблем на основе самых последних научных достижений. Центр организует мероприятия, на которых собираются вместе представители промышленных компаний и университетов для работы над проблемами промышленного симбиоза. В этой инициативе принимают участие Технологический университет Лаппеенранта-Лахти LUT (Университет LUT, Финляндия), Делфтский технологический университет (Нидерланды), Лейденский университет (Нидерланды), Гентский университет (Бельгия), Институт исследований экономики полезных ископаемых и энергетики Польской академии наук (MEERI). Один из участников, Университет LUT, в 2020 году разработал специальную программу, которая среди прочего включает семинар по управлению отходами для промышленных предприятий, семинар на тему предпринимательского мышления для студентов, дискуссионные сессии, на которых студенты и представители компаний вместе обсуждают вопросы промышленного симбиоза, инсайт-сессии. В кампусе LUT можно посмотреть, как работают принципы «замкнутого цикла». В лаборатории технических разработок, где студенты реализуют свои идеи и тестируют инновационные устройства, для работы на 3D-принтерах используют пластиковое волокно для производства деталей, которое делают из старых пластиковых деталей, а из отходов древесины делают таблички на двери, полки и подставки.

Говоря о продвижении промышленного симбиоза и озеленении промышленных экосистем, университеты могут выступать источниками экспертизы как в своем регионе, так и на национальном и международном уровнях. Так, британский университет UCL, который упоминался выше, не только создал Междисциплинарный центр экономики замкнутого цикла по строительным материалам на минеральной основе, но и внес свой вклад в работу двух других подобных центров в Великобритании – по текстилю и металлам.

Университеты сами часто играют жизненно важную роль в обеспечении синергии, выявлении и создании новых синергетических сетей. Университет Бари Альдо Моро (Италия) сыграл решающую роль в продвижении промышленного симбиоза в промышленном районе провинции Таранто в Италии. В промышленной зоне Гейдельберга и региона Рейн-Нектар в Германии симбиоз был инициирован университетским исследовательским проектом, целью которого было проверить, возможен ли симбиоз по подобию Калунборга в других местах. На начальных этапах проекта исследователи сосредоточили свое внимание только на промышленной зоне Гейдельберга. При поддержке местного правительства они продолжили выявлять потенциальные обмены и сотрудничество между компаниями на территории всего региона Рейн-Нектар и работали над созданием сети и структуры координации между компаниями, а также информационной системы управления отходами для облегчения обмена данными [4].

Университеты играют важную роль в разработке местных и национальных политик. При Департаменте управления окружающей средой и технологий Университета Лидчёпинга (Швеция) создана исследовательская группа «Промышленный симбиоз» с целью развития промышленных симбиотических сетей в Швеции. Небольшие команды из числа магистрантов программы «Энергетика и экологический менеджмент» собирают информацию о выбранных регионах, проводят кабинетные исследования и дополняют их интервью с региональными стейкхолдерами. Их выводы собираются в научные отчеты, используемые местными властями для разработки политик [5].

Таким образом, понимая важность межсекторального взаимодействия, университеты часто выступают инициатором и координатором инициатив по развитию промышленного симбиоза. Ярким примером является финский Университет прикладных наук Турку *Turku University of Applied Sciences (TUAS)*, который выступает одним из ключевых партнеров сети замкнутой экономики Турку *Torinpuisto*, запущенной в 2016 году и осуществляющей эффективное государственно-частное сотрудничество в сфере экономики замкнутого цикла и управления отходами. Университет предложил проектную образовательную среду «Circular

Еconomy 2.0». В рамках этой программы Topinpuisto организует исследовательские и дипломные проекты для предприятий в сфере экономики замкнутого цикла и эффективного использования ресурсов. Услуги Topinpuisto разрабатываются в рамках проектов НИОКР в сотрудничестве с компаниями, университетами и властями региона Турку, предлагая студентам университетов возможность работать в сфере экономики замкнутого цикла на протяжении всего обучения в разных направлениях - переработка текстиля, управление коммунальными и промышленными отходами, производство биогаза, переработка промышленных металлов, образование в сфере экономики замкнутого цикла и совместные научно-исследовательские проекты.

Таким образом, можно выделить преимущества для развития в рамках ИТМО Хайпарк:

- внедрение инновационных подходов;
- возможность для университета позиционировать себя как передовой, образцовый университет;
- позиционирование университета как межсекторального лидера;
- новые исследовательские идеи и возможности сотрудничества (на местном, национальном и глобальном уровнях);
- снижение выбросов и сокращение отходов;
- возможности трудоустройства и развития навыков для сотрудников и студентов, а также для более широкого сообщества;
- возможная экономия финансовых средств за счет эффективного использования ресурсов.

Изучение роли университетов в сфере экономики замкнутого цикла, продвижении промышленного симбиоза и озеленении промышленных экосистем позволяет выделить некоторые возможные направления для реализации на базе ИТМО Хайпарка:

- устойчивость ИТМО Хайпарка – внедрение принципов экономики замкнутого цикла в деятельность Хайпарка в целом (администрирование, функционирование, строительство, закупки, формирование новых поведенческих привычек, ресурсные потоки и т.д.);

- обучение, образовательные программы – обучение, развитие новых навыков, понимания, компетенций;

- научно-исследовательская работа, пилотные проекты – включая создание баз данных, технологий, решений, междисциплинарные и межсекторальные инициативы, вовлечение студентов в поиск практических решений;

- межсекторальное лидерство, местное влияние (за пределами учебной программы) - инициирование и координация межсекторального диалога и инициатив, разработки политик, катализатор развития бизнеса в сфере экономики замкнутого цикла).

Учитывая направленность ИТМО Хайпарка, а именно интеллектуальные технологии и киберфизические системы, фотоника и квантовые технологии, биохимические технологии, проводится изучение возможностей использования органических и электронных отходов.

Несмотря на общее понимание преимуществ, которые предоставляет промышленный симбиоз, для последующего решения необходимо поставить перед собой такие задачи, как выявление и дальнейшая реализация симбиотических связей между участниками в таких экосистемах. Отходы, побочные продукты или энергия процесса часто не рассматриваются потенциальным ресурсом для других производственных процессов. К тому же промышленный симбиоз подразумевает обмен между участниками не только физическими ресурсами, но и финансовыми, управленческими и информационными. Этим обменом необходимо эффективно управлять. Перспективной представляется разработка соответствующих информационных систем и платформ.

Проведенный анализ показывает, что университеты могут сыграть решающую роль в переходе к экономике замкнутого цикла, поскольку у них есть ресурсы для того, чтобы обеспечить передовыми исследованиями, базами данных, разработками, способствующими внедрению соответствующих практических инициатив с одной стороны, и изучать и анализировать эту концепцию с теоретической точки зрения, с другой.

Учитывая те возможности, которые открывает запуск на базе ИТМО Хайпарка, работа которого будет сосредоточена на сферах интеллектуальных технологий, фотоники, квантовых технологий, биохимических технологий, особое место занимают вопросы превращения отходов этих отраслей в ресурсы, попытка «замкнуть» циклы использования соответствующих ресурсов через внедрение принципов и элементов промышленного симбиоза.

Соответственно, в дальнейшем предлагается продолжить работу по изучению возможностей использования промышленного симбиоза для создания устойчивых сетей, основанных на обмене ресурсами, с фокусом на потенциальных секторах ИТМО Хайпарка, тем самым определяя сферы потенциального лидерства ИТМО Хайпарк в продвижении экономики замкнутого цикла.

Литература

1. A new Circular Economy Action Plan For a cleaner and more competitive Europe [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1583933814386&uri=COM:2020:98:FIN> (дата обращения 12.02.2021).
2. UCL leads research for a circular economy in three UK industries [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.ucl.ac.uk/news/2020/nov/ucl-leads-research-circular-economy-three-uk-industries> (дата обращения 24.02.2021).
3. Marino Cavallo. Circular Economy: benefits and good practices [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/326106729_Circular_Economy_benefits_and_good_practices (дата обращения 25.01.2021).
4. Adamides, E. D., Mouzakitidis, Y. Industrial ecosystems as technological niches // Journal of Cleaner Productio. 2009. Volume 17. P.172-180.
5. Saeid Hatefipour. Facilitation of Industrial Symbiosis Development in a Swedish Region [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:572929/FULLTEXT01.pdf> (дата обращения 06.02.2021).

УДК 57.083

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ИДЕНТИФИКАЦИИ ЦИРКУЛИРУЮЩИХ ОПУХОЛЕВЫХ КЛЕТОК ПЕРИФЕРИЧЕСКОЙ КРОВИ ПАЦИЕНТОВ С РАКОМ ПРЕДСТАТЕЛЬНОЙ ЖЕЛЕЗЫ

Железняк И.А.¹

Научный руководитель –старший научный сотрудник Арсентьева Н.А.²

¹Университет ИТМО

²НИИ эпидемиологии и микробиологии им. Пастера

В работе рассмотрены различные методы обнаружения циркулирующих опухолевых клеток в крови больных. Проведен анализ существующих методов и разработка новой методики идентификации на основе иммунофлуоресценции и проточной цитометрии.

Ключевые слова: проточная цитофлуометрия, циркулирующие опухолевые клетки, рак предстательной железы, иммунофлуоресценция, магнитная сепарация.

Опухолевые клетки входят в кровообращение после отделения от первичной опухоли и могут мигрировать, чтобы достичь отдаленных органов, где они могут имплантироваться и дать начало метастазам. Метастазы, вызванные попаданием циркулирующих опухолевых клеток (ЦОК) в кровотоки или лимфатические сосуды, является основным фактором, способствующим смерти у онкологических больных [1]. Таким образом, идентификация ЦОК дает прогностическую информацию при злокачественном образовании и распространении метастатической опухоли.

В настоящее время огромные усилия сосредоточены на оптимизации технических аспектов выделения и оценки ЦОК из периферийной крови. Один из способов выделения ЦОК – технология ISET (Париж), при которой путем пропускания цельной крови через фильтр с порами 8 мкм в диаметре выделяются ЦОК. Основным недостатком этого подхода – неспособность захватывать небольшие ЦОК, что делает затруднительным клиническое применение этого метода [2]. Многие исследователи при определении ЦОК в крови использовали систему CellSearch (США). В основе этой технологии лежат методы иммунофлуоресценции, иммуномагнитного разделения и проточной цитометрии. Недостатком является высокая вероятность ложноположительного результата из-за экспрессии используемых антигенов на неопухолевых клетках [3]. Самым перспективным методом является CTC-chip, основанным на микропроточной системе. Для данной технологии нет клинических подтверждений [4].

Следовательно, в будущем мониторинг ЦОК может стать рутинным анализом для клинического исследования, что поможет спрогнозировать эффективность терапии у онкологических больных.

Наиболее перспективными технологиями выделения ЦОК являются иммуномагнитные методы, так как они позволяют проводить дальнейшие исследования клеток. Оценка уровня экспрессии нескольких маркеров увеличивает специфичность и чувствительность методов анализа.

Присутствующие в крови пациента ЦОК являются очень редкими событиями, поэтому необходимо обогащать образец для большей концентрации ЦОК в полученном образце. Для этого необходимо использовать метод выделения мононуклеарных клеток периферийной крови на градиенте плотности. Для этого используем Ficoll-Нураque: из-за разницы в плотности можно разделить ЦОК и мононуклеарные клетки из клеток крови (рис. 1). Также необходимо использовать клеточную среду RPMI, которая традиционно используется для выращивания лимфоидных клеток человека.

Для контроля выделения целесообразно использовать общий клинический анализ, взятый до и после выделения мононуклеаров. После выделения в результате общего клинического анализа должно произойти увеличение лимфоцитов примерно на 60 – 70%.

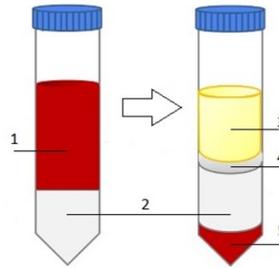


Рис. 1. Процесс разделения форменных элементов крови на градиенте плотности: 1 – цельная кровь, 2 – фиколл, 3 – плазма крови, 4 – МКПК, 5 – эритроциты и гранулоциты

Далее для идентификации клеток интереса необходимо использовать специальные клеточные маркеры, что поможет отделить их от лейкоцитов. Для этого используем метод магнитной сепарации клеток. На поверхности ЦОК находятся эпителиальные маркеры, поэтому для выделения добавляем ЕpСAM-PE – молекулы клеточной адгезии. Далее необходимо добавить магнитные частицы против PE и инкубировать. После помещения образца в магнитный штатив клетки интереса останутся на стенках пробирки со стороны магнита.

Дальнейший этап – использование панели моноклональных антител для дальнейшего анализа на проточном цитометре. Панель состоит из CD45 – поверхностный лейкоцитарный антиген, DAPI – маркер жизнеспособности клеток, ЕpСAM, цитокератины (СК) – белки цитоскелета, EGFR – рецептор эпидермального фактора роста и CD66 – раково-эмбриональный антиген.

Финальным этапом является анализ экспрессии на проточном цитофлуометре. Методом поэтапного гейтирования в программе выделяем клетки ЦОК. Путь гейтирования начинается с выделения одиночных клеток, из них выделяем живые клетки (DAPI+), из живых клеток выделяем клетки, имеющие негативную экспрессию по лейкоцитарному антигену, так как ЦОК не имеют поверхностных антигенов, которые бы могли связаться с CD45. Далее находим клетки по положительной экспрессии на белки цитоскелета и молекулы клеточной адгезии (ЕpСAM+ и Cytokeratin+) и принимаем их за ЦОК. В популяции ЦОК (Cytoker+ЕpCam+) определяем экспрессию маркеров EGFR и CD66, что позволяет нам выделить еще четыре субпопуляции клеток (рис. 2). Вероятно, будет наблюдаться негативная экспрессия на антиген CD66 и положительная экспрессия на EGFR, так как опухолевые клетки являются трансформированными эпителиальными клетками.

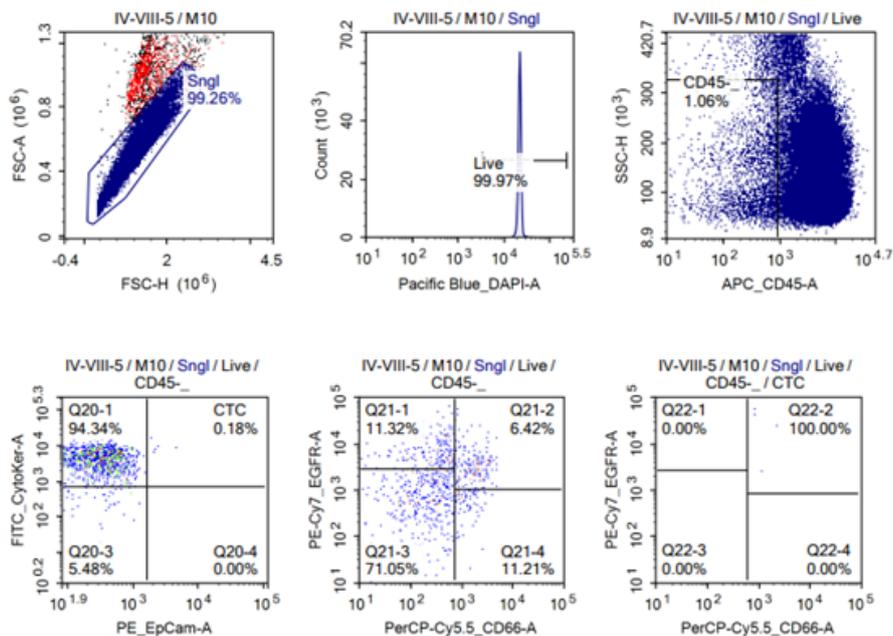


Рис. 2. Путь гейтирования в программе проточного цитофлуометра

Методика апробирована на образцах от шести пациентов с такими диагнозами, как рак предстательной железы. Исследования проводились в семи точках: 1 – до операции, 2 – после операции, 3 – через одни сутки, 4 – через трое суток, 5 – через семь суток. Были исследованы следующие популяции клеток: CD45-, среди которых выделяли субпопуляции клеток: EpCam+, CD66+ и Cytkeratin+ клетки. Данные представлены в % показателях относительно популяции CD45-.

Для определения ЦОК в периферической крови больных раком предстательной железы методом проточной цитометрии определяли содержание клеток с фенотипом: EpCam+, CD66+, Cytkeratin+, Cytoker+EpCam-, Cytoker-EpCam-, Cytoker-EpCam+, Cytoker+EpCam+, Cytoker+EpCam+EGFR+CD66-, Cytoker+EpCam+EGFR+CD66+, Cytoker+EpCam+EGFR-CD66-, Cytoker+EpCam+EGFR-CD66+.

Относительное содержание клеточных субпопуляций, экспрессирующих на своей поверхности маркеры EpCam/CD66/CD45/Cytokeratin/EGFR в периферической крови пациентов с раком предстательной железы в динамике лечения, для каждого пациента представлены в таблице.

Таблица. Результаты эксперимента

Па-циент	Точка обсе-ледо-вания	CD4 5- EpCa m+	CD4 5- CD6 6+	CD4 5- CytC er+	Cyto ker+ EpCa m-	Cyto ker- EpCa m-	Cyto ker- EpCa m+	Cyto ker+ EpCa m+	EGF R+C D66-	EGF R+C D66+	EGF R- CD6 6-	EGF R- CD6 6+
1	1	0,40	0,59	76,18	93,92	5,83	0,04	0,20	0,00	40,00	40,00	20,00
	2	0,59	0,77	78,07	94,52	5,00	0,16	0,32	0,00	50,00	50,00	0,00
	3	47,02	0,37	76,47	61,02	2,63	2,59	33,76	13,65	16,71	64,76	4,87
	4	46,02	5,94	78,31	34,24	2,05	2,12	61,59	24,62	9,78	64,09	1,51
	5	39,73	0,62	64,43	55,94	10,43	5,65	27,97	7,29	21,25	60,21	11,25
2	1	0,49	0,60	80,43	95,25	4,52	0,07	0,17	0,00	60,00	20,00	20,00
	2	24,83	1,08	78,58	76,95	1,92	0,72	20,41	7,06	24,12	58,82	10,00
	3	28,06	0,39	75,09	75,70	3,29	0,86	20,15	18,21	16,87	57,56	7,36
	4	61,64	0,68	82,62	36,82	1,16	1,45	60,57	22,53	13,90	57,91	5,66
	5	53,25	0,83	58,32	37,16	13,99	13,72	35,13	12,40	16,36	62,01	9,23
3	1	45,95	0,36	65,02	48,07	8,57	6,53	36,83	11,35	28,94	49,36	10,35
	2	55,05	1,35	63,78	35,61	9,94	9,05	45,40	8,17	8,82	74,51	8,50
	3	58,80	0,61	59,94	34,90	8,92	9,49	46,69	11,87	8,87	72,58	6,68
	4	0,52	0,25	85,33	99,40	0,50	0,01	0,09	36,36	36,36	18,18	9,09
	5	0,62	0,32	60,98	88,33	11,35	0,13	0,19	33,33	0,00	66,67	0,00
4	1	49,93	1,06	59,09	48,96	7,15	6,31	37,58	14,95	31,29	45,55	8,21
	2	51,99	3,70	67,39	33,65	6,79	9,79	49,76	16,83	11,11	65,71	6,35
	3	59,48	1,30	69,81	39,59	2,68	3,46	54,27	9,29	46,14	40,15	4,42
	4	0,69	0,23	87,76	97,43	2,48	0,02	0,07	33,33	66,67	0,00	0,00
	5	1,01	0,69	69,53	92,35	7,35	0,06	0,24	0,00	50,00	37,50	12,50
5	1	11,83	0,15	77,51	91,89	0,31	0,03	7,78	24,26	3,28	71,80	0,66
	2	0,28	0,08	72,48	99,60	0,31	0,00	0,08	25,00	75,00	0,00	0,00
	3	0,57	0,06	75,73	98,61	1,28	0,02	0,10	16,67	33,33	50,00	0,00
	4	4,66	0,19	72,23	96,13	2,91	0,06	0,90	6,90	10,34	77,59	5,17
6	1	0,63	0,25	76,36	97,76	2,15	0,05	0,05	50,00	0,00	0,00	50,00
	2	0,87	0,31	89,16	98,07	1,80	0,00	0,13	14,29	14,29	71,43	0,00
	3	5,42	0,22	85,56	95,33	2,58	0,05	2,05	14,81	1,23	75,31	8,64
	4	5,08	0,21	72,31	93,24	5,34	0,13	1,30	2,44	2,44	78,05	17,07

Проведена апробация способа количественного определения циркулирующих опухолевых клеток в периферической крови онкологических больных раком предстательной железы в динамике лечения методом проточной цитофлюориметрии. В периферической крови больных РПЖ было определено количество субпопуляций клеток с фенотипом: EpCam+,

CD66+, Cytokeratin+, Cytoker+EpCam-, Cytoker-EpCam-, Cytoker-EpCam+, Cytoker+EpCam+, Cytoker+EpCam+EGFR+CD66-, Cytoker+EpCam+EGFR+CD66+, Cytoker+EpCam+EGFR-CD66-, Cytoker+EpCam+EGFR-CD66+.

Обнаружена прямая корреляционная зависимость в содержании субпопуляций клеток между исходной точкой обследования до операции и 2 точкой – после оперативного вмешательства:

CD45-CD66+, CD45-Cytokeratin-EpCam-, CD45- EpCam+Cytokeratin+EGFR+CD66-. Также описана обратная корреляционная зависимость в относительном содержании субпопуляции клеток с фенотипом CD45-EpCam+ между исходной точкой обследования и 4 точкой обследования. Обнаружена значимая прямая корреляция между содержанием субпопуляций клеток с фенотипами: CD45-Cytoker+EpCam-, CD45-Cytoker-EpCam+ и CD45-Cytoker+EpCam+ между 2 и 3 точками обследования.

В результате исследования обнаружено, что содержание субпопуляции CD45- Cytokeratin+ в точке 5 (через 7 суток после проведения ХСФК) значительно снижено по сравнению с 4 точкой (через 3 суток после проведения ХСФК). Также выявлено, что содержание субпопуляций ЦОК с фенотипом CD45-EpCam+Cytokeratin+EGFR-CD66+ в точке 3 (через 1 сутки после проведения ХСФК) значительно снижено по сравнению с исходной точкой до оперативного вмешательства.

Таким образом, данные субпопуляции клеток возможно рассматривать в качестве потенциальных биомаркеров терапии рака предстательной железы. Однако, учитывая разнонаправленные тенденции количества исследуемых субпопуляций клеток у обследованных пациентов, индивидуальные особенности больных, необходимы дальнейшие исследования с большей выборкой человек, группой сравнения пациентов и пациентами с другим видом рака. Данные исследования помогут достичь высокого уровня доказательности для внедрения в клиническую практику.

Литература

1. Wharton R. Q. et al. Increased detection of circulating tumor cells in the blood of colorectal carcinoma patients using two reverse transcription-PCR assays and multiple blood samples //Clinical cancer research. 1999. Т. 5. №. 12. С. 4158-4163.
2. Исмаилова Г. Диагностика циркулирующих опухолевых клеток с помощью технологии ISET и их молекулярная характеристика для жидкостной биопсии //Клиническая медицина Казахстана. 2015. №. 1 (35).
3. Allard W. J. et al. Tumor cells circulate in the peripheral blood of all major carcinomas but not in healthy subjects or patients with nonmalignant diseases //Clinical cancer research. 2004. Т. 10. №. 20. С. 6897-6904.
4. Tewes M. et al. Molecular profiling and predictive value of circulating tumor cells in patients with metastatic breast cancer: an option for monitoring response to breast cancer related therapies //Breast cancer research and treatment. 2009. Т. 115. №. 3. С. 581-590.

УДК 504.064

СБОР, ТРАНСПОРТИРОВАНИЕ И УТИЛИЗАЦИЯ ОТХОДОВ, СОДЕРЖАЩИХ ОРГАНО-МИНЕРАЛЬНУЮ ФРАКЦИЮ, В СООТВЕТСТВИИ С ПРИНЦИПАМИ ЦИРКУЛЯРНОЙ ЭКОНОМИКИ

Забелина А.В.¹

Научный руководитель – к.т.н., доцент Сергиенко О.И.¹

¹Университет ИТМО

Работа выполнена в рамках НИРМА «Циркулярная экономика».

В работе рассмотрен полный цикл обращения с отходами, содержащими органо-минеральную фракцию, с получением товарной продукции различного назначения. Ключевым этапом является утилизация фракции путем открытого полевого компостирования с получением товарной продукции различного назначения (инертный изолирующий материал для укрытия откосов и выравнивания контуров тела полигона размещения отходов; техногенный грунт, пригодный для выращивания растений, сельскохозяйственных культур).

Ключевые слова: отходы, утилизация, обращение с отходами, циркулярная экономика, компостирование.

В настоящее время в Санкт-Петербурге и Ленинградской области образуется значительное количество отходов, содержащих органо-минеральную фракцию (около 35% по массе от общего количества отходов, поступивших на размещение в 2019-2020 гг.) [1]. В связи с ограниченными мощностями полигонов размещения отходов, обслуживающих г. Санкт-Петербург и Ленинградскую область, и возможностью вовлечения органо-минеральной фракции в хозяйственный оборот в соответствии с принципами циркулярной экономики, предлагается комплексное решение, основанное на последовательных операциях по сбору, транспортированию и утилизации отходов одного типа. Такая практика активно используется в Европе. В России технология компостирования развита на предприятиях сельскохозяйственного сектора. На полигонах размещения отходов организация утилизации органо-минеральной фракции представлена единично и носит экспериментальный характер.

В соответствии с положениями Федерального закона №89-ФЗ «Об отходах производства и потребления» деятельность по временному накоплению отходов не является сбором. Сбор трактуется как прием отходов на предприятие, оказывающее услуги по обработке, утилизации, обезвреживанию и/или размещению отходов [2]. Отходы, которые могут быть использованы для утилизации методом полевого компостирования, представлены в таблице 1.

Таблица 1. Перечень отходов, подлежащих утилизации методом компостирования

Содержащие преимущественно органику	Содержащие преимущественно минеральную фракцию
Пищевые отходы (остатки пищи)	Минеральные отходы (грунт, песок и др.)
Отходы производств пищевых продуктов (просыпи продуктов, скорлупа яиц и т.д.)	Отсев, содержащий минеральные компоненты
Санкционная и просроченная продукция (включая продукты в упаковке)	Остатки сортировки твердых коммунальных отходов
Растительные отходы	

Вышеуказанные отходы, включая извлечения из твердых коммунальных отходов после предварительной обработки, в смеси образуют органо-минеральную фракцию, полученную в результате сортировки. При этом минеральная часть смеси является связующим компонентом, она инертна и не участвует в образовании свалочного газа. Органическая часть отходов, напротив, при размещении на полигоне активно вызывает формирование газообразной (преимущественно метан) и жидкой фазы – фильтрата. Например, пищевые отходы кухонь и

организаций общественного питания – несортированные, имеют код 73610001 30 5 в Федеральном классификационном каталоге отходов, где индекс 30 в коде обозначает агрегатное состояние «жидкий» [3]. Захоронение жидких, полужидких и пастообразных отходов запрещено Инструкцией по проектированию, эксплуатации и рекультивации полигонов для твердых бытовых отходов, утвержденной Минстроем в 1996 году [4]. Кроме того, остатки разделки тушек птиц, рыбы, КРС при приготовлении пищи относятся к биологическим отходам, на них не распространяются положения Федерального закона №89-ФЗ, их захоронение на полигонах твердых коммунальных и промышленных отходов строго запрещено. Однако большое количество таких биологических включений может содержаться как в пищевых, так и в твердых коммунальных отходах, особенно в периоды светских и религиозных праздников. Таким образом, остро стоит не только проблема идентификации компонентного состава, но и поиска безопасного удаления как альтернативы захоронению на полигонах потенциально опасных с санитарно-эпидемиологической и экологической точек зрения пищевых отходов.

Согласно действующему природоохранному законодательству, обращение с каждым видом отходов должно осуществляться в зависимости от их происхождения, агрегатного состояния, физико-химических свойств, количественного соотношения компонентов и степени опасности для здоровья населения и состояния окружающей среды. При этом конкретные требования к площадкам накопления, сбора и транспортированию отходов, содержащих органическую фракцию, не зафиксированы.

При выборе технологии утилизации отходов, содержащих органо-минеральную фракцию, наиболее оптимальным является метод открытого полевого компостирования. Преимущества данного метода: относительная простота и дешевизна применения, возможность организации площадки компостирования на теле полигона, возможность уменьшения сроков производства конечного продукта за счет введения в процесс утилизации микроорганизмов или тёплой погоды. Из минусов применения данной технологии можно выделить образование неприятных запахов при совершении технологических операций по ворошению буртов, а также незначительное образование стоков.

Основные стадии утилизации отходов методом полевого компостирования включают в себя прием исходного материала (отходы, органо-минеральная смесь), формирование буртов, орошение фильтратом или водой при необходимости, аэрацию (перемешивание), разгрузку буртов в товарный продукт. Полный цикл утилизации отходов с целью производства техногенного грунта составляет 180 дней, из которых 60 дней – компостирование и 120 дней – стабилизация. В летний период цикл может быть сокращен до 90 дней в зависимости от погодных и климатических условий. После завершения периода стабилизации техногенный грунт перемещается на площадку отгрузки готовой продукции для реализации потребителям по договору или для использования в собственном технологическом процессе предприятия, например, для перекрытия свалочных масс при захоронении отходов на полигонах [5].

Опыт утилизации отходов путем открытого полевого компостирования, реализованный на производственной площадке полигона ООО «Новый Свет-ЭКО» (Ленинградская область), позволяет сделать выводы о соответствии полученного продукта разработанным техническим условиям и об эколого-экономической эффективности данного метода. Результаты анализа эффективности применения данного метода представлены в таблице 2.

В ходе работы была рассмотрена технология открытого полевого компостирования. Внедрение технологии на производственной площадке полигона ООО «Новый Свет-ЭКО» подтвердило эффективность утилизации отходов путем производства продукта, который соответствует нормативным параметрам использования в качестве материала для промежуточной (послойной) и окончательной изоляции свалочных масс на полигоне при размещении отходов, основы для реабилитации (задернения) нарушенных земель. Эксперимент проводился в период с начала по конец 2020 года.

Таблица 2. Результаты анализа эколого-экономической эффективности применения полевого компостирования

Экологический эффект	Экономический эффект
Снижение количества отходов, поступающих на захоронение (увеличение срока службы полигона)	Возможность оказывать услуги по более высокому тарифу (по сравнению с тарифом на захоронение)
Образование выбросов и сбросов значительно ниже, чем, если бы данные отходы были размещены на полигоне	Снижение платы за негативное воздействие в бюджет субъекта РФ (плата за утилизацию отходов не взимается, в отличие от захоронения)
Возможность использования полученного продукта в технологическом процессе полигона (промежуточная и послонная изоляция свалочных масс, формирование откосов тела полигона)	Социальная функция (создание дополнительных рабочих мест для обслуживания участка)
Возможность использования полученного продукта для рекультивации полигона и реабилитации земель после ликвидации несанкционированных свалок	Дополнительная прибыль (за счет продажи полученной товарной продукции – техногенного грунта)

В дальнейшей работе планируются исследования, направленные на поиск способов снижения концентраций тяжелых металлов, поступающих в техногенный грунт из отходов в процессе утилизации с целью создания более безопасного и экологически чистого продукта.

Литература

1. Результаты исследований компонентного состава отходов, принятых с целью размещения и/или утилизации на полигон ООО «Новый Свет-ЭКО» в 2019–2020 гг. Новый Свет: ООО «Новый Свет-ЭКО», 2021. 48 с.
2. Федеральный закон от 24 июня 1998 г. № 89-ФЗ «Об отходах производства и потребления» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://base.garant.ru/12112084/> (дата обращения 12.05.2021).
3. Письмо Федеральной службы по надзору в сфере природопользования от 3 сентября 2014 г. № ВК-03-04-36/13543 «О направлении разъяснений» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/70636870/> (дата обращения 12.05.2021).
4. Инструкция по проектированию, эксплуатации и рекультивации полигонов для твёрдых бытовых отходов [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.waste.ru/uploads/library/instr_poligon_1996.pdf (дата обращения 12.05.2021).
5. Постоянный технологический регламент производства грунта техногенного. Новый Свет: ООО «Новый Свет-ЭКО», 2017. 23 с.

УДК 577.2.086

РАЗРАБОТКА МУЛЬТИПЛЕКСНОЙ ТЕСТ-СИСТЕМЫ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ПАТОГЕНОВ ЧЕЛОВЕКА НА ОСНОВЕ БИНАРНЫХ ДЕЗОКСИРИБОЗИМОВ

Земерова Т.П.¹, Рубель М.С.¹Научный руководитель – к.х.н., проф.-иссл. Колпащиков Д.М.¹¹Университет ИТМО

В данной работе была проведена разработка и оптимизации мультиплексной системы, способной детектировать до трех разных целевых последовательностей ДНК или РНК в одном реакционном растворе. За основу тест-системы взяты бинарные дезоксирибозимные зонды с детекцией по уровню флуоресценции. Данная разработка поможет упростить процедуру молекулярной диагностики по нескольким генам.

Ключевые слова: молекулярная диагностика, бинарные дезоксирибозимы, флуоресцентные биосенсоры, мультиплексная система, гибридизационные зонды.

В настоящее время остается актуальной проблема создания систем диагностики заболеваний, которые были бы одинаково доступны для всех регионов мира. Стадия диагностики заболевания является важной частью лечения, так как от скорости и точности установления характера болезни напрямую зависит эффективность борьбы с ней. На данный момент основной проблемой является то, что наиболее точные и часто используемые системы молекулярной диагностики (такие, как ПЦР в реальном времени) являются достаточно сложными в исполнении в плане того, что используют дорогое и маломобильное оборудование и требует особых условий хранения реактивы (ферменты). В качестве альтернативы данному методу стоит обратить внимание на концепт point-of-care диагностических систем, который предполагает практически мгновенный анализ болезни на месте сбора материала («у постели больного»). Это предполагает максимально простое оборудование с использованием небольшого числа устойчивых при хранении и транспортировке реактивов, и в таком случае важно обойтись без потери точности и чувствительности, то есть сохранить качество анализа.

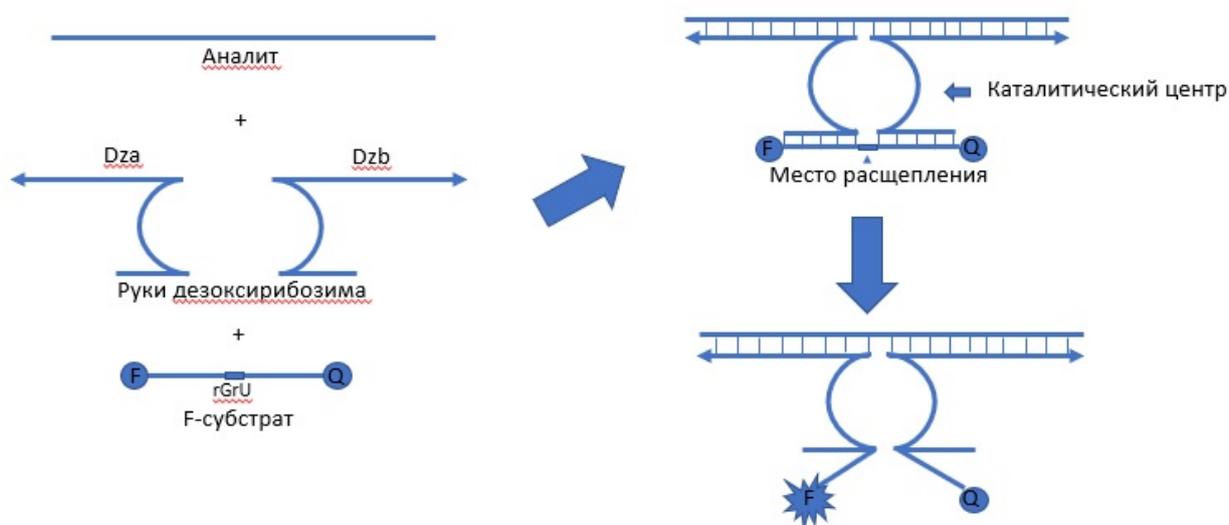


Рис. 1. Схема работы бинарных дезоксирибозимов

Под эти цели теоретически подходят тест-системы на основе дезоксирибозимов (ДНКзимов) [1]. Это каталитические молекулы ДНК, которые способны самостоятельно расщеплять молекулы РНК в присутствии кофакторов – ионов двухвалентных металлов (преимущественно, Mg^{2+}). Оптимизированный под диагностику вариант их использования

выглядит следующим образом: две руки ДНКзима (Dza и Dzb) в присутствии анализируемого фрагмента ДНК/РНК гибридизуются с F-субстратом (содержащий флуорофор и его гаситель), формируя каталитический центр и расщепляя его, разделяя флуорофор и гаситель (рис. 1.). В результате, присутствие молекулы анализатора сигнализируется повышением уровня флуоресценции в реакционном растворе. С использованием такой системы активно ведутся разработки по созданию и оптимизации сенсоров для различных патогенов, в том числе и нашей научной группой [2,3].

В данной работе целью является разработка мультиплексного варианта такой технологии, используя F-субстраты с разными флуорофорами. Это позволит в будущем детектировать за один сеанс анализа несколько разных анализаторов. Это поможет значительно упростить и сократить время диагностики, особенно, если она ведется по нескольким генам у патогена (в случае генотипирования разных штаммов микроорганизмов или вирусов по однонуклеотидным полиморфизмам).

Для начала были подобраны и протестированы системы из бинарных ДНКзимов для F-субстратов с флуорофорами FAM, Quasar 670, JOE по отдельности. В качестве анализатора была взята синтетическая одноцепочечная ДНК (ДНК-70). Последовательности всех используемых в экспериментах олигонуклеотидов указаны в таблице. Эксперименты проводились в буферном растворе с составом (150 mM KCl, 50 mM MgCl₂, 15 mM NaCl, 50 mM HEPES (pH=7,6)). Время инкубации реакционных растворов составляло 1 и 3 ч. Уровень флуоресценции для флуорофора FAM измерялся на приборе Тесан на длинах волн поглощения/излучения = 480/525 нм. Для остальных флуорофоров флуоресценцию измеряли на флуориметре Cary Eclipse (длины волн поглощения/испускания – 644/670 нм для Quasar 670, 520/548 нм для JOE).

Таблица. Последовательности олигонуклеотидов

	Последовательность ДНК
DNA-70	TAG CAG ATG ACC ACC ATA GGA CCA CCA TTA GGA GAA AAT AGA CCA TGG CCC AAT AGC ATA GCA TAG ACG A
F-sub (FAM)	AAG GTT (FAM) TCC TCg uCCC TGG GCA-BHQ1
Dza (FAM)	TCG TCT ATG CTA TGC TAT TGG GCC ATG GTC T AC AAC GA G AGG AAA CCT T
Dzb (FAM)	T GCCCA GGG A GG CTA GCT ATT TTC TCC TAA TGG TGG TCC TAT GGT GGT CAT CTG CT
F-sub (Cy5.5)	AAGGTT(Cy5.5)TCCTCguCCCCAGCTC-BHQ3
Dza (Cy5.5)	TCGTCTATGCTATGCTATTGGGCCATGGTCTACAACGAAGG AGAACCTT
Dzb (Cy5.5)	GAGCTGGGGAGGCTAGCTATTTTCTCCTAATGGTGGTCCTA TGGTGGTCATCTGCTA
F-sub (Quasar 670)	5'-(Quasar 670)-CAG CAC AAC C gu CAC CAA CCG (BHQ2)
Dza (Quasar 670)	TCG TCT ATG CTA TGC TAT TGG GCC ATG GTC T AC AAC GA GGTTGTGCTG
Dzb (Quasar 670)	CGGTTGGTG A GG CTA GCT ATT TTC TCC TAA TGG TGG TCC TAT GGT GGT CAT CTG CTA
F-sub (JOE)	(JOE)-TTAACATGGCACguTGGCTGTGATA-(BHQ1)
Dza (JOE)	TCG TCT ATG CTA TGC TAT TGG GCC ATG GTC T AC AAC GA GTGCCATGTAA
Dzb (JOE)	TATCACAGCCA A GG CTA GCT ATT TTC TCC TAA TGG TGG TCC TAT GGT GGT CAT CTG CT

Со всеми вышеуказанными флуорофорами система была протестирована успешно с пределом обнаружения в среднем 50-100 pM (Рис. 2.). Для всех экспериментов были подобраны определенные концентрации Dza и Dzb, при которых разность сигнала в их

присутствии и фонового сигнала не превышает 1,5 раза (систематическая ошибка измерения флуоресценции).

Далее, были проведены эксперименты для самой мультиплексной системы с флуорофорами FAM, JOE и Quasar 670. Уровень флуоресценции измеряли на флуориметре Cary Eclipse с сохранением параметров предыдущих экспериментов, для флуорофора FAM, для которого ранее использовался прибор Tecan, были взяты длины волн поглощения/излучения 495/520 нм.

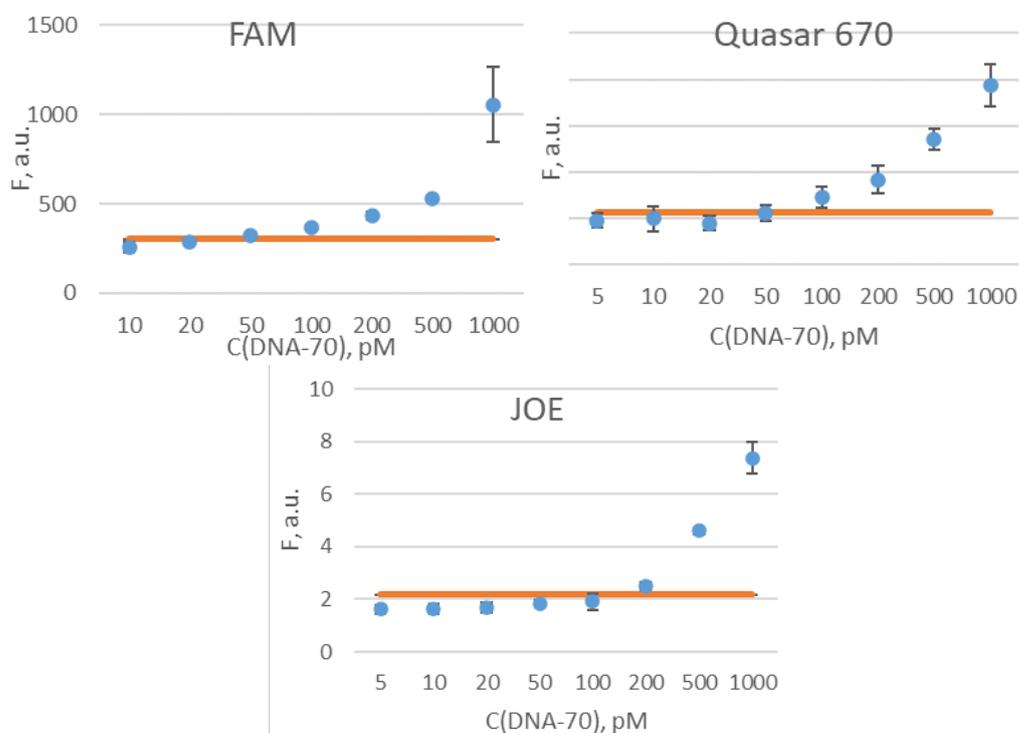


Рис. 2. Пределы обнаружения систем бинарных ДНКзимов после 1 ч инкубации

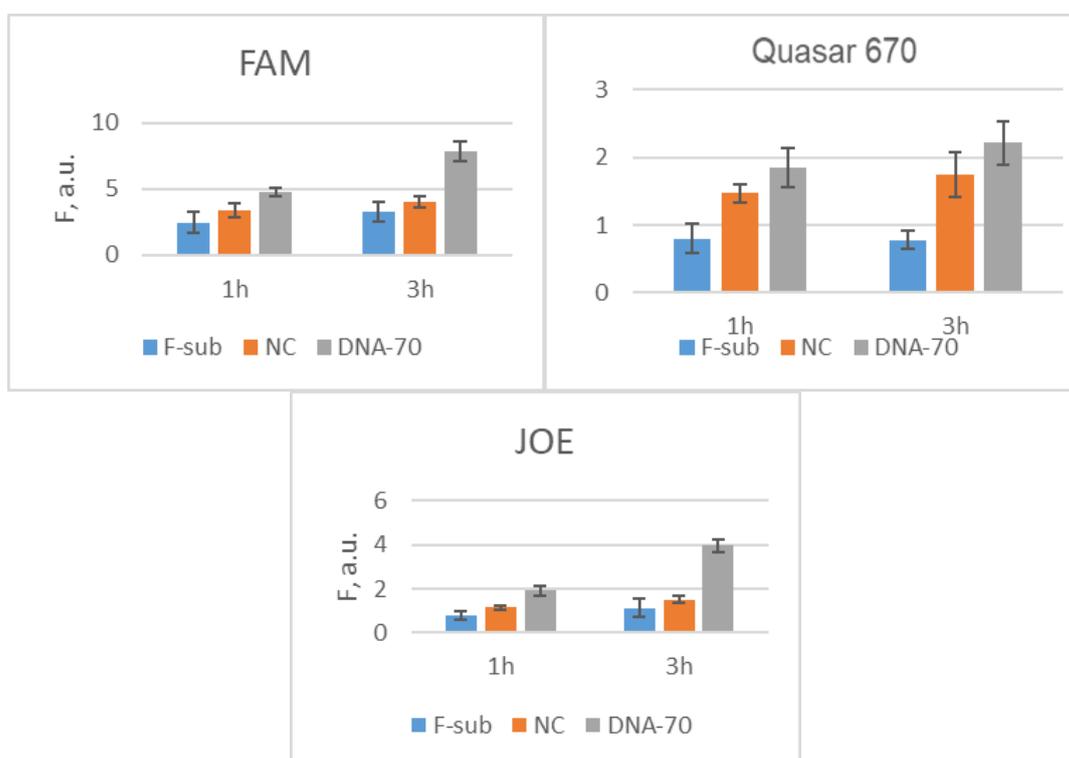


Рис. 3. Результаты мультиплексного эксперимент

В результате мультиплексного эксперимента (рис. 3.) возникла проблема с флуорофором Quasar 670. Дело в том, что ввиду высокой реактивности Dza/Dzb в этой системе в отсутствие аналита здесь были взяты концентрации намного меньше, чем в системах с другими флуорофорами, и это повлияло в отрицательную сторону на его ответ на аналит. Пока что для мультиплексной системы мы использовали тот же аналит ДНК-70, и это, скорее всего, является причиной данной проблемы, которая может решиться с использованием разных аналитов для каждого флуорофора. Для остальных флуорофоров проблем не было выявлено.

В дальнейшем мы планируем провести эксперименты на фрагментах генов системы токсин-антитоксин у возбудителя туберкулеза *Mycobacterium tuberculosis*, которые отвечают за резистентность к антибиотикам. Это позволит протестировать разработанный в данной работе мультиплексный вариант технологии с использованием ДНКзимов на реальном проекте.

Литература

1. Mokany, E., Bone S.M., Young P.E., Doan T.B., Todd A.V. «MNAzymes, a versatile new class of nucleic acid enzymes that can function as biosensors and molecular switches» // *Journal of the American Chemical Society*. 2010. V. 132. N. 3. P. 1051–1059.
2. Lyalina T.A., Goncharova E.A., Prokofeva N.Y., Voroshilina E.S., Kolpashchikov D.M., «A DNA minimachine for selective and sensitive detection of DNA» // *Analyst*. 2019. V. 144. N. 2. P. 416–420.
3. Kolpashchikov D.M., «Evolution of Hybridization Probes to DNA Machines and Robots» // *Accounts of chemical research*. 2019. V. 52. N. 7. P. 1949–1956.

УДК 621.642

МЕТОДИКА ПОДБОРА ТИПА И ФОРМЫ ПРОДУКТОВОГО КРИОГЕННОГО ТАНКА СПГ ДЛЯ РЕЧНОГО ТАНКЕРА**Иванов Л.В.¹, Кравченко Д.В.¹, Михеенкова А.А.¹****Научный руководитель – д.т.н., проф. Баранов А.Ю.¹**¹Университет ИТМО

В статье предложена методика определения типа и формы криогенного мобильного резервуара для транспортирования сжиженного природного газа (СПГ) речными танкерами-газовозами. Произведен анализ специфики систем хранения груза малотоннажных газовозов и нормативного технического регулирования правил Российского Речного Регистра (РРР) и международных норм DNVGL. Предложенная методика основывается на анализе корпусных параметров судна и подходит для проектирования новых судов и модернизации уже существующих проектов.

Ключевые слова: СПГ, речные танкеры, танки типа С, компактность, двудольные танки, мультидольные танки.

В настоящее время в России для обеспечения северных районов жизненно важными товарами, в первую очередь топливом, используется так называемый «северный завоз». Доставляемое топливо (ДТ) производится на крупных нефтеперерабатывающих заводах, расположенных далеко от места его конечного потребления. В структуре стоимости топливных ресурсов до 70% составляют транспортные издержки. СПГ является рациональной альтернативой ДТ для северных регионов [1]. Он дешевле, экологичнее и энергоэффективнее, чем ДТ. Заводы по производству СПГ уже сконцентрированы в северных регионах, что позволяет значительно сократить плечо доставки топливных ресурсов. СПГ также может быть использован в качестве средства автономной газификации отдаленных населенных пунктов, не входящих в региональные программы газификации.

Единственным рациональным способом транспортирования СПГ в северных регионах является водный транспорт. Это обусловлено неразвитостью автодорожной сети и географическим расположением газифицируемых населенных пунктов.

Для транспорта СПГ применяются специализированные малотоннажные танкера. Транспортные схемы с доставкой СПГ прибрежным потребителям действуют в Японии, Малайзии и Греции [2]. Однако специфические условия работы в северо-восточной Сибири накладывает дополнительные ограничения ввиду неразвитой бункеровочной инфраструктуры, значительных расстояний между потребителями, отсутствием специализированных верфей и др.

Наиболее рациональной транспортной моделью для осуществления доставки СПГ по магистральным сибирским рекам (Обь, Лена и Енисей) является «milk run». В рамках этой концепции партии СПГ выдаются по ходу движения танкера. Криогенные резервуары в данном случае работают в режиме переменного заполнения.

Существуют различные типы судовых криогенных резервуаров для хранения продуктового СПГ. Это встроенные мембранные танки, которые являются неотъемлемой частью корпуса судна, и независимые танки. Мембранные резервуары широко применяются при крупнотоннажном морском транспорте, однако для речного транспорта они малопригодны. Это обусловлено их плохой работой при частичном заполнении танка из-за слошинга (волн СПГ внутри танка), который повреждает тонкую внутреннюю мембрану. В Греции применяются среднетоннажные танкеры, где применяются мембранные системы с армированной теплоизоляцией высокой плотности, способные выдерживать нагрузки от слошинга, однако такие танкеры имеют большие показатели суточной испаряемости (BOR) 0,29 %/день по сравнению с 0,1 – 0,15 %/день для стандартных мембранных танков [3]. Также для строительства мембранных танкеров требуются высокотехнологичные специализированные верфи, что затрудняет их производство в России. Независимые танки бывают трех основных типов: танки типа А, типа В и типа С. Танки типа А представляют

собой призматические резервуары с двумя стенками. Они имеют простую конструкцию, но у них высокие средний удельный вес, что является важным параметром в условиях сильного ограничения по осадке для речных судов. Танки типа В имеют частичный вторичный барьер в виде поддона. Они бывают двух основных форм: сферические и призматические. По причине низких параметров компактности сферические танки типа В выведены из рассмотрения. Танки типа С представляют собой резервуары под давлением и не имеют вторичного барьера.

По нормам российского и международного регулирования – танки типа В не могут выступать над поверхностью верхней палубы. В то же время грузовое надпалубное пространство не может выступать над поверхностью палубы больше, чем на 3 м или на половину диаметра танка. Рассматривая общее грузовое пространство как сумму подпалубного пространства и надпалубного пространства, можно промоделировать использование грузового пространства для танков различных типов и для судов с различными корпусами. На рисунке 1 представлен график сравнения танков двух типов.

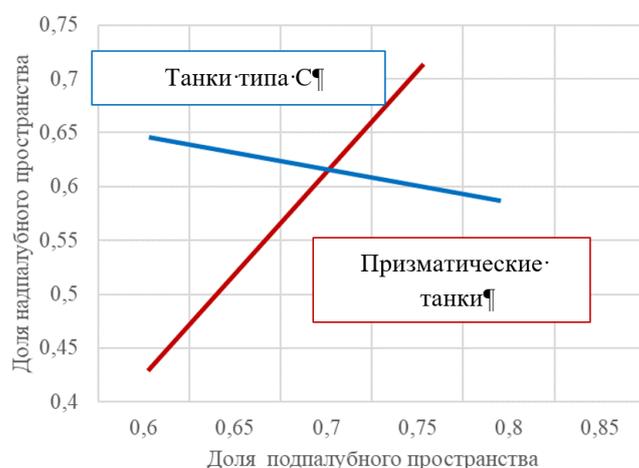


Рис. 1. Зависимость использования трюмного пространства от доли подпалубного пространства танками различных форм

Из графика очевидно, что при доле подпалубного пространства больше 0,7 использование призматических танков эффективнее. Большие защитные расстояния от внутренней поверхности судна до металла призматического танка, чем расстояния до танка типа С, нивелируются эффектом масштаба для крупно- и среднетоннажных судов.

Форма танка типа С также бывает различной. Традиционной является цилиндрическая форма с полусферическими крышками. Однако такая форма недостаточно компактна и плохо использует свободное трюмное пространство. Для повышения параметров полезного использования пространства применяются двудольные и мультидольные танки. Они представляют собой совмещенные цилиндрические танки в единой оболочке. Сравнение двудольного и призматического танка представлено на рисунке 2.

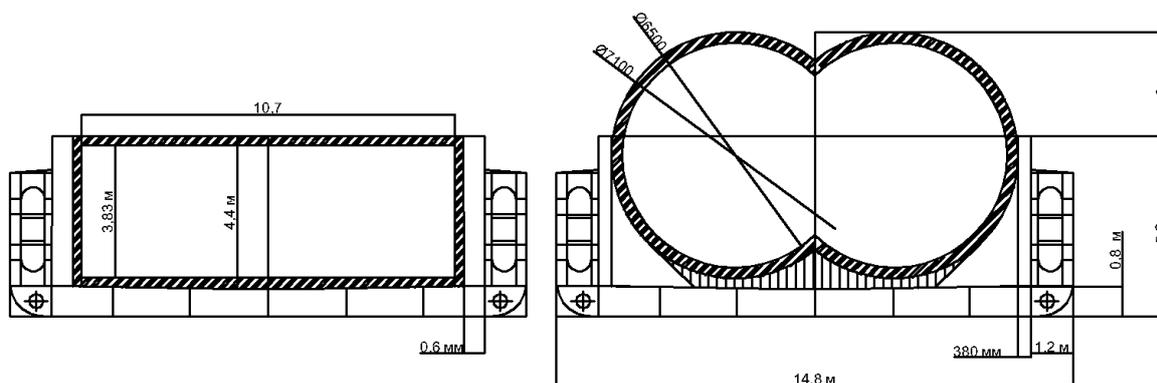


Рис. 2. Цилиндрический и двудольный танк в корпусе судна

Авторы статьи [4] утверждают, что оптимальное расстояние между центрами долей в двудольном танке варьируется от $0,35r$ до $0,75r$. Это соотношение получено из анализа напряжений, толщины стенок и стоимости сооружения танков подобной конструкции. Принимая диаметр танка вместе с тепловой изоляцией равным

$$D = 2r = h_n + h_p,$$

где h_n – высота надпалубного пространства, м; h_p – высота подпалубного пространства, м, можно сделать вывод о зависимости формы танка типа С от параметров ширины трюма b :

- цилиндрические танки – $b < 1,35 \cdot (h_n + h_p)$;
- двудольные танки – $1,35 \cdot (h_n + h_p) < b < 1,8 \cdot (h_n + h_p)$;
- мультидольные танки – $b > 1,8 \cdot (h_n + h_p)$.

Максимальная длина танка принимается из условия:

$$l_{\text{тмакс}} \leq L \cdot 0,2,$$

где L – габаритная длина судна, м.

Отсюда количество танков:

$$n = \frac{l_t}{L \cdot 0,2}.$$

Количество танков принимается округлением вверх.

Трюмное пространство должно быть отделено коффердамами от машинного отделения и от таранной переборки. Минимальная ширина коффердама $l_{\text{коф}}$ составляет 0,6 м. Также расстояние между танками должно составлять не менее 0,37 м. Исходя из этих условий, суммарная длина танков равна:

$$l_{\text{тсум}} = L_t - (2 \cdot l_{\text{коф}} + 0,37 \cdot (n + 1)).$$

Итого, длина одного танка:

$$l_t = \frac{l_{\text{тсум}}}{n}.$$

По предложенной методике можно определять тип, форму, размеры и количество танков по параметрам корпуса судна. Методика подходит для новых и уже существующих проектов судов.

Литература

1. Книжников А.Ю., Климентьев А.Ю. Перспективы и возможности использования СПГ в арктических регионах России // Конференция Взгляд WWF России – М. 02.2018.
2. Muhammad Arif Budiyo, Achamad Riadi, I.G.N. Sumanta Buana, Gita Kurnia Study on the LNG distribution to mobile power plants utilizing small-scale LNG carriers // Heliyon, Volume 6, Issue 7, E04538, July 2020 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04538>.
3. LNG Shipping AMAN Class [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.misc.com.my/media/2070/aman_class.pdf (дата обращения: 18.02.2021).
4. Mohammadreza Salarkia, Sa'id Golabi, Behzad Amirjalali Optimum Design of Liquefied Natural Gas Bi-lobe tanks using finite element, genetic algorithm and neural network // J. Appl. Comput. Mech., 6(4) – 2020 DOI: 10.22055/JACM.2019.14801.

УДК 58.085

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СОСТАВА ПИТАТЕЛЬНЫХ СРЕД ДЛЯ МИКРОКЛОНАЛЬНОГО РАЗМНОЖЕНИЯ КАРТОФЕЛЯ

Иванова Д.И.¹

Научный руководитель – старший преподаватель Бутылёв А.В.¹

¹Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого

Микроклональное размножение даёт возможность ускорять селекционный процесс. В работе представлено определение оптимального состава питательной среды для ускоренного размножения картофеля в условиях *in vitro*. Проведён анализ трех вариантов питательной среды Мурасиге-Скуга, сделаны выводы. Эксперимент проводился в лаборатории клонального микроразмножения филиала ФГБУ «Россельхозцентр» по Новгородской области.

Ключевые слова: микроклональное размножение, условия *in vitro*, питательная среда, оптимальный состав, питательная среда Мурасиге-Скуга.

В век высоких технологий и инноваций в различных областях ключевую роль не перестаёт играть растениеводство. Именно эта отрасль сельского хозяйства обеспечивает получения максимального количества урожая усовершенствованными методами выращивания полевых культур.

В настоящее время применяются различные методы для ускоренного роста и увеличения сельскохозяйственной продукции. Один из них метод вегетативного размножения – микроклональное размножение. Использование этой технологии даёт возможность ускорять селекционный процесс, в результате сроки получения товарной продукции уменьшаются в 2 – 3 раза.

Область применения микроразмножения разнообразна и постоянно расширяется, для этого используют различные питательные среды. Общего рецепта для всех растений нет, поэтому необходимо в индивидуальном порядке для каждого растения подбирать состав. В то же время для одного и того же сорта используют различные компоненты питательной среды, это позволяет наблюдать за отращиванием и, возможно, новым формированием морфологических структур.

Именно поэтому была поставлена следующая проблема. Успех в выращивании клонов картофеля зависит от правильного подбора компонентов питательной среды и точности ее приготовления. Для культивирования органов и тканей чаще применяют твердую агаросодержащую среду. Любая питательная среда включает следующие группы веществ: макро- и микроэлементы, углеводы, витамины, аминокислоты, регуляторы роста гормональной природы. Именно поэтому при клональном микроразмножении растений наиболее часто используют специально разработанную среду Мурасиге-Скуга.

Целью данной работы являлось определение оптимального состава питательной среды для ускоренного размножения картофеля в условиях *in vitro*.

В связи с этим были поставлены следующие задачи:

1. Приготовление трех вариантов питательной среды Мурасиге-Скуга (стандарт, экспериментальный № 1, экспериментальный № 2).
2. Получение эксплантов и помещение их на питательную среду в пробирки.
3. Проведение анализа на основе наблюдений (в течение одного месяца) за ростом и развитием растений картофеля сорта «Инноватор».
4. Оценка состава вариантов питательной среды и проведение их сравнительного анализа.

В эксперименте был задействован сорт картофеля «Инноватор». Этот сорт отличается морозостойкостью и хорошим иммунитетом к распространённым заболеваниям. Он также получил свою популярность среди фермеров, благодаря высокой урожайности, вкусовым характеристикам, товарным видом и хорошей пригодностью к транспортировке. Сорт «Инноватор» относится к среднеранним, выкапывать его можно уже через 65 – 80 дней. Клубни имеют овальную или продолговатую форму со светло-жёлтым окрасом.

Для проведения эксперимента нами были взяты три варианта питательной среды Мурасиге-Скуга (стандарт, экспериментальный № 1, экспериментальный № 2). В таблице 1 представлены компоненты, входящие в состав питательных сред.

Таблица 1. Растворы, входящие в состав питательных сред

Растворы для приготовления питательной среды	Исследовательское название питательной среды		
	«Стандарт»	«Экспериментальный 1»	«Экспериментальный 2»
Маточный раствор «Макросолей»	+	+	+
Маточный раствор «Микросолей»	+	+	+
Маточный раствор «Хелат железа»	+	-	-
Раствор витаминов	+	-	-
Раствор фитогормона ауксина ИУК	+	-	-
Феруловая кислота	+	-	-
Сахароза	+	-	+
Агар-агар	+	+	+

Стандартная питательная среда включает в себя компоненты маточных растворов макро- и микросолей, а также компоненты, указанные в таблице

Экспериментальный № 1: в питательную среду входит маточный раствор макросолей и микросолей. Кислотность питательной среды – 5,76 (рН)

Экспериментальный № 2: включает в себя маточные растворы макросолей и микросолей, а также сахарозу. Кислотность питательной среды – 5,76 (рН).

После приготовления трёх вариантов питательной среды (стандарт, экспериментальный № 1, экспериментальный № 2) и автоклавирования были проведены наблюдения в течение 3 – 4 дней, в ходе которых «зарастание» питательной среды не наблюдалось. Затем были получены экспланты и помещены на питательную среду в пробирки. При этом были соблюдены все нормы культивирования стерильных черенков в ламинар-боксе.

Анализ проведён на основе наблюдений за ростом и развитием растений картофеля сорта «Инноватор» в течение одного месяца. Ниже представлена таблица 2 с образцами питательной среды, в которой указан временной диапазон, а также высота экспериментальных растений картофеля.

Таблица 2. Результаты эксперимента

Экспериментальное название питательной среды	1 неделя	2 неделя	3 неделя	4 неделя
«Стандарт»	1,5 см	5,5 см	10,5 см	12,5 см
«Экспериментальный 1»	1,5 см	7 см	9,5 см	11,5 см
«Экспериментальный 2»	2 см	8 см	9,5 см	11,5 см

Анализ полученных данных показал, что наиболее интенсивный рост эксплантов наблюдался на 2 неделе у вариантов «экспериментальный №1» и «экспериментальный №2», но затем развитие резко снизилось из-за нехватки питательных веществ. На 4 неделе наибольшие показатели темпа роста отмечены у варианта «стандарт» 12,5 см.

Компоненты питательной среды также повлияли и на количество междоузлий у пробирочных растений. Образование максимального их количества было зафиксировано у

варианта «стандарт», минимальное образование междоузлий – у варианта «экспериментальный № 1».

В таблице указано количество возможных эксплантов для черенкования растений на 4 неделе. Для всех экспериментальных образцов был подсчитан коэффициент.

Таблица 3. Образование междоузлий у пробирочных растений

Экспериментальное название питательной среды	«Стандарт»	«Экспериментальный 1»	«Экспериментальный 2»
Коэффициент	K = 6,2	K = 4,35	K = 5,4

Также стоит отметить значительную разницу в развитии корневой системы на разных питательных средах. Раньше всех корневая система образовалась на варианте «экспериментальном № 2», но из-за нехватки питательных веществ развилась слабо, в виде тонких «волосков». На 4 неделе только на одной питательной среде варианта «стандарт» образовалась хорошо развитая корневая система.

Стоит отметить, что на варианте «экспериментальном № 1» выявлено уже на первой неделе пожелтение листьев и стебля, что говорит о малом количестве питательных веществ в составе среды.

В целом опыты показали, что состав питательной среды «стандарт» для ускоренного размножения картофеля в условиях *in vitro* показал наилучшие результаты и является оптимальным.

В дальнейшем опыты будут продолжены. Планируется поставить эксперимент с витаминами и выявить оптимальный состав для ускоренного роста картофеля в условиях *in vitro*.

Литература

1. П.П. Вавилов, В.В. Гриценко, В.С. Кузнецов и др. Растениеводство. Под ред. П.П. Вавилова. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Агропромиздат, 1986. 512 с.
2. Рыжкова Е. Ю., Трофимец Л. Н. Безвирусное семеноводство картофеля (рекомендации), Москва «агропромиздат», 1990 год. 31 с.
3. Воробьев А.В., Быков А.С., Пашков Е.П. Микробиология. 2003 г. 336 с.
4. Родькина И. А. Изменчивость морфологических признаков при вегетативном размножении андроклонов картофеля // Биотехнология. 2011. 113 с.

УДК 504.062.2

АНАЛИЗ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАКОНОДАТЕЛЬНОЙ ОСНОВЫ ДЛЯ ВНЕДРЕНИЯ ОЖЦ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Калашникова Л.И.¹Научный руководитель – ст. преподаватель Савоскула В.А.¹¹Университет ИТМО

В статье представлен анализ механизмов внедрения оценки жизненного цикла в Европейском Союзе на уровне законодательства и экологического права в Российской Федерации. Выявлены возможности внедрения оценки жизненного цикла в экологическом законодательстве Российской Федерации и даны соответствующие рекомендации.

Ключевые слова: оценка жизненного цикла, Европейский Союз, экологический менеджмент, экологическая политика, экологическое законодательство.

Одной из самых главных тем современности является экология. С постоянно растущими темпами производства также растет не только нужда в современных, более экологически чистых технологиях на производствах, но и нужда в разработке, улучшении и внедрении методов оценки влияния продуктов и услуг на окружающую среду.

Оценка жизненного цикла как раз является таким инструментом, позволяющим выявить и решить проблемы тех этапов жизни того или иного продукта и услуги, которые оказывают наибольшее влияние на окружающую среду.

Оценка жизненного цикла – это инструмент, который активно используется странами-членами Европейского союза для определения опасности продукта для окружающей среды. Если обратиться к истории, то можно пронаблюдать то, что первые экологические политики, касающиеся LCT (Life cycle thinking) и экодизайна, возникли из управления отходами и осознания значимости осведомленности потребителя. Важно отметить, что под термином «экологическая политика» понимались законодательные акты Парламента и Совета ЕС (Регламенты и директивы), решения Парламента и Совета ЕС или Комиссии, и обращения Комиссии в Парламент ЕС и Совет по рекомендации Комиссии.

В 1992-м году было положено начало внедрению ОЖЦ в Европейском союзе: был принят регламент по экомаркировке EU Ecolabel (№66/2010), который устанавливал правила создания и применения добровольной схемы экомаркировки ЕС. В частности, Регламент гласит, что критерии экомаркировки ЕС должны определяться на научной основе с учетом всего жизненного цикла продукции. В дальнейшем Европейской комиссией было принято 18 обращений (communications), 19 директив (directives), 9 регламентов (regulations) и 1 решение (decision) [1].

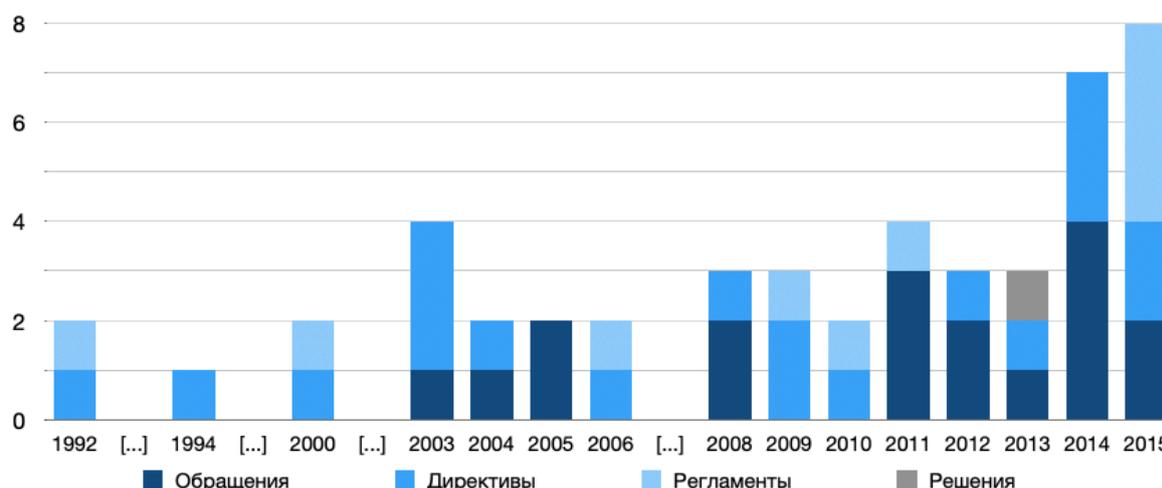


Рис. 1. Число экологических политик, продвигающих ОЖЦ, принятых в ЕС с 1992-го по 2015-й года

Среди важнейших законодательных актов ЕС в области ОЖЦ необходимо также отметить Интегрированную продуктовую политику (COM(2003)302), инициативу по созданию единого рынка экологически чистых продуктов (COM(2013)196) и обращение «Лучшее регулирование» (COM(2015)215). Интегрированная продуктовая политика (IPP) направлена на минимизацию воздействия на окружающую среду за счет изучения всех этапов жизненного цикла продуктов и принятия мер там, где они наиболее эффективны. Интегрированная продуктовая политика решила проблему большого количества различных продуктов и участников на рынке, при котором не может быть одной простой политической меры для всего. IPP ввела целый ряд инструментов, – как добровольных, так и обязательных. К ним относятся такие меры, как экономические инструменты, запрет на использование определенных веществ, добровольные соглашения, экологическая маркировка и руководящие принципы проектирования продукции [1].

Инициатива по созданию единого рынка экологически чистых продуктов, в свою очередь, была направлена на решение четырех ключевых моментов:

- 1) отсутствие общего определения того, что такое зеленые продукты и организации,
- 2) ненужные затраты для предприятий, возникающие в результате распространения как со стороны частных, так и государственных, нескольких методов определения экологического следа и, как следствие, необходимости использовать более одного метода и соответствовать различным требованиям для разных стран и розничных продавцов,
- 3) устранение препятствий для свободной торговли в ЕС,
- 4) отсутствие доверия потребителей к экологическим требованиям.

В рамках данной инициативы Комиссия предложила государствам-членам ЕС использовать согласованную методологию ОЖЦ (PEF и OEF, как определено в Рекомендации 2013/179 / EU) в национальной политике и инициативах, касающихся оценки и информирования об экологических характеристиках продукции и организаций соответственно, взяв на себя обязательство по постепенной интеграции методологий в EMAS, GPP и Ecolabel. Также данная инициатива установила принципы сообщения экологических показателей жизненного цикла и запустила трехлетнюю фазу тестирования, чтобы упростить применение гармонизированной методологии ОЖЦ и дополнительно уточнить аспекты ее применения и коммуникации.

Обращение «Лучшее регулирование» было направлено непосредственно на разработку экологических политик и определило точный способ работы для обеспечения того, чтобы политические решения готовились открыто, прозрачно, на основе наилучших имеющихся свидетельств и при всестороннем участии заинтересованных сторон. Данное обращение включило в себя набор инструментов для лучшего регулирования, включая LCT/LCA в качестве инструмента для реализации улучшенного регулирования (с помощью экологических данных и индикаторов или с помощью экономической и социальной оценки и анализа устойчивости на основе LCT).

Все эти нормативно-правовые документы построены вокруг разных сфер, включающих себя продукты питания, строительные материалы, топлива, транспортные средства, потребление энергии, химические вещества, что показывает, насколько хорошо ОЖЦ применим для разных сфер промышленности. Принятие всех вышеперечисленных экологических политик было направлено на:

- 1) поддержку осознанного выбора потребителей и способствование производству и потреблению устойчивых продуктов и услуг (спрос-предложение);
- 2) поддержку развития экологических технологий, включающих технологии и процессы для управления загрязнением (например, контроль загрязнения воздуха, управление отходами), менее загрязняющие и менее ресурсоемкие продукты и услуги, а также способы более эффективного управления ресурсами (например, водоснабжение, энергосберегающие технологии);

- 3) поддержку формирования политики, а именно реализацию недавнего улучшенного регулирования.

Чтобы показать, что тот или иной продукт прошел ОЖЦ и доказал свое низкое влияние на окружающую среду, в Европейском союзе используются экологические маркировки. Одной из них является маркировка CE, которая доказывает безопасность продукта не только для потребителя, но и для окружающей среды — именно с такой маркировкой продукты могут выходить на рынок в странах Европейского союза, поскольку основывается на соответствующих директивах для каждой категории товара. Российские предприятия, желающие выйти на европейский рынок, достаточно активно получают данную сертификацию. В данный момент на европейский рынок выходят в основном именно строительные материалы в силу того, что данная маркировка продвигалась с регламентом (Regulation No 305/2011) о строительных материалах. Данный регламент устанавливает условия для размещения или выпуска на рынок строительной продукции, устанавливая согласованные правила о том, как выражать рабочие характеристики строительной продукции по отношению к их основным характеристикам, и по использованию маркировки CE на этой продукции [2].

Однако на законодательном уровне Российская Федерация еще не имеет документов, обязывающих использование ОЖЦ как метода обеспечения экологической безопасности продукции. Хотя стандарт ISO 14044 введен в действие в России, здесь он приобрел вид «ГОСТа», которые имеют на территории России рекомендательный характер.

Однако, помимо ГОСТа Р ИСО 14044, в Российской Федерации есть ряд других нормативных документов, в которых упоминается понятие жизненного цикла. В частности, они продвигают использование LCC, оценки стоимости жизненного цикла (метод, который сосредотачивается именно на финансовой составляющей). Среди них имеется несколько национальных стандартов Российской Федерации, касающихся преимущественно менеджмента рисков, а также стоимости жизненного цикла, например сооружений водоснабжения и автомобильных дорог. Среди них:

1. ГОСТ Р 59042-2020 (МЭК 60086-6:2020) Национальный стандарт Российской Федерации. Батареи первичные. Часть 6. Экологическая безопасность. Общие требования.
2. ГОСТ Р 58785-2019. Национальный стандарт Российской Федерации. Качество воды. Оценка стоимости жизненного цикла для эффективной работы систем и сооружений водоснабжения и водоотведения.
3. ГОСТ Р 58137-2018. Национальный стандарт Российской Федерации. Дороги автомобильные общего пользования. Руководство по оценке риска в течение жизненного цикла.
4. ГОСТ Р 58969-2020. Национальный стандарт Российской Федерации. Менеджмент Риска. Управление технико-производственными рисками промышленного предприятия (Связь процесса оценки рисков и жизненного цикла объекта).
5. ГОСТ Р 58045-2017. Национальный стандарт Российской Федерации. Авиационная техника. Менеджмент риска при обеспечении качества на стадиях жизненного цикла. Методы оценки и критерии приемлемости риска.
6. ГОСТ Р 55931-2013. Национальный стандарт Российской Федерации. Интегрированная логистическая поддержка экспортируемой продукции военного назначения. Стоимость жизненного цикла продукции военного назначения.
7. Постановление Правительства РФ от 28.11.2013 N 1085 (ред. от 25.06.2020) «Об утверждении Правил оценки заявок, окончательных предложений участников закупки товаров, работ, услуг для обеспечения государственных и муниципальных нужд».

Таким образом, можно судить о том, что внедрение ОЖЦ в Российской Федерации происходит добровольно и очень медленно. И в этом моменте хотелось бы обратиться к сфере продуктов питания. С каждым годом потребитель все больше начинает беспокоиться не только о качестве продукции, но и о том, как продукты питания, их производство и отходы

вливают на окружающую среду. Доктрина о Продовольственной Безопасности может стать хорошей базой для постепенного внедрения ОЖЦ на законодательном уровне. Интегрированная продуктовая политика (ИП) во многом может стать хорошим источником для внесения полезных изменений в данный документ, в их числе – для внедрения ОЖЦ [3].

В заключение можно сказать, что несмотря на то, что внедрение метода и новых мер, позволяющих оценить экологическую безопасность продукта – очень долгий процесс, в Российской Федерации ОЖЦ все-таки имеет некоторое распространение, что может стать хорошим фундаментом для его закрепления на законодательном уровне.

Другой составляющей этого фундамента могут стать экологические маркировки, в том числе наша маркировка «Листок жизни», являющейся маркировкой I типа по стандарту ISO 14024 об экомаркировках. Ведь именно маркировки I типа по ISO 14024 обязуют проводить для продукта ОЖЦ, который и доказывает их экологическую безопасность.

Литература

1. Sala S., Reale F., Cristobal-Garcia J., Marelli L., Pant R. Life cycle assessment for the impact assessment of policies // 2016. EUR 28380 EN.
2. Европейская сертификация в России, международные, национальные стандарты, протоколы испытаний и сертификат, оценка соответствия, РосАккредитация, взаимное признание, ILAC MRA, ИЛАК [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.icqc.eu/ru/certifikacija-ce/centr-sertifikacii/evropejskij-sertifikat-sootvetstviya-se-rossija> (дата обращения: 01.04.2021).
3. Пахомова Н. В., Сергиенко О. И. «Интегрированная продуктовая политика и производство экологически безопасного продовольствия: опыт ЕС и перспективы для России» // 2011. Проблемы современной экономики. №.1. С. 294-300.

УДК 621.575.9

СОЛНЕЧНЫЕ КОЛЛЕКТОРЫ КОМБИНИРОВАННОГО ТИПА

Камара С.¹

Научный руководитель – д.т.н., Сулин А.Б.¹

¹ Университет ИТМО

Системы охлаждения на основе солнечной энергии относятся к энергосберегающим технологиям и направлены на борьбу с изменением климата. Разработанная математическая модель позволяет рассчитывать тепловую эффективность и производительность радиационного коллектора для дневного и ночного режима работы.

Ключевые слова: солнечная система охлаждения, солнечный коллектор, радиационное охлаждение, тепловая эффективность коллектора.

В настоящее время рост промышленной активности и интенсивный спрос на комфорт в здании приводят к увеличению потребления электроэнергии. Однако обычные системы охлаждения используют энергию из ископаемых источников энергии, которые оказывают негативное влияние на климат. Согласно IEA (International Energy Agency), потребление энергии для охлаждения увеличится в три раза в течение следующих 30 лет, а именно, с 850 ГВт в 2016 году до 3350 ГВт в 2050 году [1].

Развитие энергоэффективных зданий в значительной степени сократило зависимость от ископаемого топлива при отоплении помещений [2], но спрос на энергию для охлаждения и кондиционирования воздуха продолжает расти из-за увеличения тепловых нагрузок, изменений в архитектуре зданий и, прежде всего, из-за роста спроса на внутренний комфорт [3]. Следует отметить, что сектор холодильной индустрии заметно изменился после Киотского протокола, предлагающего использовать солнечную энергию в системах отопления, вентиляции, кондиционирования воздуха и охлаждения. С учетом того, что спрос на охлаждение увеличивается с интенсивностью солнечного излучения, гелиоиспользующие системы охлаждения следует рассматривать как логичное решение [3, 4].

Между 70-ми и 80-ми годами XX века прогресс в эксплуатации солнечных тепловых панелей для приготовления бытовой горячей воды показал зрелость солнечной технологии и техническую надежность солнечного источника. Этот факт проложил путь к более сложным системам, использующим солнечную энергию одновременно для отопления помещений и для горячего водоснабжения [2].

К концу 2018 года по оценкам во всем мире было установлено 1800 солнечных систем охлаждения. Большинство из них (около 70%) расположены в Европе, в основном, – в Испании, Германии, Италии и Греции. Большинство установленных систем солнечного теплового охлаждения оснащены высокопроизводительными плоскими пластинчатыми или вакуумированными трубчатыми коллекторами [1].

Задачи данного исследования связаны с обеспечением работы абсорбционной холодильной машины, которая использует горячий потенциал Солнца и холодный потенциал космоса. Предметом исследования являются коллекторы комбинированного типа. В дневное время они аккумулируют теплоту, а в ночное время - холод.

Исследование проведено для погодных условий города Бамако, столицы Республики Мали, которые характеризуется полупустынным климатом с большим потенциалом солнечной радиации в течение большей части года. Система абсорбционного охлаждения использует горячую и холодную воду из баков-аккумуляторов. Бак с горячей водой накапливает теплоту днем. Бак с холодной водой накапливает холод ночью. Структурные схемы абсорбционной установки и коллектора показаны на рисунках 1 и 2.

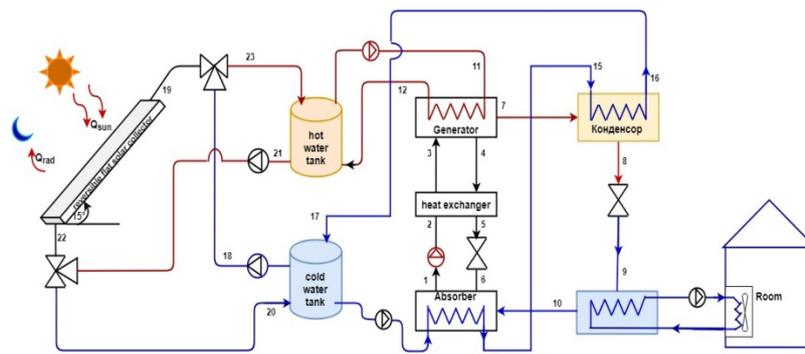


Рис. 1. Схема абсорбционной системы охлаждения с солнечным коллектором комбинированного типа

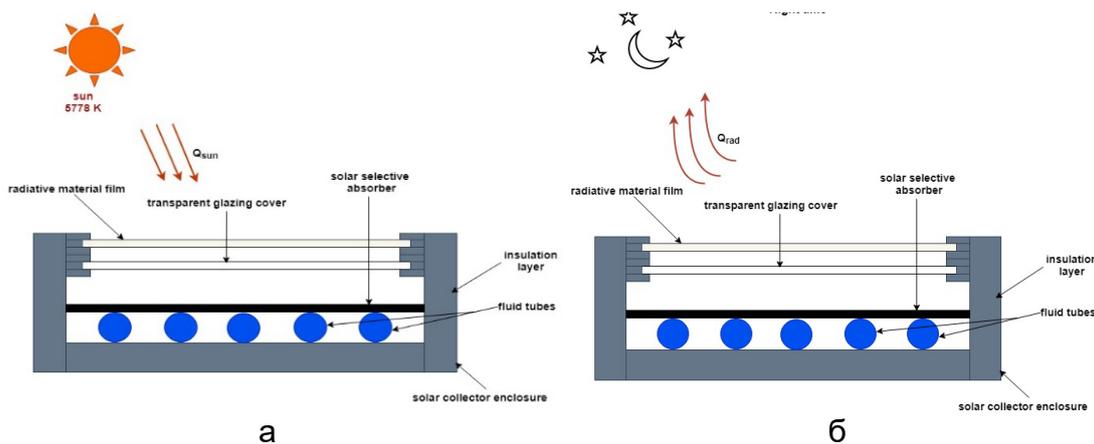


Рис. 2. Схема солнечного коллектора комбинированного типа
а) дневной режим, б) ночной режим

Параметры, описывающие солнечный коллектор комбинированного типа (СККТ), представлены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1. Средние значения параметров

Параметры		Режим нагрева		Режим охлаждения		
Толщина изоляции (м)		0.050		0.050		
Скорость ветра (м/с)		2.7		2.85		
Температура окружающей среды (°C)		35		31.56		
Температура входа воды		28		28		
Расход потока (кг/с)		0.008		0.008		
Средняя солнечная радиация (Вт/м ²)		746.24		0		
Количество труб	Размеры СККТ, мм	Длина	Ширина	Высота	Диаметр трубы	Зазор
12		1700	1008	130	6,35	84

В качестве ветрового экрана реверсивного коллектора используется пленка из полиэтилена низкой плотности (ПНП) толщиной 10 мкм. Оптические характеристики покрытия радиатора взяты из [5 – 8].

Таблица 2. Оптические характеристики покрытия

Длина волны, $\mu\text{м}$	0,3 – 3	3 – 8	8 – 13	13 – 25
Коэффициент поглощения	0,92	0,55	0,55	0,55
Коэффициент излучения	0,55	0,55	0,80	0,55

В качестве остекления комбинированного коллектора выступало ультра-белое стекло толщиной 4 мм. В этом исследовании мы будем использовать селективное покрытие, описанное в [5] и [8]. Поглощающая пластина состоит из алюминиевой подложки толщиной 400 мкм и покрытия на основе титана толщиной 200 нм. Эта композитная собирающая пластина называется поглощающей пластиной ТРЕТ [8]. Она является ключевым компонентом СККТ для производства солнечного тепла и ночного радиационного охлаждения. Зазор между ветровым стеклом и прозрачным остеклением составляет 40 мм, а между прозрачным остеклением и солнечным селективным поглотителем – 40 мм. Задний изоляционный слой выполнен из пенополиуретана толщиной 50 мм с теплопроводностью 0,027 Вт / (м·К).

Математическая модель, разработанная на основе уравнений теплового баланса, а также метеорологических данных города Бамако, позволит нам оптимизировать и определить рабочие параметры СККТ, такие как тепловая эффективность, температура воды на выходе, производительность, оптимальный расход воды и разница температур между входом и выходом для дневного и ночного режима. Для упрощения анализа принимаются положения, выдвинутые в [6, 9, 10].

В модели использованы уравнения тепловых балансов на поверхности коллектора, основными уравнениями являются.

Уравнение теплового баланса ветрового стекла:

$$h_{wa}(T_a - T_w) + h_{ws}(T_{sky} - T_w) + h_{wg-conv}(T_g - T_w) = 0, \quad (1)$$

где h_{wa} – коэффициент конвективной теплоотдачи между ветровым экраном и окружающим воздухом, Вт/(м²·К); h_{ws} – коэффициент радиационной теплоотдачи между ветровым экраном и небом, Вт/(м²·К); $h_{wg-conv}$ – коэффициент конвективной теплоотдачи между ветровым экраном и остеклением, Вт/(м²·К); T_a , T_w , T_{sky} и T_g – температуры окружающего воздуха, ветрового экрана, неба и остекления, соответственно, К; Q_{wg-rad} – чистая мощность теплопередачи между ветровым экраном и остеклением, Вт/м²; α_w – полная полусферическая поглощающая способность ветрового экрана в полосе солнечного излучения; G – падающее солнечное излучение на квадратный метр, Вт/м².

Уравнение теплового баланса прозрачного остекления:

$$h_{wg-conv}(T_w - T_g) + h_{gp}(T_p - T_g) + \alpha_g * G - Q_{rad-net} = 0, \quad (2)$$

где h_{gp} – общий коэффициент теплопередачи между прозрачным стеклопакетом и солнечным селективным поглотителем, Вт/(м²·К); T_p – температура солнечного селективного поглотителя, К; α_g – полная полусферическая поглощающая способность стеклопакета в полосе солнечного излучения; $Q_{rad-net}$ – чистая внешняя излучательная мощность стеклопакета, Вт/м²

Уравнение теплового баланса собирающей пластины:

$$U_p(T_a - T_p) + h_{gp}(T_g - T_p) + (\tau\alpha)_p * G = 0, \quad (3)$$

где U_p – коэффициент теплопередачи между солнечным селективным поглотителем и окружающей средой, Вт/(м²·К) и $(\tau\alpha)_p$ – эффективное произведение пропускания – поглощения солнечного селективного поглотителя.

Температура жидкости на выходе СККТ задается следующим выражением [11, 12, 13]:

$$T_{fo} = T_a + Q_s/U_l + (T_{fi} - T_a - Q_s/U_l) \exp\left(\frac{-U_l.N.w.y.F'}{\dot{m}c_p}\right), \quad (4)$$

где T_a , T_{fi} и T_{fo} – температура окружающей среды, температура на входе и выходе жидкости соответственно, К; Q_s – падающее солнечное излучение на СККТ при суточном нагреве, Вт/м²;

U_l – общий коэффициент теплопотерь, \dot{m} – массовый расход жидкости, кг/с; C_p – удельная теплоемкость жидкости, Дж/(кг·К). N, w, u и F' – количество труб; расстояние между трубами, м; длина трубы, м; и коэффициент полезного действия собирающей пластины соответственно.

Для дневной работы СККТ $Q_s = (\alpha\tau) * G$ будет рассматриваться как падающее солнечное излучение, поглощенное собирающей поверхностью. Во время ночной работы солнца нет, поэтому $Q_s = 0$. Но именно в этот момент СККТ может излучать тепло, содержащееся в жидкости, циркулирующей в СККТ, в космос в диапазоне длин волн атмосферных окон. Таким образом, в уравнении (4) Q_s заменяется излучательным тепловым потоком Q_{rad} СККТ в космос. Выражение для радиационных тепловых потерь дано в [14]:

$$Q_{rad} = 4\varepsilon_p\sigma T_a^3(T_p - T_{sky}). \quad (5)$$

Таким образом, тепловая эффективность (F_R) и охлаждающая мощность (P_{cool}) оцениваются по следующим формулам [8], [15]:

$$F_R = \frac{\dot{m}c_p(T_{fo}-T_{fi})}{A_c[G*(\tau\alpha)_e-U_l(T_{fi}-T_a)]}, \quad (6)$$

$$P_{cool} = \frac{\dot{m}c_p(T_{fi}-T_{fo})}{A_c}. \quad (7)$$

Здесь A_c – полезная площадь коллектора, m^2 .

Для дневной работы с баком для хранения 120 л воды, подключенным к солнечному коллектору комбинированного типа, и расходом жидкости 0.008 кг/с получено, что после четырех часов работы (примерно к 10:52) температура воды в баке достигает 354 К (81 °С).

На рисунке 3 показано изменение различных температур окружающего воздуха, воды на выходе из коллектора и воды, хранящейся в баке, в зависимости от солнечной радиации при расходе воды 0.008 кг/с и объеме бака 120 л. Важное замечание здесь заключается в том, что, начиная с четырех часов времени после восхода Солнца, температура воды, хранящейся в баке, позволяет включить генератор одноступенчатой абсорбционной холодильной машины.

Для ночной работы комбинированного солнечного коллектора расход воды составляет 0.008 кг/с, а объем воды в баке составляет также 120 литров. На рисунке 4 приведено изменение температуры воды на выходе СККТ из бака хранения холодной воды.

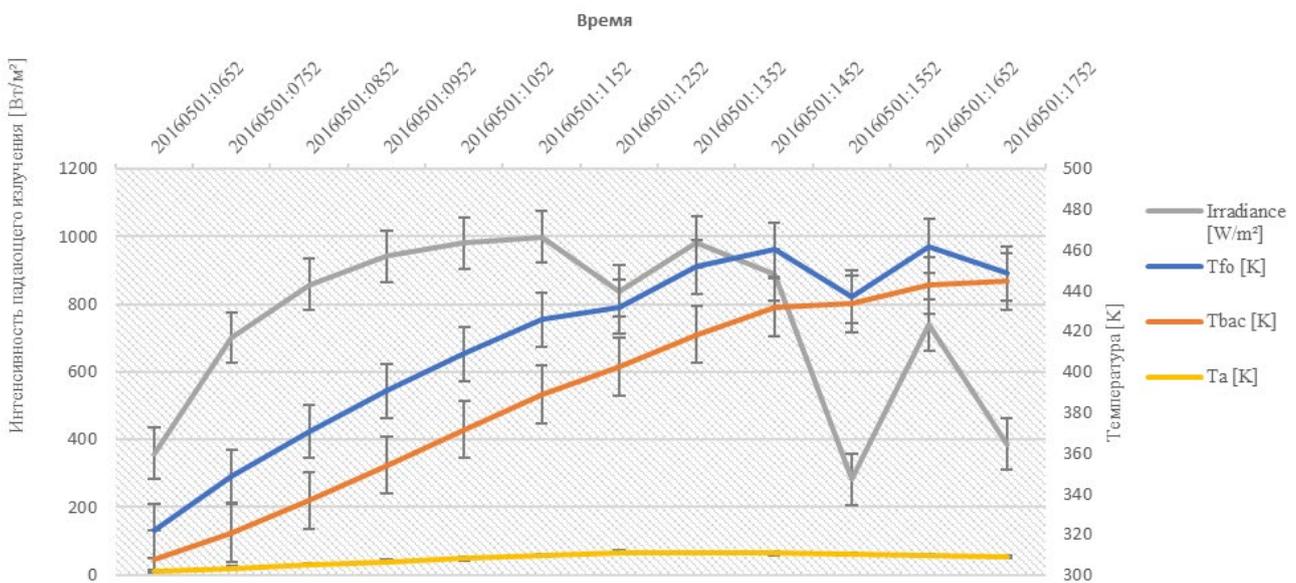


Рис. 3. Дневной режим работы коллектора

Средняя мощность охлаждения солнечного коллектора комбинированного типа составляет 164.7 Вт/м^2 при средней температуре окружающей среды 304.5 К и начальной температуре входа воды в коллектор 301 К . Снижение температуры окружающей среды в ночное время влияет на снижение температуры на выходе из СККТ. Изученный нами солнечный коллектор комбинированного типа позволяет снизить температуру 120-литрового бака на $16 \text{ }^\circ\text{C}$ во время его ночной работы. Холодная вода, хранящаяся в баке, может использоваться для охлаждения абсорбера и конденсатора одноступенчатой системы абсорбционного охлаждения.

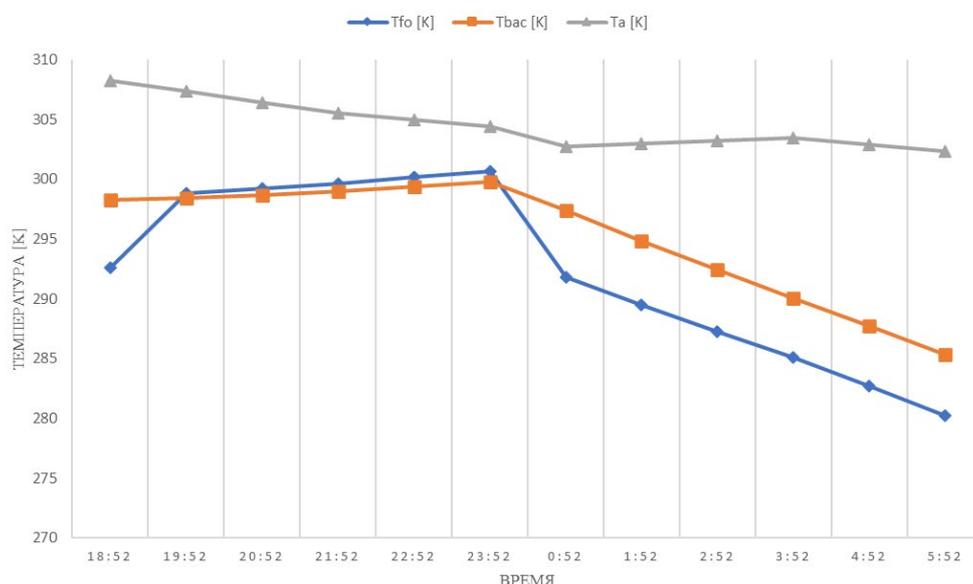


Рис. 4. Ночной режим работы коллектора

Таким образом, исследуемый СККТ имеет тепловую эффективность 60.2% , в то время как обычные нагревающие солнечные коллекторы имеют тепловую эффективность в диапазоне $70\% - 80\%$. Мощность охлаждения составляет 164.7 Вт/м^2 при расходе потока воды 0.008 кг/с . Результаты, полученные на этом этапе исследования, являются базовой информацией для расчета цикла абсорбционной холодильной машины с солнечным приводом. Эти системы наиболее перспективны для обеспечения теплового комфорта и хранения сельскохозяйственной и фармацевтической продукции в регионах с жарким климатом.

Литература

1. International Institute of Refrigeration, Solar Cooling '40th Informatory Note on Refrigeration Technologies' December-2020. 75017 Paris – France.
2. N. Jabbour, Intégration des systèmes à absorption solaire de petites puissances aux bâtiments-approche multifonction solaire : chauffage, ECS et rafraîchissement, Lyon, 2011.
3. D.S. Kim, C.A. Infante Ferreira, Solar refrigeration options – a state-of-the-art review, International Journal of Refrigeration, Volume 31, Issue 1, 2008, Pages 3-15, ISSN 0140-7007.
4. Ali Shirazi et al., Solar-powered absorption chillers: A comprehensive and critical review, Energy Conversion and Management, Volume 171, 2018, Pages 59-81, ISSN 0196-8904.
5. Hu, Mingke et coll. Etude numérique et validation expérimentale d'un collecteur combiné de chauffage solaire diurne et de refroidissement radiatif nocturne. Génie thermique appliqué 145 (2018): 1-13.
6. Hu, Mingke, et al. Feasibility research on a double-covered hybrid photo-thermal and radiative sky cooling module. Solar Energy 197 (2020): 332-343.
7. Zhao, Bin, et al. Conceptual development of a building-integrated photovoltaic–radiative cooling system and preliminary performance analysis in Eastern China. Applied energy 205 (2017): 626-634.

8. Hu, Mingke, et al. Field test and preliminary analysis of a combined diurnal solar heating and nocturnal radiative cooling system. *Applied energy* 179 (2016): 899-908.
9. Hu, Mingke, et al. Parametric analysis and annual performance evaluation of an air-based integrated solar heating and radiative cooling collector. *Energy* 165 (2018): 811-824.
10. Guo, Chao, et al. Numerical simulation and experimental validation of tri-functional photovoltaic/thermal solar collector. *Energy* 87 (2015): 470-480.
11. Granqvist, C. G., and A. Hjortsberg. Radiative cooling to low temperatures: General considerations and application to selectively emitting SiO films. *Journal of Applied Physics* 52.6 (1981) : 4205-4220.
12. Heidarinejad, Ghassem, Moien Farmahini Farahani, and Shahram Delfani. Investigation of a hybrid system of nocturnal radiative cooling and direct evaporative cooling. *Building and Environment* 45.6 (2010) : 1521-1528.
13. A. Brahim., Etude de performances d'un capteur solaire plan à eau, hal-01825548, 2016.
14. Erell, Evyatar, and Y. Etzion. Analysis and experimental verification of an improved cooling radiator. *Renewable Energy* 16.1-4 (1999): 700-703.
15. Allan, James, et al. Performance testing of thermal and photovoltaic thermal solar collectors. *Energy Science & Engineering* 3.4 (2015): 310-326.

УДК 621.564.2

СТРАТЕГИЯ РОССИИ ПО ОТКАЗУ ОТ ОЗОНОРАЗРУШАЮЩИХ ВЕЩЕСТВ И ПЕРЕХОДУ НА АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ХЛАДАГЕНТЫ

Карпова Н.Г.¹, Хамзина А.М.¹

Научный руководитель – к.т.н., доцент Кустикова М.А.¹

¹Университет ИТМО

Работа выполнена в рамках темы НИР №620159 «Разработка и исследование принципов построения цифрового анализатора фреонов».

В данной статье рассмотрена стратегия Российской Федерации по постепенному отказу от озоноразрушающих веществ и веществ, вызывающих парниковый эффект. Также рассмотрена возможность перехода на природные хладагенты, оценены их достоинства и недостатки, рассмотрены альтернативные данной группе веществ – гидрофторолефины.

Ключевые слова: хладагенты, фреоны, ГХФУ, гидрохлорфторуглероды, ГФУ, гидрофторуглероды, ГФО, гидрофторолефины, озоноразрушающие вещества, потенциал глобального потепления, природные хладагенты, аммиак, диоксид углерода, R717, R744.

Введение

Российская Федерация является стороной Венской конвенции [1] и Монреальского протокола [2] с 31 декабря 1991 года как правопреемник Союза ССР. Сокращение потребления и производства озоноразрушающих веществ (ОРВ) является мировой задачей, именно поэтому страны поддерживаются такими организациями, как ООН или ГЭФ. Статья 2 Монреальского протокола рассматривает способы регулирования и график постепенного отказа от ОРВ [2]. На период с 2021 года по 2030 года Российская Федерация обязуется полностью отказаться от озоноразрушающих веществ. Россия прошла уже несколько важных этапов постепенного отказа от ОРВ, в том числе и совместный проект с UNIDO/GEF/Минприроды РФ [3].

Основная часть

Именно совместный проект ЮНИДО/ГЭФ – Минприроды Российской Федерации «Поэтапное сокращение потребления гидрохлорфторуглеродов и стимулирование перехода на не содержащее гидрохлорфторуглероды (ГХФУ) энергоэффективное холодильное и климатическое оборудование в РФ» [3]. Проект вступил в силу в 2011 году и был направлен на содействие выполнения РФ обязательств по Монреальскому протоколу. Данный проект был подписан как помощь стране сохранить статус стороны-участника Монреальского протокола и поддержание показателей вплоть до 2015 года. Было поставлено две цели:

- непосредственный вывод из потребления ГХФУ 21, ГХФУ 22, ГХФУ 141b;
- ГХФУ 142b в объеме около 600 тонн озоноразрушающей способности к 2015 году;
- передача инновационных технологий для модернизации промышленных организаций, использующих ГХФУ в технологических операциях и производстве оборудования на основе гидрохлорфторуглеродов.

Обе задачи были успешно реализованы. Потребление ГХФУ было снижено на 90 %, что удовлетворяло желаемым показателям Монреальского протокола, было выведено из потребления 490 тонн из заявленных 600 тонн озоноразрушающей способности, а озонобезопасные технологии были переданы ведущим предприятиям в области холодильного оборудования и пеноматериалов. Проект был успешно завершен в 2015 году.

В следующий период с 2015 по 2019 год перед Российской Федерацией стояла задача сохранения успеха реализованного проекта и улучшения показателя отказа от гидрохлорфторуглеродов. В этот период ужесточилось давление на Российскую Федерацию со стороны мирового сообщества, что привело к кризису отрасли, поэтому были приняты решения, направленные на ее сохранение. Вследствие этого ужесточились требования к таможенной политике. Так как Российская Федерация является также участницей

Таможенного Союза ЕврАзЭС, она не имеет возможности принять постоянные меры на ограничение ввоза ГХФУ. Поэтому Российская Федерация в одностороннем порядке вводит ежегодные временные ограничения на ОРВ из перечня, который был утвержден решением Межгосударственного Совета ЕврАзЭС от 21 апреля 2015 года № 30 [5].

Так, Постановлением Правительства РФ №1137 от 29 июля 2020 года было разрешено ввозить на территорию страны в период с 7 сентября по 31 декабря 2020 года лишь ГХФУ- 141 b в объеме 60,609 метрических тонн [6]. В этот период импорт данного ГХФУ сократился почти в 20 раз. В 2020 году осталось разрешенным для импорта и экспорта всего два вида ОРВ: ГХФУ 22 отечественного производства и ГХФУ 141b, импортируемый в страну. Данная политика оказалась успешной в заданный период времени, и объем потребления ОРВ в период с 2015 по 2019 год составлял до 399,69 тонн озоноразрушающей способности (ОРС) ежегодно. По заявлениям главы Минприроды РФ, к 2029 году показатель ОРС планируется снизить в 18,5 раз: максимальный уровень потребления ожидается 19,98 тонн ОРС ежегодно, а по прогнозу 15 – 19 тонн ОРС ежегодно. С 1 января 2030 года данный показатель должен полностью сократиться до нулевых показателей потребления веществ, обладающих озоноразрушающей способностью.

Полный отказ от ОРВ к 2030 году стимулирует разработку альтернативных хладагентов, не разрушающих озоновый слой. Также важно, что Постановлением Правительства от 25 марта 2020 года №333 Российская Федерация приняла Кигалийскую поправку в дополнение к Монреальскому протоколу, регулиующую потенциал глобального потепления, а соответственно, и потребление гидрофторуглеродов (ГФУ) [7, 8]. Данная поправка призвана смягчить изменение климата путем удержания потепления атмосферы в пределах 2,0 – 1,5 °C за счет уменьшения воздействия парниковых газов. При принятии Кигалийской поправки Минприроды России добилась особых условий для Российской Федерации в отношении расчета базовой линии для сокращения потребления ГФУ. А значит, при расчете альтернативных хладагентов необходимо учитывать не только озоноразрушающую способность, но и потенциал глобального потепления.

Наиболее популярными сейчас являются природные хладагенты, к которым относятся аммиак, диоксид углерода, пропан и изобутан. Группа данных веществ обладает высокой эффективностью и отсутствием негативного влияния на озоновый слой и климат. По заявлению Минприроды России, длительность отказа от ГФУ и перехода на природные хладагенты для России будет составлять около 20 лет.

Сейчас в холодильных системах чаще всего среди природных хладагентов используется аммиак. Он полностью безопасен для окружающей среды: потенциал глобального потепления равен нулю также, как и потенциал разрушения озонового слоя. Но нельзя отрицать, что эти показатели не учитывают опасности и вреда для человека: что водный, что газообразный аммиак вызывает раздражение слизистых оболочек и кожных покровов. Кроме того, аммиак обладает классом опасности B2L, что означает его высокую токсичность и низкую воспламеняемость (4-й класс опасности по ГОСТ 12.1.007 [9]). Очень важно также учитывать конструкторские особенности системы, использующей в качестве рабочего тела аммиак. Так как пары аммиака являются горючими, то существуют ограничения количества рабочего вещества в системе, запрет на использование герметичных компрессоров и установка холодильной машины на аммиаке внутри помещения. Все это накладывает особые требования к компетенции обслуживающего персонала, размещение системы и к технике безопасности при работе с подобными холодильными машинами.

Вторым по частоте использования является диоксид углерода, который также безопасен для окружающей среды, но не так прост в использовании. Системы на диоксиде углерода находятся под высоким давлением. Это означает, что при утечке газ быстро заполняет пространство и становится опасным для режима производства, жизни и здоровья персонала. Таким образом, требуется повышенное внимание к подобным системам в процессе их эксплуатации и обслуживании.

Использование природных хладагентов является огромным преимуществом в заботе об окружающей среде. Они обладают нулевыми потенциалами разрушения озонового слоя и глобального потепления, нет обязательной отчетности перед государством за количество использованного вещества, утечка не облагается штрафами. Но существует и ряд минусов, который чаще всего умалчивается: контроль государства на конструкцию и иногда расположение системы, ужесточенные требования к безопасности и квалификации кадров, сложная утилизация рабочего вещества, угроза жизни и здоровью человека.

Существует альтернатива и природным хладагентам – это гидрофторолефины (ГФО). Данная группа веществ обладает нулевым потенциалом разрушения озонового слоя и незначительным потенциалом глобального потепления по сравнению с ГХФУ И ГФУ (снижение ПГП на 56 % по сравнению с R 134a). При этом данные вещества можно считать безопасными для человека, не имеющими значительных вторичных неблагоприятных воздействий на окружающую среду, с низкой токсичностью и невоспламеняемостью.

В настоящий момент передовыми разработками в области альтернативных хладагентов занимается крупнейший холдинг холодильной промышленности Daikin. Еще в 2012 году данная компания выпустила на рынок ГФУ нового поколения – диформетан R32. Данный ГФУ отличается сниженным показателем глобального потепления и возможностью его вторичного использования. Так, в 2023 году компания Daikin планирует начать коммерциализацию нового хладагента на основе гидрофторолефинов, которые заменят R32. Это говорит о том, что ГФО остается перспективной и безопасной для человека заменой ГХФУ И ГФУ. Однако в Российской Федерации не предусмотрено внедрение гидрофторолефинов в ближайшие 20 лет, хотя патенты в России по интегрированию гидрофторолефинов в существующее холодильное оборудование зарегистрированы.

Если проводить сравнительный анализ существующих хладагентов, то можно обратить внимание на то, что предпочтение, отводимое аммиаку в России, не вполне может считаться обоснованным. Сравнительная таблица по существующим хладагентам представлена ниже.

Таблица. Сравнительная таблица существующих хладагентов

Хладагент	R12	R32	R717	R744	ГФО R1243yf R1234ze
Класс опасности	B2L	A2L	B2L	B2L	A2L
Озоно-разрушающий потенциал	1	0	0	0	0
Потенциал глобального потепления	8500	675	0	1	4-6
Температура насыщения, °С	-30	-52	-33	-78	-19 -29.5
Достоинства		повторное использование, дешевизна, энергоэффективность	резкий запах, быстрая окупаемость системы, дешевизна обслуживания		низкий ПГП, негорючесть
Недостатки		Высокотоксичный продукт разложения	токсичность, малый объем заправки, необходимость особых конструктивных решений		дороговизна обслуживания
Преобразование системы		необходим только коллектор	полное переоснащение системы	полное переоснащение системы	использование отработанной технологии

Из таблицы видно, что по классам опасности природные хладагенты находятся на том же уровне, что и хлорфторуглерод (R12). Если допустить, что потенциал глобального потепления пока не является первостепенной проблемой, то стоит обратить внимание на гидрофторолефины и их характеристики, так как основным недостатком ГФО можно считать именно отсутствие опыта их использования, высокая стоимость самой системы и ее переоснащения.

Заключение

Проанализировав все данные, мы можем увидеть, что ППП не является главной проблемой. Мы упускаем из вида стоимость самой системы, её переоснащения и токсичность. Политика Российской Федерации относительно аммиака и его лидирующих позиций, вероятно, не вполне оправдана. И хотя аммиак широко используется (с 2019 года активизировано строительство аммиачных заводов по стране), имеет смысл обратить внимание на такие вещества, как R32 и гидрофторолефины.

Прогнозы и имеющаяся статистика говорит о том, что необходимо стимулирование разработки природных хладагентов и их альтернатив, укрепление правоохранительной системы, усовершенствование технических средств по контролю озоноразрушающих веществ и постоянное наблюдение за химической безопасностью Российской Федерации.

Очевидно, что на сегодняшний день более перспективно направление развития именно в сторону альтернативных хладагентов. Но для этого России необходимо преодолеть ряд проблем, среди которых:

- Неоправданно жесткие требования, которые приводят к ограничению использования хладагентов и, как результат, к чрезмерному удорожанию оборудования. В результате многие потребители вынуждены склониться в сторону более дешевых, но более токсичных химических импортных аналогов.
- Отсутствие интереса на уровне Государства к производству гидрофторолефинов, несмотря на имеющиеся патентные исследования (в частности, у Университета ИТМО).
- Игнорирование необходимости актуализировать нормативную документацию. С момента удачного завершения совместного Проекта Минпроды и ЮНИДО вся законодательная база находится на уровне поддержания существующего уровня.
- Низкая квалификация кадров по работе с альтернативными хладагентами.

Литература

1. Венская конвенция об охране озонового слоя. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.un.org/ru/documents/decl_conv/conventions/ozone.shtml (Дата обращения: 01.04.2021).
2. Монреальский протокол по веществам, разрушающим озоновый слой. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.un.org/ru/documents/decl_conv/conventions/montreal_prot.shtml (Дата обращения: 01.04.2021).
3. Буклет проекта ЮНИДО/ГЭФ-Минприроды России № GF/RUS/11/001 «Поэтапное сокращение потребления гидрохлорфторуглеродов и стимулирование перехода на не содержащее гидрофторуглероды энергоэффективное холодильное и климатическое оборудование в Российской Федерации посредством передачи технологий». [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.unido.ru/upload/files/b/buklet_proekta_hcfc.pdf (Дата обращения: 01.04.2021).
4. Карточка проекта ЮНИДО/ГЭФ-Минприроды России № GF/RUS/11/001. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.unido.ru/programmes/projects_unido/consumption_ghfu/ (Дата обращения: 01.04.2021).
5. Решение Комиссии Таможенного союза № 30 от 21.04.2015 Приложение 1 «Перечень товаров, в отношении которых установлен запрет ввоза на таможенную территорию евразийского экономического союза и (или) вывоза с таможенной территории

евразийского экономического союза». Доступ из справочно-правовой системы «КонсультантПлюс».

6. Постановление Правительства Российской Федерации №1137 от 29.07.2020 «О введении временного количественного ограничения на ввоз озоноразрушающих веществ в Российскую Федерацию в 2020 году». Доступ из справочно-правовой системы «КонсультантПлюс».
7. Постановление Правительства Российской Федерации №333 от 25.03.2020 «О принятии Российской Федерацией поправки к Монреальскому протоколу по веществам, разрушающим озоновый слой». Доступ из справочно-правовой системы «КонсультантПлюс».
8. Информационный листок Кигалийская поправка к Монреальскому протоколу о веществах, разрушающих озоновый слой. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://ozoncenter.kg/wp-content/uploads/2018/02/Kigali-Amendment-7.pdf>. (Дата обращения: 01.04.2021).
9. ГОСТ 12.1.007-76 Система стандартов безопасности труда. Квалификация и общие требования безопасности.

УДК 536.212.2

**АНАЛИЗ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ
ТЕПЛОВОГО КОНТАКТНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ОРЕБРЕННЫХ
БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ТРУБ АППАРАТОВ ВОЗДУШНОГО
ОХЛАЖДЕНИЯ**

Киляшов А.А.¹

Научный руководитель – д.т.н., профессор Баранов И.В.¹

¹Университет ИТМО

Выполнен анализ температурного поля оребренных биметаллических труб аппаратов воздушного охлаждения при нагреве через внутреннюю и наружную поверхности трубы в условиях квазилинейного разогрева. Получены математические модели, позволяющие определить термическое сопротивление на контактных поверхностях труб.

Ключевые слова: биметаллические трубы, измерение теплового контактного сопротивления, оребрение, температурное поле, тепловое контактное сопротивление.

На тепловой режим узлов и деталей различных энергетических установок значительное влияние оказывает термическое контактное сопротивление (ТКС), возникающее по причине несовершенства механического соединения контактирующих поверхностей [1].

В нефте- и газоперекачивающей промышленности широко используются теплообменные аппараты воздушного типа охлаждения. Основным конструктивным элементом таких аппаратов является оребренные биметаллические трубы (БМТ).

Для определения ТКС оребренных БМТ существуют две основные группы методов: косвенные и прямые (тепловые). Из детального обзора и анализа этих методов можно сделать вывод о том, что число методов определения ТКС биметаллических труб теплообменных аппаратов весьма немногочисленно. На предприятиях-изготовителях нашли применение только два метода: косвенный разрушающий метод «выпрессовки» и стационарный неразрушающий тепловой метод [2]. Остальные же методы не обеспечивают высокой надежности и качества измерений из-за их невысокого уровня метрологических показателей [3]. Следовательно, не перестает существовать потребность экспериментального определения ТКС оребренных биметаллических труб. Требуется простой в эксплуатации, надежный и быстрый метод неразрушающего контроля их термического контактного сопротивления. Поэтому в поисках решения данной задачи стоит обратиться к нестационарным методам контроля ТКС.

При измерении ТКС методами нестационарного контроля делается допущение о том, что температурные поля во внутренней и наружной трубах остаются равномерными в течении опыта. Данное предположение необходимо подробно рассмотреть и проанализировать, поэтому рассмотрим температурное поле БМТ при квазилинейных условиях разогрева. Разогрев трубы тепловым потоком через внешнюю и наружную поверхности следует рассматривать отдельно, при этом предполагая, что противоположная поверхность трубы в каждом случае находится в адиабатических условиях, т.е. не обменивается теплом с окружающей средой. Такие граничные условия вполне соответствуют картине реальных опытов, например в импульсных методах измерения ТКС.

В процессе работы теплообменного оборудования ребра подвергаются конвективному теплообмену с окружающим их воздухом. Конвекция может быть как вынужденной, так и свободной. Таким образом, неравномерное температурное поле внутри ребер будет являться одномерным радиальным.

При анализе радиального распределения температуры внутри ребра рассмотрим сектор биметаллической трубы, состоящий из тонкого кольца, плоские поперечные грани которого проходят через половину межреберного расстояния (рис. 1). Боковые поверхности ребер пребывают в конвективном теплообмене с окружающим воздухом. Оставшиеся поверхности в процессе теплообмена участия не принимают.

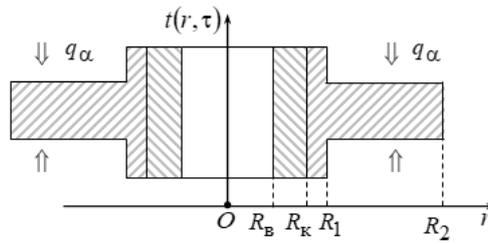


Рис. 1. Сектор биметаллической трубы

Чтобы облегчить математические выражения, анализ проводится в допущении, что в кольцах внешней и внутренней труб сохраняются равномерные температурные поля. Это предположение является уместным, так как поперечные границы поверхностей кольца в рассматриваемой области находятся в адиабатических условиях, поэтому на их температурные поля может оказывать влияние только теплоемкость ребер. Также отметим, что нагрев кольца осуществляется квазилинейно во всех его точках с равной скоростью. Отсюда следует, что температурное поле ребра $t(r, \tau)$ в данном случае опишется одномерным уравнением теплопроводности

$$\frac{d^2 t}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{dt}{dr} + \frac{q_\alpha}{\lambda \delta} = \frac{b}{a}, \quad (1)$$

где q_α – удельный тепловой поток, влияющий на поверхности ребра в процессе конвективного теплообмена с окружающим воздухом Вт/м²; λ – теплопроводность материала, Вт/м·К; δ – толщина ребра; b – скорость линейного разогрева, К/с; a – температуропроводность, м²/с. Поток q_α в период измерения, как и скорость b разогрева ребра, остается практически неизменным, и является положительным, если ребро нагревается окружающим воздухом, и отрицательным, если охлаждается.

Чтобы непосредственно проинтегрировать уравнение (1), требуются назначить два граничных условия. Учитывая, что наружная поверхность ребра в теплообмене не чувствует, то температурное поле $t(r, \tau)$ ребра в обоих случаях разогрева (наружном и внутреннем) образуется под воздействием общего граничного условия

$$\frac{dt(R_2, \tau)}{dr} = 0, \quad (2)$$

где R_2 – наружный радиус ребра, м.

Что касается второго граничного условия, то примем во внимание, что температура основания ребра измеряется в течение опыта, поэтому нам известна и запишется как

$$t(R_1, \tau) = t_1(\tau), \quad (3)$$

где R_1 – внутренний радиус ребра, м

Решение уравнения теплопроводности (1) при определенных граничных условиях (2) и (3) имеет вид

$$t(r, \tau) = t_1(\tau) - \frac{\omega}{4} \left[2R_2^2 \ln \frac{r}{R_1} - (r^2 - R_1^2) \right], \quad (4)$$

где введено обозначение

$$\omega = \left(\frac{b}{a_H} - \frac{q_\alpha}{\lambda_H \delta} \right), \quad (5)$$

где $a_H \lambda_H$ – температуропроводность и теплопроводность материала наружной трубы, соответственно.

Условия теплообмена ребер при внутреннем и наружном разогревах трубы неодинаковы, поэтому рассмотрим каждый из них отдельно.

В процессе разогрева трубы через внутреннюю поверхность ее ребра имеют почти ту же температуру, что и окружающая их среда. Удельный тепловой поток на этих поверхностях $q_\alpha = 0$. Поверхность можно считать теплоизолированной. Распределение температурного поля в момент времени τ при разогреве трубы через внутреннюю поверхность изображено на рисунке 2.

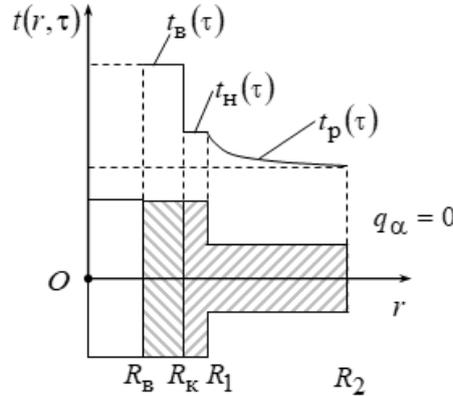


Рис. 2. Распределение температурного поля в момент времени τ при разогреве трубы через внутреннюю поверхность изображено

Температурное поле ребра при разогреве трубы через внутреннюю поверхность подчиняется зависимости:

$$t(r, \tau) = t_1(\tau) - \frac{b}{4a} \left[2R_2^2 \ln \frac{r}{R_1} - (r^2 - R_1^2) \right]. \quad (6)$$

Из полученной выше формулы определится величина запаздывания температуры по высоте ребра при разогреве биметаллической трубы через внутреннюю поверхность:

$$\tau_p = \frac{t_1(\tau) - t(R_2, \tau)}{b} = \frac{1}{4a} \left[2R_2^2 \ln \frac{R_2}{R_1} - (R_2^2 - R_1^2) \right]. \quad (7)$$

В условиях наружного нагрева трубы ее ребра подвергаются воздействию горячего потока воздуха. Элементарное кольцо БМТ нагревается через боковые грани ребер тепловым потоком q_α (рис. 1). Распределение температурного поля в момент времени τ при разогреве трубы через наружную поверхность изображено на рисунке 3.

Линейный разогрев кольца подчиняется следующему уравнению:

$$q_\alpha \pi (R_2^2 - R_1^2) = C_k b, \quad (8)$$

где C_k – полная теплоемкость выделенного кольца трубы, Дж/К.

Обозначение ω будет иметь следующий вид:

$$\omega = \frac{b}{a} - \frac{q_\alpha}{\lambda \delta} = -\frac{b}{a} \left[\frac{C_k}{\pi (R_2^2 - R_1^2) c \rho \delta} - 1 \right], \quad (9)$$

где c – полная теплоемкость трубы, Дж/К; ρ – плотность материала трубы, кг/м³.

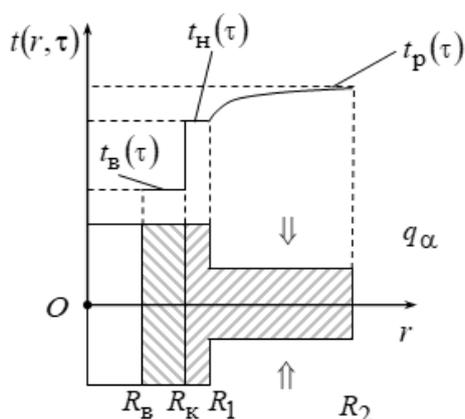


Рис. 3. Распределение температурного поля в момент времени t при разогреве трубы через наружную поверхность

Подставляя выражение (9) в функцию (4), получаем интересующее нас выражение для температурного поля ребра при наружном нагреве:

$$t(r, \tau) = t_1(\tau) + \frac{b}{4a} \left[\frac{C_k}{\pi(R_2^2 - R_1^2) c_p \delta} - 1 \right] \left[2R_2^2 \ln \frac{r}{R_1} - (r^2 - R_1^2) \right]. \quad (10)$$

Следовательно, запаздывание температуры по высоте ребра при наружном нагреве определяется соотношением:

$$\tau_p = \frac{1}{4a} \left[\frac{C_k}{\pi(R_2^2 - R_1^2) c_p \delta} - 1 \right] \left[2R_2^2 \ln \frac{R_2}{R_1} - (R_2^2 - R_1^2) \right]. \quad (11)$$

Результаты показывают, что в оребренных биметаллических трубах перепад температуры по длине ребра, в сравнении с гладкими трубами, оказывается сопоставим с перепадом температуры на контактной поверхности между трубами, в частности, при нагреве через наружную поверхность БМТ. Таким образом, это обстоятельство должно быть учтено при креплении температурного датчика к наружной трубе. Предположение о том, что температуры равномерно распределены в течении опыта, оправдано как при нагреве через наружную, так и внутреннюю поверхности нагрева.

Литература

1. Попов В. М. теплообмен в зоне контакта разъемных и неразъемных соединений. М., Энергия, 1971, 216 с.
2. Бессонный Е. А. Теория и методы измерения теплового контактного сопротивления в биметаллических теплообменных трубах: специальность 01.04.14 «Теплофизика и теоретическая теплотехника»: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Бессонный Евгений Анатольевич, Санкт-Петербургский государственный университет низкотемпературных и пищевых технологий. – Санкт-Петербург, 2005 – 16 с. Текст: непосредственный.
3. Баранов И. В. Теория, методы и средства комплексного исследования теплофизических свойств в режиме разогрева-охлаждения: специальность 01.04.14 «Теплофизика и теоретическая теплотехника»: диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Баранов Игорь Владимирович; ГОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный университет низкотемпературных и пищевых технологий». – Санкт-Петербург, 2007. – 334 с. – Библиогр.: с. 220 – 304. – Текст: непосредственный.

УДК 504

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ БИОРАЗЛОЖЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ В УСЛОВИЯХ КОМПОСТИРОВАНИЯ

Кузнецова А.П.¹

Научный руководитель – к.т.н., доцент Молодкина Н.Р.¹

¹Университет ИТМО

Работа выполнена в рамках темы НИР № 620147 «Получение вторичных сырьевых и энергетических ресурсов на основе принципов Циркулярной экономики».

В работе представлены результаты постановки эксперимента оценки биоразложения исследуемого сертифицированного биоразлагаемого материала, согласно международным стандартам ISO 17556 и D5988 – 12. Апробированы все стадии эксперимента и представлены промежуточные результаты.

Ключевые слова: биоразлагаемые материалы, биоразложение, компостирование, степень биоразложения, контролируемое компостирование.

Ежегодное производство пластика в мире достигло значения 359 миллионов тонн, в то время как количество пластиковых отходов к 2050 году достигнет 26 миллиардов тонн. При этом более половины этих пластиковых отходов попадут в окружающую среду [1]. Из-за длительного периода разложения и сопутствующих ему химических выбросов пластмассы оказывают пагубное влияние как на живых существ, так и на экосистемы. Запрет на одноразовые пластмассовые изделия (пакеты, посуда) частично помогает снизить общее потребление пластика. Тем не менее, остается большое количество других пластмассовых изделий, кроме того, запреты на использование одноразового пластика введены в ограниченном числе стран на разные его виды. Биоразлагаемые материалы могут рассматриваться как замена традиционному пластику [2]. Кроме того, постепенно развивается концепция экономики замкнутого цикла. Биоразлагаемые материалы, получаемые из отходов агропромышленного комплекса, и их утилизация посредством компостирования с получением нового продукта – компоста могут быть рассмотрены как элемент циркулярной экономики.

Основной проблемой внедрения биоразлагаемых материалов в России является отсутствие четко сформулированной методики определения биоразложения и также сертифицированных центров оценки биоразложения. В связи с этим биоразлагаемые материалы, представленные на рынке, либо сертифицированы за границей, либо не сертифицированы вовсе, что, несомненно, сказывается на их способности к биоразложению. Это обуславливает необходимость разработки лабораторных методик контролируемого компостирования для подтверждения свойств биоразлагаемых материалов. Первостепенными задачами проведенной работы являлось: провести анализ существующих методик; выбрать наиболее перспективную методику; поставить эксперимент согласно выбранной методике.

После проведения подробного аналитического обзора существующих российских и международных стандартов и исследований для постановки методики оценки биоразложения были выбран международный стандарт ISO 17556 (D5988–12 в американской системе стандартизации). Данная методика является одной из самых используемых в современных исследованиях биоразложения, не требует дорогостоящих процедур анализа, крупных материальных затрат, легка в исполнении, в связи с чем может считаться наиболее перспективной для широкого использования [3,4]. Кроме того, способность к биоразложению оценивается в контролируемых условиях в смеси почвы и зрелого компоста. Биоразложение материала оценивается по выделению углекислого газа в результате жизнедеятельности микроорганизмов субстрата. Анализ выделяющегося углекислого газа осуществляется с помощью абсорбционных ловушек в течение всего времени проведения эксперимента.

Важно учитывать, что проведение экспериментов по оценке биоразложения занимает значительное количество времени – один анализ проводится до 6 месяцев. На данном этапе

работы представлены все основные этапы постановки методики, включая снятие первых результатов.

Проведение оценки биоразложения можно представить схемой стадий, изображенной на рисунке 1. Проведенная работа была начата с аналитической подготовки – изучения существующих методик и стандартов, подбор оборудования и посуды. Следующие этапы работы являются стадиями постановки методики и подробно описаны далее.



Рис. 1. Схема стадий проведения эксперимента по оценке биоразложения

Первый этап постановки методики заключался в подготовке смеси субстрата. Смесь субстрата была подготовлена согласно стандарту ISO 17556 и состояла из смеси проб почвы и зрелого компоста (25:1). Пробы были отобраны согласно стандартизированным методикам. Оба компонента до смешения были высушены и просеяны через сито с ячейкой 2 мм для придания однородности. Были определены влажность, влагоудерживающая способность почвы и ее pH. Значение pH почвы должно быть нейтральным для обеспечения наилучших условий жизнедеятельности микроорганизмов. Также нейтральное значение pH не оказывает значительного влияния на выделение углекислого газа. Измеренные величины представлены в таблице.

Таблица. Характеристики почвы

Влажность, %	Влагоудерживающая способность, %	pH
9,4	82,2	7,3

Следующая стадия – подготовка материала – включает в себя измельчение исследуемого материала. В качестве исследуемого материала использовались крышечки от кофейных стаканов, заявленные как биоразлагаемые со сроком биоразложения до 3 месяцев. Крышечки, как и стаканчики для кофе, отмечены сертификацией «Seeding», изображенной на рисунке 2. Сертификация «Seeding» подтверждает свойства биоразлагаемого материала. Материал, обладающий сертификацией, должен полностью разложиться до углекислого газа и воды.



Рис. 2. Изображение сертификации на исследуемом материале

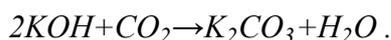
Материал был измельчен на кусочки площадью 1 см². В качестве эталонного материала был использован кукурузный крахмал.

На стадии начала эксперимента смесь субстрата с материалом погружалась в емкости для проведения эксперимента. В качестве емкостей были использованы стеклянные герметичные банки объемом 3,3 л. Количество емкостей составило девять: 3 – для материала и субстрата; 3 – для эталонного материала и субстрата; 3 – для субстрата. Наличие емкостей, заполненных только субстратом, позволяло определить фоновое количество выделяемого углекислого газа. В каждую банку было помещено 500 грамм почвы и 20 грамм зрелого компоста. Массы исследуемого и эталонного материала составили 6,5 г. В каждую емкость для поддержания влажности в почве и создания благоприятных условий для микроорганизмов было добавлено 157,6 г воды (70% влагоудерживающей способности). Для улавливания выделяющегося в ходе биоразложения углекислого газа в каждую емкость была установлена абсорбционная ловушка – стаканчик с КОН с концентрацией 0,535 N. Также в емкости был установлен стаканчик с водой. Заполненные емкости представлены на рисунке 3.

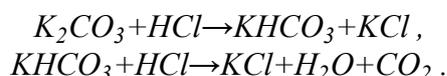


Рис. 3. Емкости с субстратом и ловушкой углекислого газа

В настоящий момент проводимый эксперимент находится на последней стадии – анализ CO₂. Она подразумевает под собой определение количества выделившегося в процессе биоразложения углекислого газа с заданной частотой (первые 2-3 недели 2 раза в неделю, далее 1 раз в неделю). Определение количества углекислого газа ведется в течение всего эксперимента, вплоть до 6 месяцев. CO₂ является косвенным показателем биоразложения. Для определения количества поглощенного ловушкой углекислого газа используется титрование HCl с индикаторами до достижения плато на кривой титрования. На стадии анализа первых результатов была обнаружена неточность в описанной в стандарте методики. Так, стандарт предполагает титрование оставшегося КОН соляной кислотой до точки эквивалентности фенолфталеина. Однако в результате проведения такого титрования были получены неоднозначные результаты. В ходе анализа методики титрования было обнаружено, что стандарт не учитывает наличие второй точки эквивалентности при титровании. Ниже представлены протекающие реакции при абсорбции:



При титровании:



Для дальнейшего контроля эксперимента используется титрование с двумя индикаторами: метилоранжем и фенолфталеином. Количество щелочи определяется по

первой точке эквивалентности (переход фенолфталеина), количество углекислого газа – по второй точке эквивалентности (переход метилоранжа). В дальнейшем для улучшения точности планируется тестирование других методик титрования.

В ходе работы были апробированы все стадии методики оценки биоразложения, подобрано оборудование, начаты анализ выделения углекислого газа и определение недостатков опробованных этапов методики. Ожидается получение результатов титрования для получения исчерпывающей информации для оценки биоразложения взятого материала.

На данном этапе проведения эксперимента однозначно можно утверждать об экономичности и простоте методики. Для проведения анализа не требуется дорогое оборудование и сложные процедуры. Особенностью методик оценки биоразложения является длительность проводимых экспериментов – один эксперимент занимает срок до 6 месяцев. Кроме того, несовершенство описания методики анализа углекислого газа может давать неточные результаты. В дальнейшем планируется усовершенствовать методику титрования, обеспечив еще большую точность, проанализировать получаемые результаты и провести оценку биоразложения исследуемого материала и применимости методики по завершении эксперимента.

Литература

1. Zhu J., Wang C. Biodegradable plastics: Green hope or greenwashing? // *Marine Pollution Bulletin*. Elsevier Ltd, 2020. Vol. 161.
2. Klein F. et al. Influencing factors for the purchase intention of consumers choosing bioplastic products in Germany // *Sustainable Production and Consumption*. Elsevier B.V., 2019. Vol. 19. P. 33–43.
3. Mistriotis A., Papadaki N.G., Provata A. Biodegradation of Cellulose in Laboratory-Scale Bioreactors: Experimental and Numerical Studies // *Journal of Polymers and the Environment*. Springer New York LLC, 2019. Vol. 27, № 12. P. 2793–2803.
4. Briassoulis D., Mistriotis A. Key parameters in testing biodegradation of bio-based materials in soil // *Chemosphere*. Elsevier Ltd, 2018. Vol. 207. P. 18–26.

УДК 628.477.8

ОЦЕНКА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ПРЕВРАЩЕНИЯ ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ В ЭНЕРГИЮ**Забелина А.В.¹, Кузнецова Е.А.¹****Научный руководитель – к.т.н., доцент Сергиенко О.И.¹**¹Университет ИТМО

Работа выполнена в рамках темы НИР №620147 «Получение вторичных сырьевых и энергетических ресурсов на основе принципов циркулярной экономики»

В работе рассматриваются вопросы энергетической утилизации твердых коммунальных отходов (ТКО) путем термического обезвреживания с получением энергии. Приводится состав ТКО в Санкт-Петербурге и получаемого из них RDF-топлива. Результаты расчетов позволили провести сравнительную оценку простого сжигания ТКО и утилизации RDF с получением тепловой энергии, подтверждающую, что по показателям тепловой мощности, расходу водяного пара и горячей воды применение RDF является наиболее энергоэффективным.

Ключевые слова: энергоэффективность, альтернативная энергия, утилизация отходов, твердые коммунальные отходы, RDF-топливо.

Ежегодно в России образуется более 65 млн т коммунальных отходов, и прогнозы говорят об их ежегодном увеличении на 0,5% [1]. Количество отходов производства и потребления, направляемых на полигоны, продолжает увеличиваться с каждым годом. При этом утилизации подвергается только 5 – 7% отходов [2]. Технологии утилизации твердых коммунальных отходов применяются пока еще только в некоторых регионах страны, что подтверждает актуальность проведения комплексной оценки эффективности методов утилизации и переработки отходов, а также влияния технологий, продукции и отходов производства на окружающую среду.

Целью данной работы является предварительная сравнительная оценка энергетической эффективности получения энергии из RDF-топлива и твердых коммунальных отходов.

Задачами работы являются рассмотрение состава RDF-топлива, получаемого из ТКО, на примере Санкт-Петербурга; определение показателей энергоэффективности при сжигании ТКО и RDF-топлива; выполнение сравнительной оценки влияния состава сжигаемого топлива на показатели энергетической эффективности.

Расчет показателей энергоэффективности процесса термического обезвреживания твердых коммунальных отходов и RDF проводился на основании их элементного состава.

Усредненный состав ТКО Санкт-Петербурга представлен в таблице 1. Состав RDF-топлива напрямую зависит от локальной системы обращения с отходами и их состава в данной местности. При сортировке твердых коммунальных отходов на мусоросортировочном заводе удаляются ценные фракции с целью вторичного использования.

Таблица 1. Усредненный компонентный состав ТКО г. Санкт-Петербург

Компоненты	% от массы
Бумага и картон	38
Пищевые отходы	30
Целлюлоза (древесина)	1,5
Текстиль	5,5
Кожа и резина	1,3
Полимерные материалы	5,5
Кости	0,7
Цветные и черные металлы	3
Стекло	4,3
Минералы (камни)	1,4
Отсев грохочения	8,8

Неутилизируемая фракция - остатки полимеров, бумага, картон, текстиль, кожа, резина, дерево – может быть направлена на производство RDF-топлива. Его типовой состав представлен в таблице 2.

Таблица 2. Типовой состав RDF-топлива из отходов

Показатель	Обозначение показателя	Ед. изм.	Состояние топлива	
			рабочее	сухое
1 Общая влага	W_t	%	23,9-37,0	2,0-3,6
2 Зольность	A	%	6,7-10,36	9,0-14,2
3 Летучие вещества	V	%	-	64,0-80,0
4 Низшая теплота сгорания	Q_p^n	кал/кг Мдж/кг	3120 13,07	4391-6269 18,38-26,25
5 Углерод	C	%	-	46,0-55,0
6 Водород	H	%	-	6,30-8,50
7 Азот	N	%	-	0,10-0,54
8 Сера	S	%	-	0,20-0,80
9 Хлор	Cl	%	-	0,04-0,80
10 Фтор	F	ppm	-	47,0-65,0
11 Ртуть	Hg	мг/МДж	-	0,01-0,08

Твердые коммунальный отходы и RDF-топливо, полученное их них, может быть утилизировано с целью получения энергии в инсинераторе барабанного типа, а также в котле для твердого топлива.

Вариант утилизации с применением инсинератора барабанного типа, а также котла-утилизатора представлен на рисунке 1.

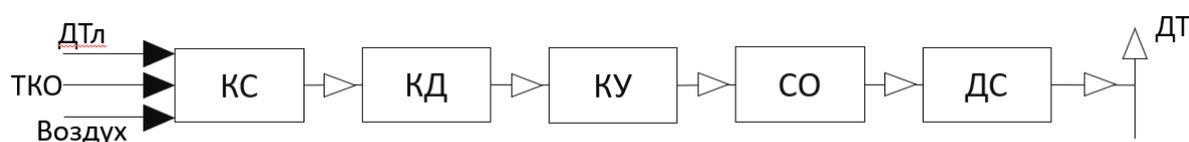


Рис. 1. Принципиальная технологическая схема системы энергетической утилизации ТКО и RDF: КС - камера сгорания; КД - камера догорания; КУ- котел-утилизатор; СО - система очистки дымовых газов; ДС - дымосос; ДТ - дымовая труба; ДТл - дополнительное топливо

В камере сгорания (КС) происходит сам процесс термической утилизации топлива, наиболее оптимальная температура 1200 °С достигается в камере догорания (КД). Далее горячие дымовые газы поступают в котел-утилизатор теплоты, после чего происходит очистка газов и выброс их в атмосферу через дымовую трубу.

Расчеты показателей энергоэффективности систем термической утилизации ТКО и RDF были проведены по стандартным методикам. Расходные характеристики энергетической утилизации ТКО и RDF были рассчитаны при (их расходе) производительности 1000 кг/ч. В качестве дополнительного топлива для поддержания процесса горения было принято дизельное топливо, потери теплоты - 5 %, температура прямого и обратного потоков горячей воды - 120 и 105 °С соответственно, температура питательной воды - 100 °С, давление водяного пара - 0,8 МПа.

Результаты расчетов представлены в таблице 3.

Энергетические показатели термической утилизации ТКО и RDF определяли для инсинератора барабанного типа с применением котла-утилизатора. При утилизации ТКО тепловая мощность котла-утилизатора составляет 2037,84 кВт, при этом расход водяного пара - 3123,13 кг/ч и расход горячей воды - 382 294,51 кг/ч. При утилизации RDF-топлива тепловая

мощность котла-утилизатора - 5349,87 кВт, расход водяного пара - 7953,06 кг/ч и расход горячей воды - 973 514,2 кг/ч.

Таблица 3. Показатели энергетической эффективности утилизации ТКО и RDF

Наименование характеристики	ТКО	RDF
Производительность по отходам, кг/ч	1000	
Расход дополнительного топлива (B), кг/ч	114,1010	295,1089
Располагаемая тепловая мощность, кВт	2700,3730	7122,6776
Расход воздуха (D), м ³ /ч	4282,1447	12443,2244
Расход дымовых газов (F), м ³ /ч	5012,4908	13433,3470
Тепловая мощность котла-утилизатора (Q), кВт	2037,8421	5349,8675
Расход водяного пара (Gv), кг/ч	3123,1297	7953,0598
Расход горячей воды (Ghw), кг/ч	382294,5109	973514,1963

По показателям тепловой мощности, расходу водяного пара и расходу горячей воды применение RDF является наиболее энергоэффективным по сравнению с простым сжиганием твердых коммунальных отходов. Однако эти расчетные данные являются предварительными и требуют детальной оценки по показателям энергетической, экологической и экономической эффективности. Следующим этапом работы предполагается проведение расчетов для утилизации ТКО в барабанной вращающейся печи с камерой дожигания и водогрейным или паровым котлом-утилизатором, а также утилизация RDF-топлива в топочной камере с подвижной колосниковой решеткой и водогрейным или паровым котлом-утилизатором, с подачей дымовых газов после сжигания RDF-топлива из топочной камеры в виде предтока в топочную камеру котельного агрегата, работающего на твердом топливе. Дальнейшие исследования также предполагают проведение оценки жизненного цикла RDF, произведенного из твердых коммунальных отходов Санкт-Петербурга при разных вариантах технической утилизации.

Список использованных источников

1. Российский экологический оператор прогнозирует ежегодный рост бытовых отходов на 0,5% // SOLIDWASTE.RU [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://news.solidwaste.ru/2020/04/reo-prognoziruet-rost-othodov/> (дата обращения: 23.01.2021).
2. Митина Н.Н., Гнетов Е.Н. Утилизация промышленных отходов в России и в мире: проблемы и решения // Neftegaz.RU. 2020. №3. С.98-105.

УДК 637.146.3

**СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ ПО ИССЛЕДОВАНИЮ
ЭКЗОПОЛИСАХАРИДОВ БАКТЕРИЙ РОДА *LACTOBACILLUS*****Курбонова М.К.¹****Научный руководитель – к.т.н., доцент Бараненко Д.А.¹**¹Университет ИТМО

Экзополисахариды (ЭПС), а также другие биоактивные вещества молочнокислых бактерий (МКБ) привлекают все больше внимания из-за своей специфической структуры и функций, таких как толерантность к стресс-повреждениям желудочно-кишечного тракта, адгезии к слизистой оболочке кишечника, ингибирования патогенов и модуляции иммунной системы. В данном обзоре обобщены недавние достижения по исследованию состава, антиоксидантной активности, колонизации и влиянию на иммунитет ЭПС *Lactobacillus spp.*, с целью выявления тенденций по развитию ЭПС МКБ.

Ключевые слова: экзополисахариды, *Lactobacillus*, пробиотики, антиоксидантная активность, колонизация.

Lactobacillus – род МКБ, которые осуществляют гомо- и гетероферментативное молочнокислое брожение, являются важным компонентом резидентной микрофлоры человека и животных [1].

В последнее время отмечается прогресс в раскрытии полезного влияния МКБ (*L. plantarum*, *L. rhamnosus*, *Bifidobacterium spp.* и др.) в отношении некоторых метаболитических веществ (ЭПС, бактериоцины, биоактивные пептиды и т.д.) [2]. Традиционно это было улучшение реологических свойств пищевых продуктов, улучшение вкуса, продление срока годности продуктов и положительное влияние на здоровье человека, это приписывалось выделению органической кислоты, например уксусной, молочной, пропионовой, масляной кислоты и т. д., а также изменение рН или окислительно-восстановительного потенциала, а также антагонистического эффекта МКБ против патогенных микроорганизмов [3, 4]. Как один из популярных видов МКБ в ферментированных молочных продуктах, закваске, соленьях и ферментированных колбасах, *Lactobacillus spp.* было доказано, что они улучшают баланс микрофлоры человека, укрепляют иммунитет и уменьшают симптомы гипертонии [5]. Недавние накопленные данные о воздействии на здоровье *Lactobacillus spp.* были связаны с ЭПС, бактериоцинами, биоактивными пептидами [6].

Непосредственное отношение к структуре и составу ЭПС *Lactobacillus spp.* имеет пробиотическая функция. Разные штаммы *Lactobacillus spp.* имеют свой уникальный путь синтеза ЭПС из-за условий выживания, связанных с использованием различных углеводов, например глюкозы, сахарозы, галактозы, лактозы и т. д. Различные штаммы даже у одного и того же вида имели разный состав и структуру ЭПС. Так, ЭПС *L. plantarum* YW32 в одном исследовании [7] состоял из маннозы, фруктозы, галактозы и глюкозы, их приблизительное молярное соотношение показано на рисунке 1, в то же время *L. plantarum* ZDY2013 в другом исследовании состоял только из ксилозы и галактозы, причем галактоза составляла 98,3% [8]. Это может быть связано с тем, что были использованы разные методы выделения и очистки. Некоторые виды *Lactobacillus spp.* могут производить два и более ЭПС. Например, ЭПС фракции S1 из *L. rhamnosus* KF5 состоял из глюкозы, арабинозы, глюкозамина, галактозамина и галактозы, другая фракция S2 содержала рамнозу, глюкозу и галактозу, их молярное соотношение также показано на рисунке 1. [9]. Есть некоторые разногласия о формировании ЭПС в разных средах. Обычно считалось, что условия культивирования или некоторые другие факторы (рН, температура, время инкубации, состав среды и т. д.) значительно влияют на выход и состав ЭПС *Lactobacillus spp.* Однако в нескольких работах были получены данные, что выход ЭПС *Lactobacillus* редко зависит от этих факторов [10].

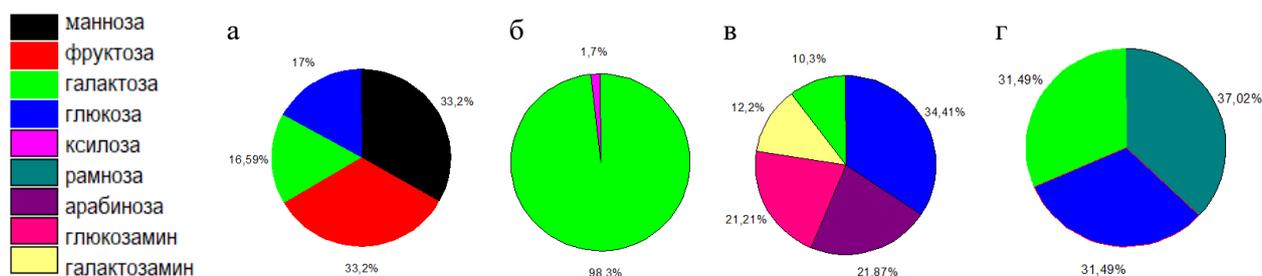


Рис. 1. Диаграммы молярных соотношений в составе ЭПС *Lactobacillus* Spp: а) *L. plantarum* YW32; б) *L. plantarum* ZDY2013; в) S1 из *L. rhamnosus* KF5; г) S2 из *L. rhamnosus* KF5

На антиоксидантную активность ЭПС могут влиять различные факторы, такие как состав моносахаридов, молекулярная масса и конфигурация гликозидной связи ЭПС, а также используемые методы экстракции и выделения.

Антиоксидантную активность ЭПС *Lactobacillus* spp. *in vitro* в основном оценивали по улавливанию радикалов 1,1-дифенил-2-пикрилгидразила (DPPH), улавливанию гидроксильных радикалов и улавливанию супероксидных радикалов ЭПС. Состав ЭПС определялся по разнице антиоксидантной активности. Например, ЭПС *L. plantarum* YW32 в дозе 5 мг/мл продемонстрировал сильную способность улавливать супероксидные радикалы, но низкую скорость улавливания радикалов DPPH [7]. Однако в параллельном исследовании [10], ЭПС из *L. plantarum* ZDY2013 в дозе 2 мг/мл показал более низкую скорость удаления DPPH и супероксидных радикалов. Данные экспериментов показаны на рисунке 2. Надо отметить, что модифицированный сульфированием ЭПС увеличивал его антиоксидантную активность почти в 4 раза. Сульфирование ЭПС усиливало антиоксидантную активность не только *in vitro*, но также и на модели клеток Caco-2 [11]. Сообщалось, что модификация карбоксиметилированием может также увеличивать потенциал полисахарида как ингибитора окисления *in vitro*.

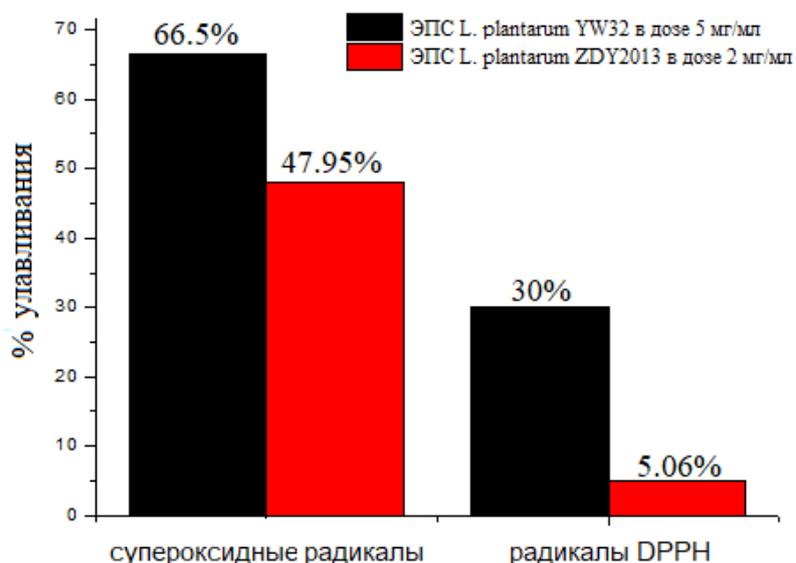


Рис. 2. Диаграмма по улавливанию радикалов 1,1-дифенил-2-пикрилгидразила (DPPH)

Помимо антиоксидантной способности, ЭПС МКБ могут играть важную роль в улучшении выживаемости клеток в желудочно-кишечном тракте. П. Руссо [12] в своем исследовании обнаружил, что глюканы из *Pediococcus parvulus* улучшают стрессоустойчивость и колонизацию *L. plantarum* WCFS1 в эпителиальных клетках

кишечника; в другой работе, Э. Дертли [13] предположил, что ЭПС *Lactobacillus spp.* может препятствовать специфическим факторам адгезии на поверхности бактериальных клеток, уменьшая адгезию к эпителиальным клеткам кишечника. В нескольких работах получены данные о том, что ЭПС в качестве пребиотических веществ помогают колонизации *Lactobacillus spp.* как в аборигенной флоре. Что касается воздействия ЭПС на иммунитет, некоторые исследования показали, что ЭПС обладают иммуномодулирующими свойствами *in vitro* и *in vivo*. В модели клеток Caco-2 четыре связанных с иммунитетом гена, интерлейкин-1 α (IL-1 α), хемокин (СС мотив) лиганд 2 (CCL2), фактор некроза опухоли α (TNF α) и пентраксин-3 (PTX3), стимулировались ЭПСом (*L. acidophilus* NCFM) [14].

Кластер генов, управляющий синтезом ЭПС вместе с внешними факторами, определяет структуру и состав ЭПС МКБ и имеет решающее значение антиоксидантной активности. ЭПС могут помочь МКБ или другим пробиотикам колонизировать в желудочно-кишечном тракте, защищая клетки или используя в качестве субстратов для других полезных микроорганизмов, и, следовательно, оказывать влияние на иммунитет. Применение пробиотиков приведет к увеличению числа МКБ, естественных обитателей кишечника. Но для получения объективных выводов в будущем необходимо больше исследований.

Литература

1. Карамова Н.А., Хабибуллин Р.Э. Антирадикальные свойства *Lactobacillus Acidophilus n.v.* Ep. 317/402 *in vitro* // Вестник Казанского технологического университета. 2013. Vol. 16, № 23. P. 127–129.
2. Welman A.D., Maddox I.S. Exopolysaccharides from lactic acid bacteria: Perspectives and challenges // Trends Biotechnol. Elsevier Ltd, 2003. Vol. 21, № 6. P. 269–274.
3. Parvez S. et al. Probiotics and their fermented food products are beneficial for health // J. Appl. Microbiol. 2006. Vol. 100, № 6. P. 1171–1185.
4. De Vos W.M. Systems solutions by lactic acid bacteria: from paradigms to practice. 2011.
5. Oerlemans M.M.P. et al. Benefits of bacteria-derived exopolysaccharides on gastrointestinal microbiota, immunity and health // Journal of Functional Foods. Elsevier Ltd, 2021. Vol. 76.
6. Siezen R.J. et al. Phenotypic and genomic diversity of *Lactobacillus plantarum* strains isolated from various environmental niches // Environ. Microbiol. 2010. Vol. 12, № 3. P. 758–773.
7. Wang J. et al. Characterization and bioactivities of an exopolysaccharide produced by *Lactobacillus plantarum* YW32 // Int. J. Biol. Macromol. Elsevier, 2015. Vol. 74. P. 119–126.
8. Zhang Z. et al. Characterization and sulfated modification of an exopolysaccharide from *Lactobacillus plantarum* ZDY2013 and its biological activities // Carbohydr. Polym. Elsevier Ltd, 2016. Vol. 153. P. 25–33.
9. Shao L. et al. Partial characterization and immunostimulatory activity of exopolysaccharides from *Lactobacillus rhamnosus* KF5 // Carbohydr. Polym. Elsevier Ltd, 2014. Vol. 107, № 1. P. 51–56.
10. Polak-Berecka M. et al. Physicochemical characterization of exopolysaccharides produced by *Lactobacillus rhamnosus* on various carbon sources // Carbohydr. Polym. Elsevier Ltd, 2015. Vol. 117. P. 501–509.
11. Li S., Shah N.P. Sulphonated modification of polysaccharides from *Pleurotus eryngii* and *Streptococcus thermophilus* ASCC 1275 and antioxidant activities investigation using CCD and Caco-2 cell line models // Food Chem. Elsevier Ltd, 2017. Vol. 225. P. 246–257.
12. Russo P. et al. Beta-glucans improve growth, viability and colonization of probiotic microorganisms // Int. J. Mol. Sci. 2012. Vol. 13, № 5. P. 6026–6039.
13. Dertli E., Mayer M.J., Narbad A. Impact of the exopolysaccharide layer on biofilms, adhesion and resistance to stress in *Lactobacillus johnsonii* F19785 // BMC Microbiol. BioMed Central Ltd., 2015. Vol. 15, № 1.
14. Lebeer S. et al. Exopolysaccharides of *Lactobacillus rhamnosus* GG form a protective shield against innate immune factors in the intestine // Microb. Biotechnol. Microb Biotechnol, 2011. Vol. 4, № 3. P. 368–374.

УДК 621.59.01

**СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ ИЗВЛЕЧЕНИЯ C2+ И C3+ КОМПОНЕНТОВ
ИЗ ПРИРОДНОГО ГАЗА**

Лихолитов Д.С.¹, Зайцев А.В.¹

Научный руководитель – к.т.н., доцент Зайцев А.В.¹

¹Университет ИТМО

Работа выполнена в рамках темы НИР № 620149 «Усовершенствовании ожижителя природного газа».

В работе рассмотрены актуальность извлечения этана и пропана из природного газа при его подготовке к сжижению, где можно использовать этан, пропан и его производные, методы извлечения этана и пропана из природного газа. Был проведен сравнительный анализ двух низкотемпературных методов. Эксперимент проводился с применением программы Aspen HYSYS.

Ключевые слова: природный газ, методы извлечения, этан, пропан, дроссель, холодильник.

Природный газ уже получил звание топлива 21 века, так как его потребительские свойства имеют много преимуществ перед нефтяными промыслами, а запасы газа намного больше. Однако практически все новые месторождения газа расположены в отдаленных районах нашей страны. Это ставит под сомнение экономическую эффективность строительства магистральных трубопроводов. Поэтому многие специалисты больше времени уделяют производству сжиженного природного газа. СПГ сегодня является одним из самых перспективных источников энергии [1].

Многие месторождения в России имеют природный газ, который обогащен этаном и пропаном, которые являются ценным сырьем. Именно поэтому необходимо сосредоточиться на получении продуктов глубокой переработки, что обуславливает внедрение новых технологических процессов глубокого извлечения фракций этана и пропана.

Увеличенное извлечение легких углеводородов из природного газа позволит получить дополнительную прибыль за счет реализации легких углеводородов, которые оцениваются по более высоким ценам, чем обычный газ, и получить прекрасное сырье для газохимических производств.

При переработке углеводородов в качестве продуктов получают промышленные газы, которые затем используются в качестве сырья в различных технологических процессах. Этановая фракция используется для пиролиза, а также как хладагент на установках для депарафинизации масел. Пропановая фракция используется также как сырье для пиролиза, а также хладагент для многих технологических установок и как бытовой сжиженный газ.

Чтобы извлечь из природного газа такие углеводороды, как этан, пропан, бутан и выше, используется процесс отбензинивания природного газа [2].

Процесс извлечения углеводородов происходит на газовых месторождениях и газоперерабатывающих заводах. Первоначально этот процесс проводили методом сжатия (компрессионным методом). В этом процессе газ сжимается до давления от 1 до 4 МПа, а затем охлаждается до температуры от 20 до 30°C. Чтобы получить сжиженный газ (пропановая и бутановая фракция), извлечение углеводородов стали проводить сначала методом масляной, а затем низкотемпературной абсорбции (этом процесс проходит при давлении от 7 МПа и температуре до -45°C). Как абсорбент в этом процессе используются керосиновые фракции, при которых степень извлечения пропана и выше составляет от 80 до 95%. Для того, чтобы извлечь углеводороды из тощих природных газов, и чтобы извлечь остатки пропана и выше, в схеме с низкотемпературной абсорбцией может быть использована адсорбция на активированном угле.

В связи с вышеизложенным далее выполнен расчет процесса низкотемпературной сепарации, являющегося современным и наиболее эффективным методом. Состав газа выбран соответствующим составу природного газа месторождений, близких к Ямал СПГ.

В таблице 1 представлены исходные данные.

Таблица 1. Исходные данные

Состав газа	Молярное содержание компонента	Параметры газа	Значение
Азот	0,0019	Давление газа на входе, бар	40
CO ₂	0,0094		
Метан	0,8324	Температура газа на входе, °С	16
Этан	0,0665		
Пропан	0,0206	Расход газа, кмоль/ час	120.70
н – Бутан	0,0346		
и - Бутан	0,0346		

Расчеты были проведены в программе Aspen Hysys [2]. Эта программа является самой известной и доступной в нефтегазовой отрасли.

Рассмотрим первую схему низкотемпературной сепарации с дросселем, приведенную на рисунке 1.

Сначала поток природного газа поступает в первичный сепаратор, где разделяются жидкие компоненты, присутствующие в газе. Затем газ поступает в газовый теплообменник, где газ сначала охлаждается. После охлаждения в теплообменнике газ поступает в дросселирующее устройство для последующего охлаждения, где тяжелые углеводороды переходят в жидкую фазу, образуя газ, который отвечает требованиям транспортировки. Охлажденный таким образом поток поступает в низкотемпературный сепаратор. После сепарации осушенный холодный газ подается в газовый теплообменник, а затем в трубопровод, при этом отделенный конденсат смешивается с жидкостью из первичного сепаратора. Полученная смесь направляется в колонну депропанации, где она разделяется, выделяя жидкую фазу с определенным содержанием в ней пропана.

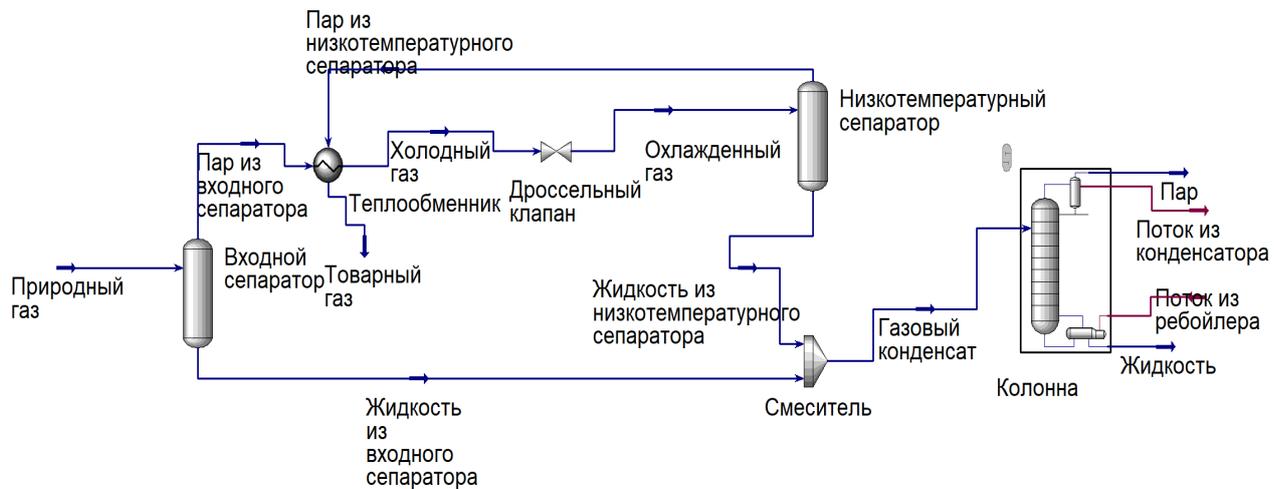


Рис. 1. Расчетная схема низкотемпературной сепарации природного газа с дросселем

Также рассмотрим схему низкотемпературной сепарации с холодильником (рис. 2).

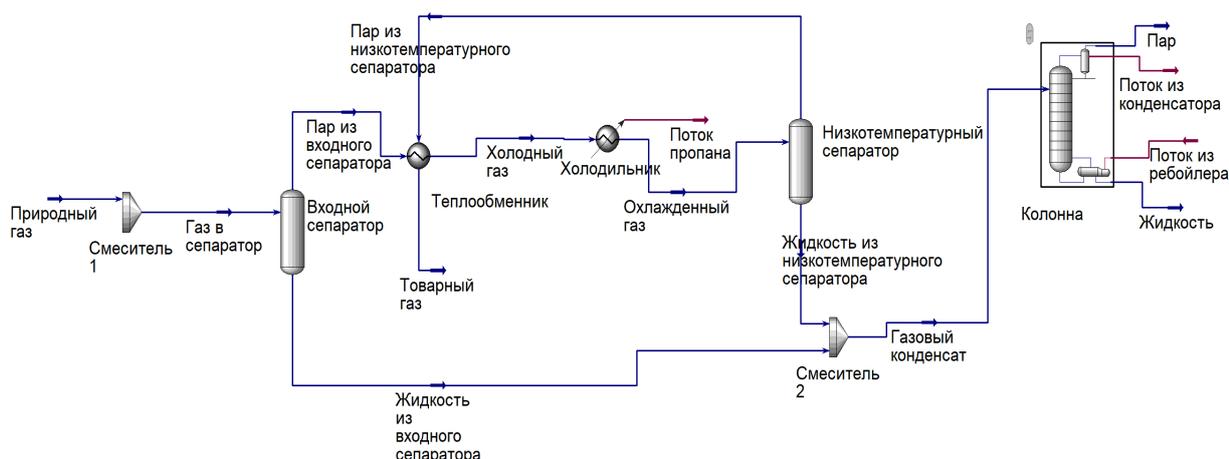


Рис. 2. Расчетная схема установки низкотемпературной сепарации природного газа с холодильником

Поток из смесителя поступает во входной сепаратор, в котором отделяется жидкость. Газ из сепаратора направляется в теплообменник, где захлаживается холодным газом. Для охлаждения до определенной температуры газ направляется в испаритель пропана. В холодильнике достаточно тяжёлые углеводороды конденсируются. Холодный поток затем разделяют в низкотемпературном сепараторе. Сухой холодный газ из низкотемпературного сепаратора подается обратно в теплообменник и направляется на реализацию. Жидкость – конденсат, которая выходит из низкотемпературного сепаратора, смешивается с жидкостью из входного сепаратора. Полученная смесь перерабатывается в колонне депропанизатора для получения кубового продукта с определенным содержанием пропана.

Было установлено, что в схеме с холодильником (рис. 2) мольные доли этана и пропана в товарном газе меньше, нежели в схеме с дросселем (рис. 1), что свидетельствует о более полном их извлечении. Результаты извлечения представлены в таблице 2.

Таблица 2. Сравнение мольных долей компонентов товарного газа

Состав газа	Мольные доли в природном газе	Мольные доли в товарном газе (рис. 1)	Мольные доли в товарном газе (рис. 2)
Метан	0,8324	0,8650	0,8905
Этан	0,0665	0,0649	0,0612
Пропан	0,0206	0,0171	0,0131

Таким образом, все рассмотренные варианты схем газораспределения могут быть использованы при выделении пропановой и этановой фракции из природного газа.

Литература

1. Федорова Е.Б. Современное состояние развитие мировой индустрии сжиженного природного газа: технологии, оборудование / Е.Б. Федорова. – М.: РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина, 2011. 159 с.
2. Акимова И.Ю. Экспорт российского природного газа: проблемы и перспективы / И.Ю. Акимова. М.: Олимп-Бизнес, 2005.
3. Aspen HYSYS. Руководство пользователя. Aspen Technology, Inc. 2010. 28 с.

УДК 631.95

ВЛИЯНИЕ СОСТАВА СУБСТРАТА НА КАЧЕСТВЕННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЛИЧИНОК МУХ ЧЕРНАЯ ЛЬВИНКА *HERMETIA ILLUCE* В ПРОЦЕССЕ КУЛЬТИВИРОВАНИЯ

Лоскутова А.¹, Кузнецова К.¹

Научный руководитель – к.т.н., доцент Молодкина Н.Р.¹

¹Университет ИТМО

В данной работе представлен аналитический обзор научно-исследовательской литературы о влиянии состава субстрата на качественные показатели личинок мух Черная львинка *Hermetia illuce* в процессе культивирования. В качестве показателей выбраны: масса, скорость биоконверсии, коэффициент конверсии корма, состав личинки, время развития и т. д.. Рассмотрен ряд исследований, направленных на изучение воздействия состава субстрата на личинок мух, и по анализируемым материалам сделан вывод о степени изученности закономерности воздействия состава субстрата на качественные показатели личинок мух Черная львинка *Hermetia illuce* на данный момент.

Ключевые слова: органические отходы, переработка органических отходов, личинка мух *Hermetia illucens*.

В странах с низким и средним уровнями доходов пищевые отходы представляют собой от 50 до 80 % процентов от общего объема муниципальных отходов, и большая их часть, а часто вся масса этих отходов, отправляется на полигоны [1]. Отсутствие или нехватка систем переработки пищевых отходов может повлечь за собой негативное воздействие на окружающую среду и здоровье человека. Следовательно, необходимо разрабатывать и внедрять системы переработки пищевых отходов. Поэтому в данной работе рассматривается метод переработки пищевых отходов личинками мух Черная львинка *Hermetia illuce*.

Черная львинка не являются потенциальными переносчиками болезней, так как они никогда не откладывают яйца на разлагающийся органический материал. Также у взрослых особей отсутствует ротовой аппарат, поэтому она не вступает в контакт с антисанитарными отходами. Данный вид является неприхотливым, может пережить засуху, нехватку питательных элементов. Еще одним из достоинств вида в том, что белок в личинках имеет высокий показатель усвояемости. Это делает ее привлекательной для использования в качестве корма и в перспективе может заменить мясные продукты в рационе человека. Личинки могут относительно быстро перерабатывать пищевые отходы и за 10 суток с тонны отходов образуется 198 кг личинок и примерно 600 кг переработанного субстрата [2].

Переработка пищевых отходов личинками мух – это полностью замкнутая система: пищевые отходы преобразуются в биомассу личинки, которую можно использовать в качестве корма, изготавливать биотопливо, получать хитин, проработанный субстрат можно использовать как минеральное удобрение.

Подобно другим насекомым, личинки мух питаются, чтобы получить питательные вещества для удовлетворения своих метаболических потребностей. Углеводы и глюкоза используются личинками как источники энергии. Личинки мух также покрыты углеводным хитином. Аминокислоты, белки являются важными молекулами для производства ткани личинок мух, гормонов и транспортных белков. Липиды служат хранилищем энергии, обеспечивают структурные составляющие клеточных мембран, органелл и важны для производства гормонов [3].

Личинки мух питаются через ротовой аппарат, расположенный на переднем конце их удлинненно-овальной формы. Средняя кишка является самой длинной и наиболее важной частью пищеварительного тракта личинки. Вдоль средней кишки за счет комбинированного действия кишечной среды, ферментов и микроорганизмов субстрат разбивается на более мелкие молекулы, которые поглощаются клетками кишечника в гемолимфу. Гемолимфа аналогична крови позвоночных и переносит питательные вещества внутри тела личинки.

Питательные вещества хранятся в жировом теле личинок, что важно для накопления липидов и контроля метаболизма личинок [4].

Переработка органических отходов личинками мух может являться универсальным методом для утилизации органических отходов из-за способности личинок к переработке широкого спектра органических веществ. Однако пищевой состав субстрата влияет на качественные характеристики личинок, например вес личинок, скорость биоконверсии, коэффициент конверсии корма, время развитие и состав личинок. На данный момент влияние состава субстрата на качественные показатели личинок мух Черная львинка *Hermetia illuce* в процессе культивирования малоизучено и, в основном, исследования представлены изучением воздействия основных питательных веществ, таких, как углеводов, белков и липидов, а также целлюлозы.

Белки (Р) в ряде исследований определены как наиболее важные макроэлементы органических отходов, сильно влияющих на качественные показатели личинок. Белки из органических отходов являются источником аминокислоты для развития личинок.

В присутствии достаточного количества аминокислот высвобождаются инсулиноподобные гормоны, запускающие развитие личинок. Если субстрат имеет низкое содержание белка, то микроорганизмы, находящиеся в кишечнике личинки, вырабатывают из углеводов аминокислоты, увеличивая их количество и способствуя развитию личинки. Однако данный процесс требует более детального изучения в дальнейших исследованиях [5].

Следовательно, количество белков в субстрате может являться ключевым параметром, который стимулирует развитие личинок, и важным фактором повышения эффективности и надежности технологического процесса. Это связано с тем, что личинки мух Черная львинка, выращенные на органических отходах с высоким содержанием белка, будут иметь более высокие показатели веса, скорости биоконверсии, коэффициента конверсии корма и содержания белка в личинках, а также более низкое время развития.

Углеводы (С) попадают в организм личинок мух из субстрата или после гидролиза микроорганизмами, что приводит к образованию простых сахаров, органических кислот и других метаболитов. В средней кишке эти соединения разлагаются на мономеры, используются микроорганизмами или абсорбируются клетками кишечника для использования в метаболизме личинок. Содержание углеводов оказывает сильное влияние на взрослых особей (массовое число яиц, выход яиц, продолжительность жизни и вес), а также углеводы влияют на содержание липидов в личинках. В различных исследованиях выявлено, что если личинки выращиваются на субстрате с низким содержанием белков и высоким содержанием углеводов, то углеводы превращаются личинками в липиды и сохраняются в жировом теле. Поэтому личинки, которых растят на таком субстрате, обычно содержат больше липидов по сравнению с личинками, выращенных на более сбалансированных по содержанию углеводов и белков в субстрате [6].

В ходе исследований Karol B. Barragán-Fonseca было доказано, что оптимальными условиями для получения высоких качественных показателей являются высокое содержание Р+С (до 70%) при низких соотношениях Р:С (1:2 – 1:3). Это связано с тем, что в исследованиях личинки, питающиеся субстратом с соотношением Р:С=1:3 и содержанием Р+С=72%, имели самые высокие показатели производительности, и такой рацион приводил к высокому содержанию сырого белка в организме (42,3%) [7].

Наиболее быстрое развитие личинок проходит при Р+С 15% при соотношении Р:С 2:1 и 4:1 и при 25, 50 и 75% Р+С при высоком содержании углеводов (1:4). Это связано с тем, что высокое содержание белка ускоряет развитие личинок при низком содержании Р+С, тогда как при высоком Р+С содержание углеводов ускоряет развитие, когда содержания белка достаточно для удовлетворения потребностей личинок. Но, несмотря на быстрый прирост во время личиночной стадии и относительно высокий вес, большая часть личинок, питающиеся субстратом с Р+С 50% и соотношением Р:С 4:1, не смогли достичь взрослой стадии и превратиться в муху [7].

И хотя личинки могут переносить широкий диапазон содержания Р и С, использовать белок в качестве источника энергии на диетах с высоким содержанием Р и эффективно использовать диеты с низким содержанием Р, однако в случае содержания белков существует порог, при котором 37% считается токсичным, снижает выживаемость и процент появления взрослых особей [7].

Липиды обычно являются второстепенным компонентом органических отходов и вряд ли ограничивают развитие личинок, если их не содержится в избытке. Липиды разлагаются в кишечнике личинок на свободные жирные кислоты или моно- и диглицериды для поглощения клетками кишечника и использования в метаболизме личинок. В отличие от углеводов и белков, которые разлагаются на мономеры для использования в совершенно новых молекулах организма, состав липидов органических отходов напрямую влияет на состав жирных кислот в личинках [5].

Содержание сырого жира в личинках сильно зависит как от концентрации питательных веществ, так и от плотности личинок, находящихся в субстрате. Также на содержание сырого жира личинок влияло содержание белков и углеводов в субстрате, а также их взаимодействие. Содержание сырого жира в личинках увеличивалось при высоком содержании углеводов [9].

Последним рассмотренным в данной работе важным компонентом в составе органических отходов является целлюлоза. Вероятно, что личинки мух Черная львинка не содержат ферментов для разложения волокон. Однако микроорганизмы в кишечнике личинок могут их гидролизовать и образовывать питательные вещества, доступные для развития личинок, такие, как углеводы, простые сахара и другие метаболиты. Однако эта область исследований еще не до конца изучена. Те исследования, которые уже проведены, лишь подтверждают то, что целлюлоза плохо переваривается личинками, и большое количество целлюлозы в субстрате может снизить производительность процесса за счет снижения общей плотности питательных веществ в субстрате. Поэтому для предотвращения снижения скорости биоконверсии и увеличения времени развития личинок необходима предварительная обработка или инокуляция личинок мух Черная львинка микроорганизмами, которые могут разрушать целлюлозу [7].

Из всего представленного выше можно сделать вывод, что содержание углеводов и белков – это важный параметр, который необходимо учитывать при культивировании. Также выявлено, насколько важны микроорганизмы для роста и развития личинок. Для получения конечного продукта, направленного на конкретное использование, нужно подбирать такой состав субстрата, при котором состав личинок будет соответствовать производственным целям. Например, при получении личинок для производства биотоплива необходим субстрат с высоким содержанием углеводов и низким содержанием белков. Однако для массового использования личинок Черная львинка в переработки органических отходов с получением различной продукции необходимо более детально изучать влияние состава субстрата на качественные показатели личинок мух Черная львинка *Hermetia illuce* в процессе культивирования.

Информация, представленная в данном обзоре, будет использована в исследовательской работе в качестве научной базы для выбора нескольких видов субстратов для подтверждения и получения новой информации о влиянии состава субстрата на качественные показатели личинок мух Черная львинка *Hermetia illuce* в процессе культивирования.

Литература

1. Шилкина С. В. Мировые тенденции управления отходами и анализ ситуации в России // Интернет-журнал «Отходы и ресурсы», 2020 No1. Режим доступа: <https://resources.today/PDF/05ECOR120.pdf> (дата обращения: 06.05.2021).
2. Способ переработки органических отходов личинками мух *Hermetia illucens* с получением белка животного происхождения и биогумуса [Текст]: пат. RU 2 654 220 С1 Рос. Федерация: МПК С05F 3/00(2006.01); С05F 9/04.

3. Cohen A.C. *Insect Diets: Science and Technology*. 2008. 473 p.
4. Chapman, R.F.. *The insects: structure and function*. 2013. 739 p.
5. Gold M., Tomberlin J.K., Diener S., Zurbrügg C., Mathys A. Decomposition of Biowaste Macro-nutrients, Microbes, and Chemicals In Black Soldier Fly Larval Treatment: A Review, *J. Waste Manag.* (2018) 302-318 p.
6. Pimentel A.C., Barroso I.G., Ferreira J.M.J., Dias R.O., Ferreira C., Terra W.R., Pimentel A.C. Molecular machinery of starch digestion and glucose absorption along the midgut of *Musca domestica*. *J. Insect Physiol.* 2018. 109, 11–20.
7. Karol B. Barragan-Fonseca, Marcel Dicke and Joop J. A. van Loon. Published in *Journal of Insects as Food and Feed // Journal of Insects as Food and Feed - 2017; 3(2): 105-120 p.*
8. Liland N.S., Biancarosa I., Araujo P., Biemans D., Bruckner C.G., Waagbø R., Torstensen B.E., Lock E.J., Modulation of nutrient composition of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae by feeding seaweed-enriched media. 2017. 23 p.

УДК 664.292

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ГИДРОЛИЗА НА ВЫХОД ПЕКТИНА ТОПИНАМБУРА

Лях К.С.¹, Егорова О.А.¹

Научный руководитель – д.т.н., профессор Алексеев Г.В.¹

¹Университет ИТМО

Работа выполнена в рамках темы НИР № 620145 «Роль биологически активных веществ природного происхождения в развитии и нутритивной профилактике неинфекционных заболеваний».

Топинамбур – уникальное растение, являющееся одной из перспективных культур для производства пектина с высокой комплексообразующей способностью. В работе представлены результаты исследования процесса экстракции пектина, содержащегося в корнеплодах топинамбура. Выявлена рациональная схема гидролиза топинамбура, которая значительно влияет на эффективность экстракции.

Ключевые слова: пектин, топинамбур, экстракция, кислотный гидролиз, экстрагент, выход пектина.

В настоящее время, в связи с загрязнением окружающей среды и ростом экологически обусловленных заболеваний, стратегически важным направлением в пищевой промышленности является получение продуктов, обладающих лечебными и профилактическими свойствами.

Пектин – полисахарид, содержащийся практически во всем растительном сырье. Благодаря своим значительным комплексообразующим и сорбирующим способностям пектин способен выводить из организма токсичные и радиоактивные элементы, а также другие вредные вещества, накапливаемые организмом [1]. Пектиновые вещества широко применяются в пищевой промышленности, медицине и косметологии. В основном его используют как студнеобразователь, загуститель, жирозаменитель, эмульгатор и влагопоглотитель.

Топинамбур – уникальное растение, являющееся одной из перспективных культур для производства пектина. В клубнях топинамбура содержится большое количество ценных углеводов, в том числе инулин, пектин, клетчатка. Топинамбур богат витамином С, витаминами группы В, минеральными веществами (калий, кальций, магний, натрий, железо, фосфор, хлор, сера), органическими кислотами, а также аминокислотами, которые не синтезируются в организме человека.

При обработке литературных данных было замечено, что пектиновые вещества, полученные из клубней топинамбура, обладают не только желирующей, но и высокой комплексообразующей способностью. Они имеют большее значение уронидной составляющей, примерно в 1,3 раза, чем пектины, яблок, цитрусов или сахарной свёклы. Пектин топинамбура является низкоэтерифицированным, в нем содержится большое количество свободных карбоксильных групп галактуроновой кислоты, способных связывать тяжелые металлы. В отличие от пектина, полученного из другого сырья, пектин клубней топинамбура обладает низкой средней молярной массой, что говорит о низкой полимеризации, это позволяет пектину быть максимально активным и водорастворимым. Его связывающая способность в 6 раз больше, чем у пектинов, полученных из традиционного сырья. Все вышеперечисленные показатели характеризуют пектин топинамбура как вещество, которое обладает наиболее выраженной детоксицирующей активностью.

Топинамбур как пектиносодержащие сырьё имеет и другие преимущества. В частности, это широкое произрастание на территории Российской Федерации, в том числе на территории Ленинградской области. К тому же, с целью ресурсосбережения для получения пектина высокого качества возможно использовать вторсырьё после получения инулина. Топинамбур содержит не менее 8% пектиновых веществ.

Выявленные свойства делают топинамбур уникальным сырьем для получения пектина.

Содержание пектина в топинамбуре достаточно высокое, однако в литературе имеются только отрывочные данные о способе его экстракции. Полностью отсутствуют обоснования выбора параметров для проведения гидролиза. Анализ литературных данных показывает, что часть исследователей проводят гидролиз в одну стадию, другие предусматривают гидролиз в три стадии. Каждая стадия предусматривает отделение жидкой фазы от твердой и добавление нового объема экстрагента. В различных исследованиях в очень широком интервале принимают время экстракции $t=45-180$ мин и значения pH в диапазоне $pH=1,5-3,5$ [2]. В литературе отсутствует сравнение различных методик гидролиза для получения пектина топинамбура. При этом необходимо учитывать, что увеличение времени экстракции нежелательно и оказывает выраженный негативный эффект на качество и выход готового продукта, так как пектин топинамбура обладает высокой растворимостью [3]. В литературе отсутствует сравнение различных методик гидролиза для клубней топинамбура.

Целью данного исследования является изучение процесса экстракции пектина, выявление рациональной схемы гидролиза, контрольным показателем выбран выход пектина.

Многие факторы, такие как продолжительность, температура, pH среды, соотношение жидких и твердых компонентов, могут существенно влиять на эффективность экстракции. Экстрагирование пектина представляет собой многостадийный физико-химический процесс, и условия экстракции определяют качественный и количественный состав пектина.

В настоящем исследовании пектин извлекался из клубней топинамбура сорта Ленинградский.

Подготовка сырья заключалась в измельчении клубней на шнековом оборудовании до размера 1-2 мм и в очистке от водорастворимых примесей.

При получении пектина использовался кислотный гидролиз с добавлением щавелевой кислоты до $pH=2,2$. Соотношение твердой и жидкой фазы – 1:44.

Гидролиз проводилась при различных температурах: 95°C, 105°C и 115°C.

Для каждой температуры было подготовлено 2 одинаковых образца, подверженных стадийному гидролизу.

Процесс экстракции производили стадийно. Каждая стадия не более 60 минут.

После каждой стадии происходило отделение жидкой фазы и добавление нового объема экстрагента к оставшейся твердой фазе. Общее время гидролиза – 240 минут.

По истечении времени гидролиза-экстрагирования пектиновый экстракт фильтровали через тканевый фильтр, а затем фильтрат концентрировали не менее, чем в 3 раза.

Из раствора пектин осаждали 96%-ным этиловым спиртом в объемном соотношении раствора к спирту 1:3, в течение 1-го часа. Коагулят отделяли от раствора путем фильтрования, после чего промывали несколько раз 80%-ным этиловым спиртом.

Полученный пектин высушивали при температуре 50°C до постоянного веса, затем взвешивали и рассчитывали выход по сухому веществу.

Влажность сырья и полученного пектина определялись с помощью гравиметрического метод, основанного на определении массовой доли влаги высушиванием образца.

Данные по выходу пектина представлены в таблице.

Таблица. Выход пектиновых веществ

Температура	Масса пектина (сух.в-ва) на 10 г	Выход, %
95°C	1,42	14,2
	1,41	
105°C	1,76	17,8
	1,80	
115°C	1,50	15,3
	1,55	
Влажность топинамбура – 86%		
Влажность пектина – 16%		

На рисунке показана зависимость выхода пектина от различных температур и времени.

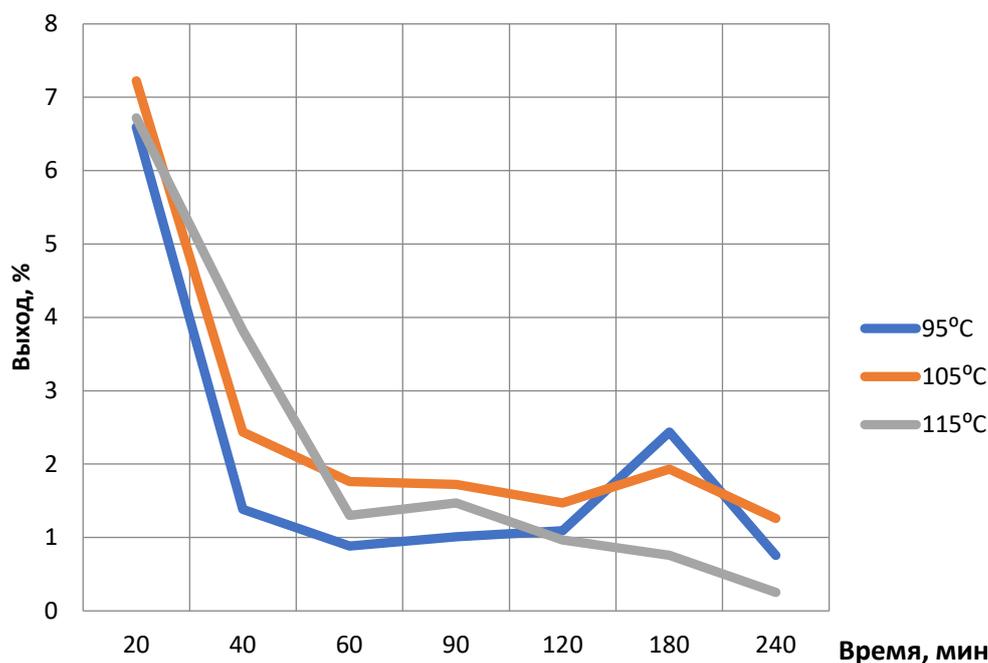


Рисунок. Зависимость выхода пектина от температуры и времени, %

Данное исследование показало, что температура и время экстрагирования значительно влияет на ход процесса.

Влияние термообработки на процесс гидролиза пектина показывает, что при температуре 105°C выход пектина больше. Обработывая результаты, полученные в эксперименте, можно порекомендовать проведения гидролиза при температуре 105°C, т.к. при более высоких температурах происходит разложение пектина, и продолжительностью процесса – 180 минут.

Литература

1. Кисиева М.Т. Использование клубней топинамбура в качестве сырья для получения высокоэффективных лечебно-профилактических фруктозосодержащих продуктов // Молодые ученые в решении актуальных проблем науки. Материалы VII Международной научно-практической конференции. - 2017. - С. 33-35.
2. Донченко Л. В., Фирсов Г. Г. Пектин: основные свойства, производство и применение. М. : ДеЛи принт, 2007. - 275 с.
3. Kays J.S., Nottingham F.S. Biology and chemistry of Jerusalem artichoke: helianthus tuberosus L. USA NY: Taylor & Francis Group. 2007. – с. 461.
4. Егорова О.А. Топинамбур как растительное сырьё для получения пектина с уникальными свойствами // Проблемы продовольственной безопасности государств большой Евразии и пути их решения: научные статьи XI Евразийского научного форума (СПб, 18-20 декабря 2019 г.). - 2020. - С. 67-73.

УДК 621.564.2

ДЕТЕКТОРЫ ФРЕОНОВ В БАЗЕ ЕВРОПЕЙСКОГО ПАТЕНТНОГО ВЕДОМСТВА ESPACENET

Мальгинова Н.А.¹, Фахртдинова С.З.¹, Тюрикова Е.П.¹
Научный руководитель – к.т.н., доцент Кустикова М.А.¹

¹Университет ИТМО

Работа выполнена в рамках НИР № 620159 «Разработка и исследование принципов построения цифрового анализатора фреонов»

В настоящее время широкую популярность получил газовый анализ, так как он является методом, позволяющим количественно определять компоненты газовых смесей. В рамках данной работы был проведен патентный поиск по базе Европейского патентного ведомства Espacenet с целью выявления существующих решений в области обнаружения фреонов. В результате анализа патентной базы было выявлено, что наиболее перспективными методами анализа состава вещества являются методы, основанные на инфракрасной и рамановской спектроскопии.

Ключевые слова: фреон, газовый анализ, патентный поиск, рамановская спектроскопия, инфракрасная спектроскопия.

Актуальность исследования

Газовый анализ является востребованным направлением аналитической химии. Он позволяет получать качественную и количественную информацию о составе чистых газов и газовых смесей.

Газовый анализ необходим в экологии и охране окружающей среды для определения концентрации вредных веществ в воздухе, на химически опасных производствах, на взрывоопасных и пожароопасных производствах для определения содержания горючих газов, в системах контроля и управления двигателей внутреннего сгорания, регулирования котлов теплоэлектростанций и т.д.

Цели и задачи

В рамках работы над НИР № 620159 «Разработка и исследование принципов построения цифрового анализатора фреонов» представляется необходимым провести патентные исследования с целью определения существующего технического уровня разработок в области газового анализа фреонов. В связи с поставленной целью были выявлены следующие задачи:

- провести патентный поиск по патентной базе espacenet;
- выявить конкретные конструкторские решения, подходящие для анализа фреонов;
- проанализировать полученные результаты.

Формирование характеристик запроса

В ходе патентных исследований был проведен поиск по патентной базе Espacenet, разработанной Европейским патентным ведомством (ЕПВ). Критериями при формировании запросов служили ключевые слова “freon detecting”, “refrigerant analyzer”, “difluoromethane detector”, “gas raman spectroscopy”.

Результаты поиска по патентной базе Espacenet

Результаты патентного поиска представлены в таблице.

По результатам поиска были отобраны следующие патенты.

Автоматический портативный автомобильный анализатор хладагента US6100529 (А). Автоматический портативный ИК-спектрометр предназначен для анализа автомобильных хладагентов. Автоматический портативный ИК-спектрометр содержит ИК-источник, газовую ячейку, которая активируется с помощью сильфона, оптический элемент, фильтр и детектор, оснащенный считывающим устройством для отображения результатов анализа [1].

Таблица. Результаты поиска по патентной базе Espasenet

Запрос	№ патента	Название (на английском)	Название (на русском)	Дата получения патента	Страна
Refrigerant analyzer	US6100529 (A)	Automatic portable automotive refrigerant analyzer	Автоматический портативный автомобильный анализатор хладагента	08.08.2000	США
Refrigerant analyzer	CN208860820 (U)	Online analyzer for industrial online analysis of refrigerant R134a	Анализатор для промышленного анализа хладагента R134a	14.05.2019	Китай
Difluoromethane detector	CN208999346 (U)	Handheld R32 refrigerant leakage detection device	Портативное устройство обнаружения утечки хладагента R32	18.06.2019	Китай
Gas Raman spectroscopy	WO2021005226 (A1)	Analyzing gas by way of Raman spectroscopy	Анализатор газа методом Рамановской спектроскопии	14.01.2021	Австрия
Freon detecting	CN209513609 (U)	Infrared detection device for multi-component Freon gas	Устройство инфракрасного обнаружения многокомпонентного фреона	18.10.2019	Китай

Анализатор для промышленного анализа хладагента R134a CN208860820 (U). Устройство обладает хроматографической колонкой, что позволяет разделять анализируемую смесь на ряд бинарных смесей, состоящих из газа-носителя и одного из разделяемых компонентов. Данное оборудование используется для анализа R134a в непрерывном режиме в промышленности, а также для анализа примесей в хладагенте, обеспечивая обнаружение данного рабочего вещества в промышленном производстве [2].

Портативное устройство обнаружения утечки хладагента R32 CN208999346 (U). Устройство состоит из камеры сбора газа, камеры обнаружения и газоотсасывающего насоса. Данная модель подходит для детектирования наличия дифторметана, однако не пригодна для высокоточного определения его концентрации. Данное устройство предназначено для использования в труднодоступных местах, так как обладает небольшими габаритами по сравнению с полноценным газоанализатором [3].

Анализатор газа методом рамановской спектроскопии WO2021005226 (A1). Для анализа газа генерируется лазерный луч, газ вводится в волокно. Лазерный луч соединяется с волокном для возбуждения газа с помощью лазерного луча таким образом, что рассеянный свет испускается газом. Рассеянный свет направляется волокном к аналитическим средствам и анализируется в отношении, по меньшей мере, одной из частотных составляющих. Лазерный луч и рассеянный свет, испускаемый волокном, отражаются обратно в волокно с помощью отражающего устройства [4].

Устройство инфракрасного обнаружения многокомпонентного фреона CN209513609 (U). Устройство содержит источник инфракрасного света, газовую камеру, датчик температуры, детектор, интерференционное зеркало Фабри-Перо, позволяющее разложить сложное излучение в спектр для дальнейшего анализа, блок сбора и управления сигналом и блок обработки и отображения сигнала. Информация о концентрации

детектируемого газа получается в соответствии с прямым пропорциональным соотношением между концентрацией газа при текущей температуре и характеристической интенсивностью пика поглощения газа. Прибор может быть использован для обнаружения фреонов с различными компонентами [5].

В результате анализа патентной базы Espacenet Европейского патентного ведомства было выявлено, что газовый анализ, в частности, анализ фреонов, наиболее востребован в Китае. В то же время данный вопрос рассматривается и в Европе, где в 2021 году был запатентован анализатор газа методом рамановской спектроскопии. К сожалению, не удалось найти свежие решения детектирования фреона, запатентованные в США. Однако наблюдается явное увеличение количества патентов в данной области за последние 20 лет, что свидетельствует о технологическом росте в сфере анализа хладагентов.

Заключение

Таким образом, проведенное исследование позволяет нам сделать вывод о том, что наиболее перспективными методами анализа состава вещества являются методы, основанные на инфракрасной и рамановской спектроскопии, позволяющие идентифицировать молекулы, похожие между собой. Наиболее удачными представляются решения, обладающие универсальностью применения для обнаружения фреонов, так как современные хладагенты являются многокомпонентными, а значит, обладают широким спектром для анализа.

Литература

1. US6100529 (A) - Automatic portable automotive refrigerant analyzer // Espacenet. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.espacenet.com/publicationDetails/biblio?FT=D&date=20000808&DB=EPODOC&locale=ru_RU&CC=US&NR=6100529A&KC=A&ND=5 (дата обращения: 02.04.2021).
2. CN208860820 (U) - Online analyzer for industrial online analysis of refrigerant R134a // Espacenet. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.espacenet.com/publicationDetails/biblio?FT=D&date=20190514&DB=EPODOC&locale=ru_RU&CC=CN&NR=208860820U&KC=U&ND=5 (дата обращения: 02.04.2021).
3. CN208999346 (U) - Handheld R32 refrigerant leakage detection device // Espacenet. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.espacenet.com/publicationDetails/biblio?FT=D&date=20190618&DB=EPODOC&locale=ru_RU&CC=CN&NR=208999346U&KC=U&ND=5 (дата обращения: 02.04.2021).
4. WO2021005226 (A1) - Analyzing gas by way of Raman spectroscopy // Espacenet. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.espacenet.com/publicationDetails/biblio?FT=D&date=20210114&DB=EPODOC&locale=ru_RU&CC=WO&NR=2021005226A1&KC=A1&ND=5 (дата обращения: 02.04.2021).
5. CN209513609 (U) – Infrared detection device for multi-component Freon gas // Espacenet. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ru.espacenet.com/publicationDetails/biblio?FT=D&date=20191018&DB=&locale=ru_RU&CC=CN&NR=209513609U&KC=U&ND=5 (дата обращения: 02.04.2021).

УДК 004.93, 631.4

**ПОДГОТОВКА ДАННЫХ ДЛЯ ПРЕДОБУЧЕНИЯ НЕЙРОСЕТИ
ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ СОСТАВА ПАХОТНОГО ГОРИЗОНТА
АВТОМАТИЗИРОВАННЫМ МЕТОДОМ ФИТО-ИНДИКАЦИИ**

Машина Е.А.¹, Сушенцова М.В.²

Научный руководитель – к.т.н. Балакшин П.В.¹

¹Университет ИТМО

²МГУ им. М.В. Ломоносова

Статья посвящена предварительной подготовке данных, предназначенных для предобучения сверточной нейросети распознавания конкретных маркеров, необходимых определения типа пахотного горизонта методом фито-индикации, с целью дальнейшей оптимизации технологий окультуривания и культивации почв.

Ключевые слова: тип пахотного горизонта, фито-индикация, сверточная нейросеть, предобучение, подготовка данных.

Основным фактором, оказывающим влияние на эффективность растениеводства в зонах рискованного земледелия, к которым относится значительная часть территории Российской Федерации, является правильный выбор агрономических алгоритмов окультуривания и культивации почв, призванных существенно повысить плодородие сельскохозяйственных угодий и привести к повышению эффективности производства продукции [1].

Под методами окультуривания почв понимают длительный комплексный процесс изменения изначальных природных свойств почвы для повышения плодородия, включающий в себя применение минеральных и органических удобрений, известкование, генерацию пахотного слоя, сидерацию почв, мелиорацию или дополнительное увлажнение почв и тому подобные мероприятия, в процессе которого почва претерпевает структурные изменения, зависящие и от особенностей исходного состава, и применяемых агротехнических методов обработки [2].

Основными исходными данными, на основании которых создаются конкретные карты обработки тех или иных сельскохозяйственных угодий, являются данные о типе пахотного горизонта, представляющего собой верхний слой почвы, обрабатываемый для улучшения ее физической и химической структуры, влагоемкости и влагопроницаемости, улучшаемый внесением органических и неорганических удобрений.

В связи с тем, что ошибка в определении типа почвы при назначении алгоритмов окультуривания и культивации может привести к существенным потерям продуктивности угодий [3], для правильного определения типа почв проводится широкий набор физико-химических, физико-механических, биологических, химических и агрохимических свойств почвы [4].

Однако в связи с тем, что в зонах рискованного земледелия контроль типа пахотного горизонта придется производить постоянно (в связи с высокой степенью его изменчивости от погодных условий и предвыдущей истории обработки участка), подобные комплексные исследования являются дорогостоящими и поэтому экономически нецелесообразными для мелких сельскохозяйственных производителей, осуществляющих обработку небольших по площади приусадебных и дачных участков [5].

Однако на сегодняшний день для них разработаны и доступны для использования достаточно эффективные методы определения почв по косвенным признакам, одним из которых является метод фито-индикации [6], основанный на том, что на каждом конкретном типе природных почв произрастает конкретный набор растений-индикаторов. В частности, мята полевая, черника, бухарник, щавель кислый, эрика, хвощ характерны для кислых почв; люцерна посевная, фиалка полевая и льнянка – для щелочных почв; крапива двудомная, лебеда, лютик едкий, крестовик и купырь указывают на высокое содержание азота в почве, а морковь дикая, очинки и пупавка, наоборот, сообщают о низком уровне почвенного азота;

одуванчик и лютик ползучий являются маркерами глинистых и суглинистых почв, а наличие в травостое коровяк и звездчатка средняя говорит о песчаной почве и т.п. [7].

В связи большим разнообразием почв, распространенных в Российской Федерации, для качественно проведения определения полного их состава необходимо использование нескольких сотен растений-индикаторов. Это приводит к тому, что самодеятельный агроном в большинстве случаев не может эффективно использовать возможности метода фито-индикации для определения типа почвы, поскольку не обладает существенным набором знаний в области ботаники. Усложняет применение метода фито-индикации и то, что внешний вид конкретных растений фито-индикаторов в условиях густого травостоя может сильно отличаться от «справочно-эталонного» [8].

Для автоматизации процесса определения типа почвы методом фито-индикации предлагается использование обработки фотографических изображений травостоя, характеризующего исследуемый участок, основанной на применении алгоритма сверточной нейросети [9]. При этом предлагаемый автоматизированный метод определения типа почвы методом фито-индикации фактически сводится к предобучению нейросети распознаванию растений-индикаторов для дальнейшего определения при обработке фотоизображений травостоя исследуемого участка.

Исходными данными для предварительного обучения нейросети послужили маркированные изображения растений-индикаторов 86 видов в общем количестве 15600 образов, полученные из открытых источников с использованием референтных изображений, приведенных в [10, 11].

В связи с тем, что по целому ряду видов растений-индикаторов не удалось набрать необходимое количество изображений, при создании базы образов, на которых на начальном этапе проводилось предварительное обучение создаваемой нейросети фито-индикации, пришлось использовать методы искусственного расширения референтной базы образов, в том числе:

- технологию перемешивания примеров;
- метод горизонтального поворота;
- технологию деформации изображений [12].

Применение технологии перемешивания примеров основывается на том, что сверточные нейросети обучаются существенно быстрее в том случае, если в качестве предобучающих данных подаются непредсказуемые примеры из обучающей выборки. Для этого обучающая выборка данных предварительно перемешивается, расширяясь частично-реплицированными образами, после чего подается на вход системы распознавания.

Метод горизонтального поворота обеспечивает увеличение количества образов, используемых при предобучении, путем создания зеркальных аналогов уже существующих изображений, что существенно позволяет ускорить процесс предобучения из-за фактического удвоения обучающих примеров. При этом обучаемая нейросеть получает дополнительную информацию о линиях и дугах, находящихся в ином (т. е. зеркальном) ракурсе.

Технология предварительной деформации предобучающих образов использовалась не только для того, чтобы увеличить объем обучающей выборки, но и затем, чтобы обучаемая нейронная сеть смогла бы «понимать» исходные изображения, невзирая на небольшие «шумы» входных данных. При этом фотоизображения из исходного массива предварительно проходили стадию подготовки, включающую наложение контрастных внешних теней, а также локальных линейных и нелинейных искажений формы.

Указанные методы предварительной обработки ограниченных массивов исходных данных позволили существенно повысить качество наличия отдельных растений-индикаторов на фотоизображениях разреженного и равномерно подсвеченного в условиях профессиональной фотосъемки травостоя.

Однако в условиях «реальной» полевой съемки травяного покрова земельного участка, на котором требуется применение метода фито-индикации почвы, на камеру смартфона для

получения фотоизображений, существует ряд причин, усложняющих получение удовлетворительного варианта, а именно:

- в условиях загущенного травостоя, приводящего к взаимному затенению произрастающих растений, внешний вид большей части из них оказывается существенно отличным от эталонно-референтных, имеющихся в базах данных атласов-определителей,
- в условиях совместного произрастания и малой цветовой контрастности части отдельных растений оказываются на изображении взаимно перекрытыми, что приводит к затруднениям в идентификации принадлежности отдельных частей растений,
- при наличии избыточной освещенности, обычно возникающей при съемке в солнечный день, излишне контрастные тени, отбрасываемые частями растений, часто приводят к дублированному определению растения-индикатора еще и по его тени,
- внешний вид большей части растений-индикаторов сильно меняется в различные вегетативные периоды, что тоже сильно затрудняет их распознавание.

Учет перечисленных выше особенностей «полевой» регистрации участков, подвергающихся фито-индикации, был осуществлен тремя различными группами действий.

Первая группа мер, направленных на повышение качества распознавания единичных растений-индикаторов, касалась разработки унифицированных условий фотосъемки [8, 9] травостоя, которые состояли в том, что:

- фотосъемка полевого объекта исследования должна проводиться в сухую, несолнечную и безветренную погоду с разрешением камеры не меньше, чем 4 Мр,
- объектом съемки не должны становиться полегшие или поврежденные иным образом участки травостоя,
- на первом этапе для объекта фотофиксации травяного покрова должен выбираться квадратный участок около 10 м², съемку которого необходимо проводить «с рук» с четырех различных направлений, на втором этапе производится оптически приближенная съемка каждого из четырех составляющих участков квадрантов с двух направлений (получившиеся таким образом 12 изображений должны составлять единый универсальный фотосет фито-индикации).

Вторая группа мер, направленных на повышение качества распознавания, касалась добавления в число технологий предварительной обработки референтных образцов, предшествовавших обучению нейросети, метода «дробления искаженных референтных образов», заключающегося в последовательной трансформации референтного образа и разделении его на отдельные фрагменты, попадающие в базу обучающих образов в качестве независимых тестовых образцов и чем фактически проводилась имитация генерации отдельных частей референтных образов растений-индикаторов, произрастающих в условиях загущенного травостоя.

Третья группа мер, которую хотя и не удалось реализовать в полном объеме для всей выборки растений-индикаторов, касалась включения в обучающую выборку референтных образов, принадлежащих растениям, находящихся на различных этапах вегетации [10, 11]. Причем стоит отметить, что дальнейшими планами развития метода предусмотрено включение в методику «временной составляющей», учитывающей календарное время проведения съемки, что, в свою очередь, потребует существенного расширения базы обучающих образов.

Перечисленные выше способы повышения качества фотосъемки травостоя на исследуемом участке и предварительной обработки исходных массивов референтных данных образов растений-индикаторов позволили повысить качество предсказаний типа пахотного горизонта при проведении полевых испытаний предложенного автоматизированного метода фито-индикации на полигоне МГУ «Чашниково» (Московская область) до 92%, что является вполне приемлемой величиной для дальнейшего построения оптимального алгоритма культивирования почвы в условиях сельскохозяйственного производства.

Дальнейшими направлениями проведения работ по совершенствованию предложенного автоматизированного метода определения типа почв методом фито-индикации является расширение референтной базы образов, использующихся для предварительного обучения сети, собственными образами растений-индикаторов, получаемыми в автоматическом режиме при проведении обработки каждого конкретного фото сета.

Литература

1. Шишов Л. Л., Дурманов Д. Н., Карманов И. И., Ефремов В. В. Теоретические основы и пути регулирования плодородия почв. М, «Агропромиздат», 1991. 305 с
2. Бондаренко Н. Ф. Программирование урожаев и его значение в повышении плодородия почв /Н.Ф. Бондаренко //Плодородие почв и пути его повышения /ВАСХНИЛ. М.: Колос, 1983. С. 25-30.
3. Ковда В. А. Биосфера, тенденции её изменения и проблемы сельского хозяйства //Социальные аспекты экологических проблем /В.А. Ковда-М., 1982. С. 211-219.
4. Валько В. П., Щур А. В. Особенности биотехнологического земледелия / В.П. Валько, А. В. Щур; М-во сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь, УО "Белорусский государственный аграрный технический университет". Минск: БГАТУ, 2011. 192 с.
5. Курец В. К. Статистическое моделирование системы связей растение среда /В.К. Курец, Э.Г. Попов. Л.: Наука, 1991. 152 с
6. Костычев П. А. Почвоведение / П. А. Костычев; под ред. В. Р. Вильямса. М.: Издательство Юрайт, 2019. 315 с.
7. Казеев К. Ш., Колесников С. И., Вальков В. Ф. Биологическая диагностика и индикация почв: методология и методы исследований. Ростов н/Д: Изд-во РГУ, 2003. 216 с.
8. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта /Б.А. Доспехов. М.: Агропромиз. 1985. 352 с.
9. Келби С. Цифровая фотография. Т.1 / С. Келби. - Москва: Вильямс, 2016. 256 с
10. Борисова И. В. Сезонная динамика растительного сообщества / Полевая геоботаника. Т. 4. Л.: Наука, 1972. С. 5-94.
11. Лынов Ю. С. Связь феноклиматических показателей с продолжительностью периодов общей и активной вегетации // Вопросы агрометеорологии и агроклиматологии. М.: Гидрометеиздат, 1985 Т.93. С. 67-71.

УДК 664-492.2

**ОБЗОР ЭКСТРУДИРОВАННЫХ СНЕКОВ: ТЕХНОЛОГИЯ
И ОБОРУДОВАНИЕ ОБРАБОТКИ****Молдованов Д.В.¹****Научный руководитель – д.т.н, профессор Алексеев Г.В.¹**¹Университет ИТМО

Быстрый ритм жизни увеличивает спрос на полуфабрикаты. Здоровый образ жизни обеспечивает новые требования к качеству снежков. Пищевая ценность продуктов питания становится все более важной для потребителей. Таким образом, современный рынок полуфабрикатов требует производства закусок с высокой пищевой ценностью на основе сочетания растительных и животных материалов. В этом случае побочные продукты перерабатывающей промышленности используются для обогащения пищевых продуктов пищевыми волокнами и белками. Всем этим требованиям отвечает метод экструзии. Во время экструзии термическая и механическая энергия воздействует на материалы, вызывая химические и структурные изменения, что увеличивает пищевую ценность продукта. Производство качественных снежков требует точного подбора таких параметров, как скорость подачи, скорость вращения шнека, температура и давление в рабочих камерах, состав и влажность материалов, органолептические свойства. Потребности продовольственного рынка тесно связаны с разработкой новых снежков и совершенствованием существующих технологических процессов, которые требуют исследования компонентов смеси, параметров процесса и конструкции оборудования.

Ключевые слова: экструзия, экструдат, снежки, пищевая промышленность, органолептические свойства, пищевая ценность.

Современный стремительный образ жизни приводит к популяризации полуфабрикатов. Одним из наиболее перспективных сегментов рынка полуфабрикатов является сегмент снежков (Euromonitor International). Снежки – это «готовые к употреблению» продукты, зачастую с высокой пищевой ценностью. Уровень потребления закусок зависит от их органолептических свойств. Снежки в основном употребляют люди в возрасте до 50 лет - наиболее активными потребителями являются молодые люди от 16 до 23 лет (43,3%) и люди среднего возраста (33,3%). Большинство респондентов покупают закуски не реже одного раза в неделю (36,7%), раз в 2 – 3 недели (30%) или только 10% ежедневно (Euromonitor International) [1]. Весь ассортимент снежков делится на две группы: сладкие (кукуруза, попкорн, печенье, вафли, мармелад, шоколадные батончики) и соленые (чипсы, экструдаты, орехи, крекеры, сушеная рыба, копченый сыр и др.) Основные свойства закусок – удобство употребления, привлекательный внешний вид и консистенция, легкость регулирования размера порций. Некоторые исследователи (Duzier, 2001; Singh et al., 2007; Alam et al., 2016) отмечают высокое содержание сахара, соли и жиров в закусках и высокую калорийность, что негативно сказывается на здоровье человека. Вышеописанные проблемы можно решить подбором рецепта и подбором метода лечения. Из-за всемирной популярности здорового образа жизни спрос на такие «нездоровые» закуски снижается, но возрастает на закуски с высокой пищевой ценностью. Производство снежков методом экструзии - один из наиболее эффективных методов. Экструзионная обработка позволяет получать закуски с высокими, важными для потребителя органолептическими свойствами, без жарки в масле, добавления сахара и ароматизаторов. Экструзия сочетает в себе такие физические процессы, как смешивание, транспортировка, температурное воздействие и гомогенизация под высоким давлением. На последнем этапе обработки сырье пропускается через экструзионную головку и принимает форму, текстуру и размер, привлекательные для потребителей. Экструзионная обработка становится все более популярной по сравнению с традиционными методами из-за ее автоматизированного управления, высокой мощности, непрерывности процесса, высокой эффективности, гибкости и адаптируемости, низкой стоимости. Специально подобранные комбинации ингредиентов и современные методы экструзионной обработки могут быть объединены для создания новых закусок с высокой питательной ценностью, учитывая, что

потребители ищут здоровые продукты с новой текстурой и вкусом в сочетании с удобством потребления продукта (Pamies et al., 2000) [2].

Экструзия – это уникальная технология переработки продуктов пищевого сырья, которая позволяет получать различные, такие как детское питание, модифицированные крахмалы, белковые текстуры, жевательную резинку, разные сладости, сухие завтраки, продукты быстрого приготовления и снеки. Экструзионная обработка пищевых продуктов применяется более 50 лет. На сегодняшний день ассортимент экструдированных пищевых продуктов насчитывает более 400 наименований, в том числе закуски. Экструзия – это принудительный поток сырья через фильеру при различных рабочих параметрах (Alam et al., 2016). Тепловое воздействие и сдвиг приводят не только к физическим, но и к химическим изменениям в сырье: желатинизации крахмала, денатурации белка и инактивации ферментов, микробов и многих антипищевых факторов, образования соединений, придающих цвет, вкус и аромат.

По влиянию сырья процесс экструзии классифицируется как: холодная экструзия, характеризующаяся только механическим воздействием на сырье с влажностью 30 – 60 % (макаронные изделия, мясные полуфабрикаты, колбасы и т.д.); теплая экструзия, характеризующаяся механическим и термическим воздействием на сырье с влажностью 20 – 30 % (нерасширенные снеки, корма для домашних животных, рыбные пасты и т.д.); горячая экструзия, характеризующаяся преобразованием механической энергии в тепловую; высокая скорость и напор; регулярная подача тепла от внешних источников; сопровождается кардинальным изменением качественных свойств сырья с влажностью 10 – 20 % (расширенные готовые закуски, сухие завтраки) [3]. Принцип экструзивного процесса не от типа: сырье загружается в корпус экструдера, в котором захватывается и дальше транспортируется витками шнека, в результате чего массой заполняется все межвитковое пространство и кольцевой зазор между шнеком и корпусом, далее по мере движения масса сжимается (уменьшается рабочий объем внутри корпус экструдера, что приводит к росту сопротивления), переходит в расплав (при горячей экструзии) или пластифицируется (при холодной и теплой экструзии) и впрессовывается через формирующие отверстия матрицы, при горячей экструзии вследствие взрывного испарения влаги происходит образование и фиксация расширенной с развитой пористостью структуры продукта. Форма отверстий определяет форму готового продукта: цилиндры, шарики, спиральки, колечки, трубочки, ракушки, звездочки и т.д (Bordoloi & Ganguly, 2014).

Высокий экономический эффект от процесса экструзии достигается за счет замены большого комплекса производственного оборудования всего одним устройством – экструдером (Остриков и др., 2009). В настоящее время экструдеры считаются высокотемпературными кратковременными биореакторами, которые превращают сырые ингредиенты в модифицированные полуфабрикаты и готовые продукты.

Экструдеры классифицируются по типу основного компонента: поршневые, валковые, шестеренчатые, дисковые, шнековые и комбинированные. Шнековые экструдеры являются наиболее распространенными благодаря своей эффективности. Параметры шнека определяют производительность экструдера и стабильность процесса экструзии. В настоящее время сборные саморезы являются наиболее технологичными. Одношнековые экструдеры просты в изготовлении и относительно дешевы. Недостатки одношнековых экструдеров - отсутствие принудительной транспортировки, самоочистка и низкое качество перемешивания. Двухшнековые экструдеры позволяют перерабатывать широкий спектр сырья с различными типами агрегатов от муки до цельного зерна. Использование двойных экструдеров значительно снижает чистую стоимость сырья и устраняет необходимость в сушке после экструзии (Kohlgruber, 2007). Матрица – это основная формообразующая часть экструдера. По конструктивному исполнению плашки делятся на стационарные, т.е. закрепленные на корпусе, и подвижные, т.е. закрепленные на винте. Фиксированные матрицы используются чаще всего из-за их высокой надежности (Mikaeli, 2010). Есть возможность получать изделия с различными типами наполнителей, процесс называется соэкструзией. В матрицу вставляется трубка, выпускное отверстие принимает форму кольцевого канала для обеспечения выхода

экструдированного продукта. Параллельно этому процессу через трубку подается пастообразный наполнитель, затем экструдат зажимается или разрезается на некотором расстоянии, чтобы получить подушку или наполнитель (Остриков и др., 2009).

Во время экструзии термическая и механическая энергия воздействует на сырье, вызывая структурные и химические изменения, а также изменения биологической ценности продукта. Подробно: клейстеризация крахмала, денатурация белка, бета-окисление жирных кислот, разрушение некоторых витаминов, антиоксидантов, фитохимических соединений, образование ароматизирующих веществ и улучшение растворимости пищевых волокон происходят во время экструзионной обработки (Hotz & Gibson, 2007; Camacho-Hernandez et al., 2014; Alam et al., 2016) [4].

Экструзия увеличивает доступность аминокислот за счет разрушения вторичной структуры (водородных связей) в молекулах белка, а кратковременная обработка позволяет сохранить аминокислоты. На основании спектров трансформ-инфракрасной спектроскопии установлено, что экструзионная обработка не создает новых функциональных групп и устраняет возбуждает в белке сорго (Jafary et al., 2017). Желатинизация пектина увеличивает его усвояемость, так как содержание растворимых веществ увеличивается в 5 – 8 раз. При этом чем более влажная смесь экструдирована, тем больше температура желатинизации, степень желатинизации и кристалличность крахмала, меньше интервалы температуры желатинизации, энтальпия желатинизации крахмала и комплекс амилоза-липид (Jafary et al., 2017). Трансформация крахмала под воздействием тепла, влаги и механического воздействия включает структурное разрушение от крупных гранул до деполимеризации амилозы или амилопектина (Cheyne et al., 2005).

Усвояемость пищевых волокон в экструдированных закусках повышается за счет процессов трения и измельчения в экструдере. Термомеханический эффект во время экструзии вызывает перераспределение растворимых и нерастворимых соединений, и, таким образом, качество пищевых волокон в готовом продукте может быть значительно улучшено (Zambano-Zaragoza et al., 2013) [5]. Экструзия улучшает энергетическую ценность продукта за счет разрушения жировых клеток, а также увеличивает стабильность жиров за счет инактивации липазы и сохранения активности лецитина и токоферолов. Во время экструзии воздействие на молекулярном уровне и химические реакции приводят к инактивации многих пищевых ферментов и сокращению количества микроорганизмов (Forsido et al., 2019). Castells et al. (2005) представляет обзор удаления микотоксинов из злаков во время экструзии. Экструзионная обработка увеличивает пористость и конечный объем продукта, что влияет на действие желудочной кислоты на пищу. Таким образом, экструзионная обработка обеспечивает следующие свойства: улучшенные органолептические свойства за счет структурной однородности, нейтрализации неприятного запаха, увеличения содержания моносахаридов за счет деградации полисахаридов; повышенные микробиологические показатели, вызванные стерилизацией под воздействием температуры и давления; нейтрализуется или сводится к минимуму действие антипитательных факторов, что важно при переработке зернобобовых культур.

Микроструктурные характеристики закусок из экструдированного крахмала показывают изменения функциональных свойств продукта, таких как водопоглощение, водорастворимость, индекс маслопоглощения, объемная плотность, индекс расширения и вязкость теста (Wang et al., 2019; Onwulata & Konstance, 2006; Chaunier et al., 2007). Так Wang et al. (2019) на основании результатов сканирующей электронной микрофотографии определили, что экструдированный овес изменился с исходной плотно обернутой текстурой на губчатую и пористую форму с более низкой температурой желатинизации (88,00° C), чем без экструзии (91,35° C) [6].

Хрусткость - одно из важнейших свойств для потребителей (Mezreb et al., 2006). Ряд исследователей согласны с тем, что хрусткость является следствием структурных свойств продукта (Mohammed et al., 1982; Stojceska et al., 2009). В то же время Duzier (2001) оценил текстуру экструдированных закусок и обнаружил взаимосвязь между фактурными

особенностями и сенсорным восприятием потребителя. Однако, согласно Heidenrieck et al. (2004), хрусткость продукта оценивается потребителем по тактильным, кинестетическим, визуальным и звуковым ощущениям. Механические свойства экструдированных снеков являются одним из ключевых показателей качества, определяющих удобство потребления, хранения и транспортировки. Onwulata et. al. (2001) исследовали прочность экструдированных закусок, обогащенных молочной сывороткой, и обнаружили, что увеличение концентрации сыворотки значительно снижает качественные характеристики расширения и прочности. Твердость экструдатов обратно пропорциональна увеличивается с повышением содержания влаги независимо от температуры процесса (Bordoloi & Ganguly, 2014).

В настоящее время рынок требует постоянного совершенствования технологии производства закусок и новых ингредиентов для удовлетворения разнообразных и меняющихся потребностей клиентов.

Экструзионная обработка – это экологически безопасный, ресурсосберегающий и универсальный процесс, в результате которого получают легкоусвояемые, стерилизованные закуски с улучшенными вкусовыми качествами. Экструзия – один из наиболее эффективных способов разработки продуктов со сбалансированной рецептурой, обогащенных белками, витаминами и клетчаткой. Очень важно оптимизировать режимы процесса экструзии и системы управления для экономии ресурсов и обеспечения требуемого качества полуфабрикатов. Понимание взаимодействия компонентов смеси, параметров процесса и конструкции оборудования приводит к оптимизации существующих технологических процессов и приводит к разработке новых снеков.

Литература

1. Euromonitor International. Режим доступа: <http://www.euromonitor.com/fast-food/>, (Дата обращения 12.05.2021).
2. Alam M. S., Kaur J., Khaira H. & Gupta K. 2016. Extrusion and extruded products: changes in quality attributes as affected by extrusion process parameters: a review. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 56. Pp. 445–473.
3. Anderson R. A., Conway H. F., Pfetier V. F. & Grin E. L. 1969. Roll and extrusion cooking of grain sorghum grits. *Cereal Sci. Today* 14. Pp.372–375
4. Bruin S. & Jongen T. R. G. 2003. Food process engineering: The last 25 years and challenges ahead. *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.* 2. Pp. 42–81.
5. Camacho-Hernandez I. L., Zazueta-Morales J. J., Gallegos-Infante J. A., Aguilar-Palazuelos E., Rocha-Guzman N. E., Navarro-Cortez R. O., Jacobo-Valenzuela N. & Gomez-Aldapa C. A. 2014. Effect of extrusion conditions on physicochemical characteristics and anthocyanin content of blue corn third-generation snacks. *СyTA – J. of Food* 12 (4). Pp. 320–330.
6. Duzier L. 2001. A review of acoustic research for studying the sensory perception of crisp, crunchy and crackly textures. *Trends in Food Sci. & Technol.* 12 (1). Pp. 17–24.

УДК 621.577

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ХАБ - СИСТЕМА ЭФФЕКТИВНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭНЕРГИИ

Нежурин Е.В.¹Научный руководитель – к.т.н., Никитин А.А.¹¹Университет ИТМО

Система эффективного использования энергии – энергетический хаб нашла отражение во многих научных работах зарубежных авторов, например, в статьях, посвященных применению тепловых насосов, оптимизации инженерных систем зданий, технологии производства электромобилей. В чём же причина столь большого интереса к данной технологии? Как энергетический хаб помогает оптимизировать существующие системы и совершенствовать будущие? В данной работе рассмотрены эти вопросы.

Ключевые слова: энергетический хаб, возобновляемые источники энергии, ископаемые источники энергии, системы оптимизации.

Человечество в 21 веке столкнулось не только с истощением энергетических ресурсов, но и с большим количеством выбросов в окружающую среду вредных веществ. Существует множество способов получать энергию чистым и возобновляемым способом (атомные электростанции, ветряные генераторы, солнечные панели и т.д). Но ввиду особенностей, и зачастую малой производительности, данные способы всё ещё занимают лишь малый процент в общей системе обеспечения энергии, где лидирует уголь и газ (рис. 1).

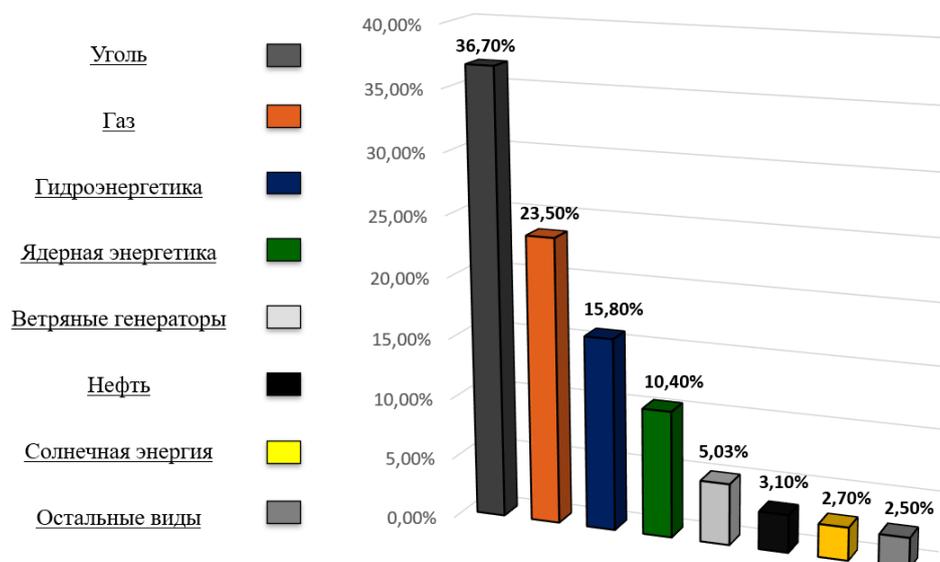


Рис. 1. Использование ресурсов

Увеличение уровня жизни и рост населения, также как и глобальное потепление, замедляют темп и масштаб глобального перехода к чистой энергии. Для того чтобы снизить эмиссию CO₂ при производстве и потреблении энергии, разрабатываются различные технологии и устройства, которые позволяют использовать энергетический потенциал существующих систем. Одной из основных проблем перехода к чистой энергии стало энергопотребление в зданиях. На данный момент на здания приходится около 30% потребления тепла и более 55% мирового потребления электроэнергии, в то же время растёт спрос на устройства для кондиционирования воздуха и бытовые приборы в зданиях. Одним из возможных решений позволяющих снизить энергопотребления и, как следствие, эмиссию CO₂, может стать внедрение энергетических хабов как в будущие системы (системы, что разрабатываются в данный момент), так и в существующие системы. Подобное решение позволит не только оптимизировать энергопотребление, обеспечить внедрение возобновляемых источников энергии, но и снизить количество выбросов в окружающую среду (рис. 2).



Рис. 2. Устройство энергетических хабов: ИИЭ - ископаемые источники энергии, ВИЭ – возобновляемые источники энергии

Технология энергетических хабов позволяет интегрировать тепловые насосы, системы охлаждения, системы отопления и нагрева, вентиляции, энергоснабжения и т.д в единую систему с выгодным потреблением ресурсов различными инженерными системами как по отдельности, так и для всего здания в целом. Концепция работы энергетического хаба заключается в следующем: тепловая энергия, электрическая или энергия охлаждения от различных источников снабжает различные инженерные системы здания в определённый момент времени, в зависимости от потребностей, в организованной структуре (рис. 3).

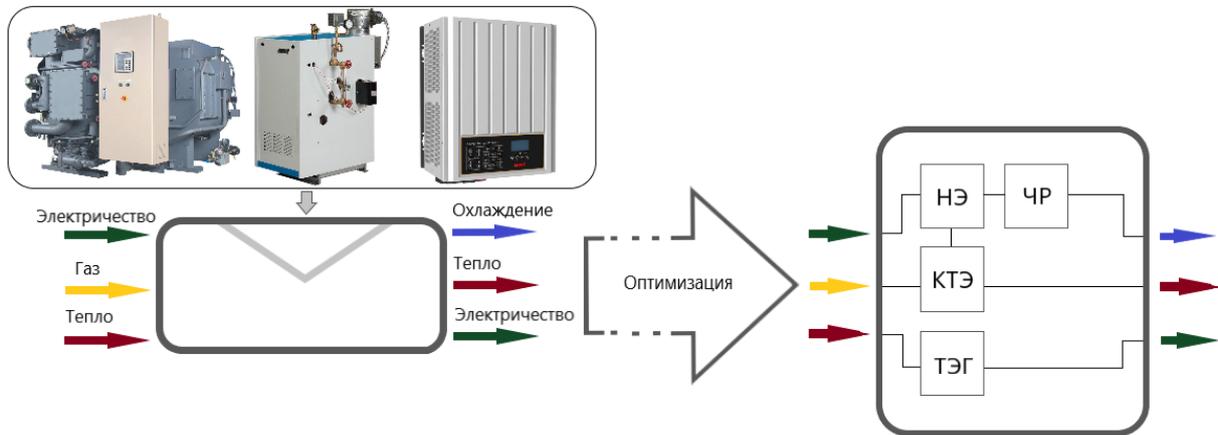


Рис. 3. Схема энергетического хаба: НЭ – накопитель энергии, ЧР – чиллер, КТЭ – комбинированное производство тепла и электроэнергии, ТЭГ – термоэнергетический генератор

Энергетический хаб может применяться в широком спектре систем. Благодаря своей гибкости, модели энергетических хабов могут использоваться с различными типами источников и носителей энергии, в зависимости же от источников энергетический хаб может быть использован для преобразования, распределения или хранения данной энергии (рис. 4).

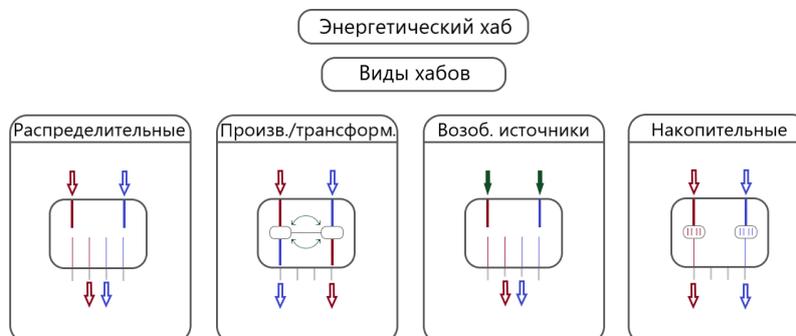


Рис. 4. Виды энергетических хабов

Источниками энергии могут быть: ископаемое топливо, биомасса, электричество от централизованных сетей или производимое на месте, бросовое (отработанное) тепло близлежащего завода, здания или сооружения. Также в зависимости от потребителей энергии,

тепловой, электрической или энергии охлаждения могут быть разные комбинации источников энергии, важно определить, какие источники лучше подходят для удовлетворения назначенных нагрузок и какие преобразователи могут обеспечить лучшую производительность в конкретный момент времени. Подобный подход позволяет энергетическим хамам оптимизировать систему в реальном времени, значительно сокращая потребление энергии и выбросы вредных веществ. На рисунке 5 представлены элементы системы энергетический хаб. На рисунке 6 представлена взаимосвязь источников в системе энергетический хаб.

Элементы системы хаб, потребности/производство								
Эл. потреб./выд	Тепловой насос	Газовая турбина	Бойлер	Абс. чиллер	Котёл	Топливный элемент	Терм. эл. генератор	Накоп. энергии
Электричество	Потребляет	—	Потребляет	Потребляет	—	Выдаёт	Выдаёт	Потребляет
Газ	—	Потребляет	Потребляет	—	Потребляет	—	—	—
Тепло	—	Выдаёт	Выдаёт	Потребляет	—	—	Потребляет	Потребляет
Трансформация	Электр.-охлажд.	Газ-тепло	Электрич.-тепло	Электр.-охлажд.	Газ.вод.топл.-тепло	Хим. эн.-электр.	Тепло-электр.	—
Топливо	—	—	Потребляет	—	Потребляет	Потребляет	—	—
Охлаждение	Выдаёт	—	—	Выдаёт	—	—	—	—
Водород	—	—	—	—	—	Потребляет	—	—

Рис. 5. Элементы системы энергетический хаб

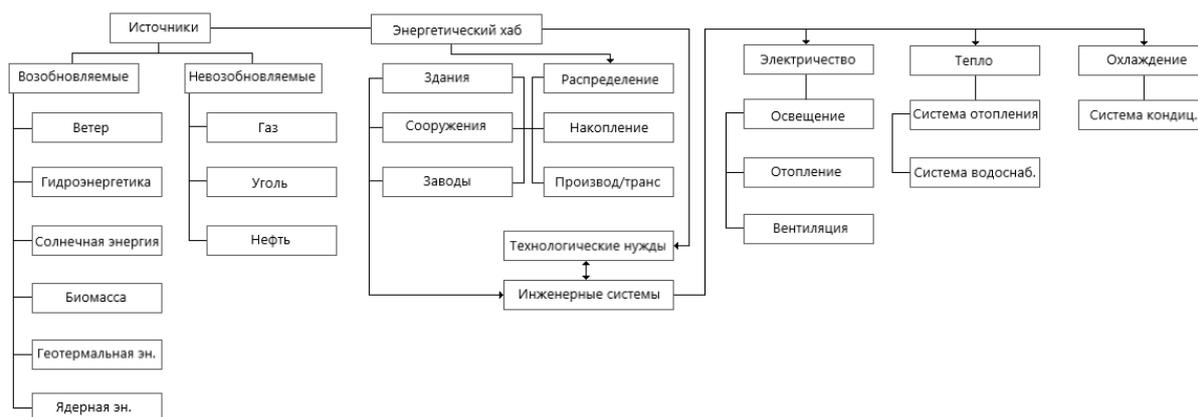


Рис. 6. Взаимосвязь источников в системе энергетический хаб

Прогресс технологий не стоит на месте, с растущим количеством выбросов вредных веществ и потреблением ресурсов, новые технологии возобновляемых источников энергии справляются недостаточно быстро, поэтому так важно оптимизировать существующие системы. Энергетический хаб как технология оптимизации ещё не раскрыла свой потенциал в полной мере, но уже сейчас можно сказать, что данная технология позволит решить одну из главных проблем, а именно сокращение энергопотребления и эмиссии углекислого газа. Поэтому всё больше научных исследований систем будущего включают данную технологию, ведь в наше время необходимо учитывать не только эффективность и экономическую релевантность системы, но и количество вредных выбросов в окружающую среду.

Литература

1. Mohammad Mohammadia, Younes Noorollahia, Behnam Mohammadi-ivatloob, Mehdi Hosseinzadehc, Hossein Yousefia, Sasan Torabzadeh Khorasanid, «Optimal management of energy hubs and smart energy hubs – A review» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032118300601> (дата обращения: 25.03.2021).
2. Mohammad Mohammadia, Younes Noorollahia, Behnam Mohammadi-ivatloob, Hossein Yousefia, «Energy hub: From a model to a concept – A review» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032117310985> (дата обращения: 26.03.2021).

УДК 504.06

ВЫЯВЛЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЗНАЧИМЫХ АСПЕКТОВ В ЖИЗНЕННОМ ЦИКЛЕ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО МОДУЛЯ

Пичугина К.А.¹

Научный руководитель – ст. преп. В.А. Савоскула¹

¹Университет ИТМО

Работа выполнена в рамках темы НИР № 620153 «Снижение теплопроводности в экологически безопасных термоэлектриках за счет низкоразмерных эффектов и наноструктурирования».

В данном докладе рассматриваются методологические основы оценки экологической эффективности термоэлектрических модулей с учетом экологических воздействий в жизненном цикле продукта.

Ключевые слова: энергия, термоэлектрический модуль, ОЖЦ, альтернативный источник энергии, продукт.

Поиск новых источников энергии и разработка альтернативных методов производства энергии - главные приоритетные задачи человечества в новом тысячелетии. Альтернативная энергия - это комбинация многообещающих методов получения, передачи и использования энергии, которые не так широко распространены, как традиционные, но интересны своей рентабельностью и в целом низким риском нанесения ущерба населению. Вот почему многие ученые пытаются найти новые источники энергии. Таким источником энергии может служить термоэлектрический модуль. Несмотря на то, что термоэлектрический модуль в целом можно отнести к альтернативным источникам энергии, на протяжении всего жизненного цикла этого продукта, от добычи необходимых материалов до утилизации, существуют процессы, которые несут с собой экологические аспекты. Чтобы снизить негативное влияние термоэлектрического модуля на окружающую среду при его производстве, эксплуатации и утилизации, необходимо использовать метод ОЖЦ. Следовательно, при оценке жизненного цикла термоэлектрического модуля основной задачей будет оценка и снижение воздействия на окружающую среду. При этом учитывается влияние не только на стадии окончательной утилизации, но также на стадиях производства и использования этого продукта. Кроме того, ОЖЦ термоэлектрического модуля позволит выявить основные экологические аспекты жизненного цикла продукта и повысить эффективность на разных этапах жизненного цикла продукта [1].

Термоэлектрическая генерация - один из наиболее перспективных и в некоторых случаях единственный доступный метод прямого преобразования тепловой энергии в электрическую. В таком преобразовании нет взаимной связи, как в случае тепловой или атомной электростанции, где тепловая энергия преобразуется в механическую, а затем механическую энергию в энергию [2]. Среди преимуществ, определяющих приоритет термоэлектрического модуля при выборе, среди прочего, отсутствие движущихся частей во многих приложениях, и одним из следствий является отсутствие вибраций, а также необходимость использования жидкостей и / или газов под давлением. Высокое давление (преобразование происходит в самом термоэлектрическом веществе) зависит от пространственного положения и наличия силы тяжести. Термоэлектрические модули можно использовать при больших и малых перепадах температур. Термоэлектрическое преобразование универсально и позволяет использовать практически любой источник теплового потока, даже с небольшими перепадами температуры, когда другие методы преобразования не могут быть использованы. Термоэлектрические модули являются альтернативным источником экологической электроэнергии, они позволяют получать электроэнергию от генераторного модуля мощностью до 40 Вт. Для получения энергии 3,53 кВт необходимо 10 термоэлектрических модулей ТВ-199-2,0-0,8. модель с размерами 55 × 55×3,7 мм [3].

Оценка жизненного цикла – это сбор информации, сравнение и оценка входных и выходных потоков, а также возможных воздействий на окружающую среду в течение всего жизненного цикла продуктовой системы: от получения сырья, природных ресурсов до окончательной утилизации в окружающую среду. ОЖЦ – это один из инструментов управления окружающей средой, который позволяет сравнивать и выбирать наиболее экологически чистый продукт или услугу [4].

Согласно методике ОЖЦ на рисунке 1 была составлена схема жизненного цикла ТЭМ.

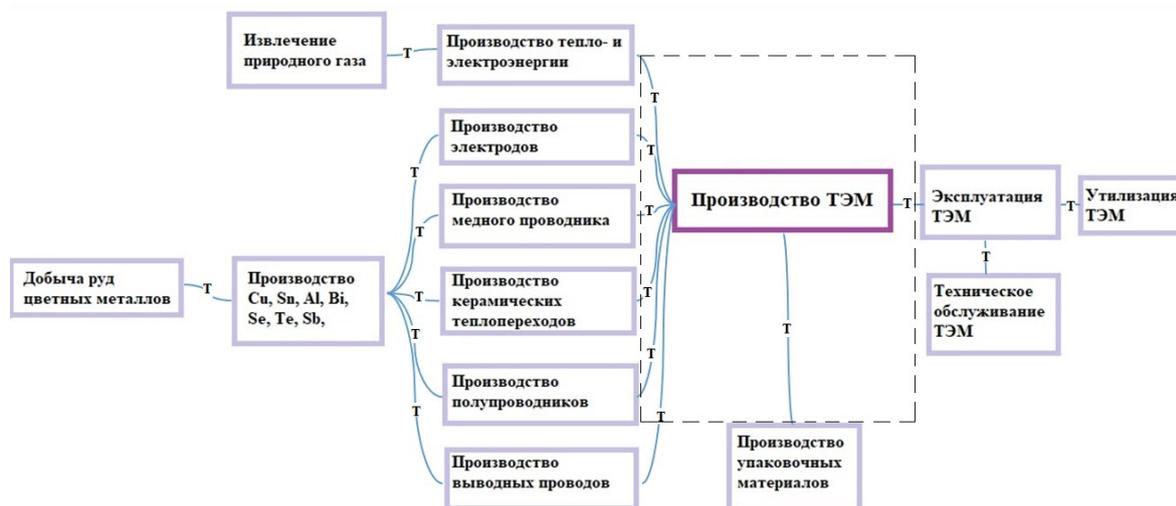


Рис. 1. Модель ЖЦ ТЭМ

Также был осуществлен выбор границ продукционной системы по принципу «От колыбели до ворот»:

- добыча природного газа;
- производство и транспортировка тепло- и электроэнергии;
- добыча металлических полезных ископаемых (Al, Bi, Cu, Sb, Se, Sn, Te);
- производство электродов;
- производство медного проводника;
- производство керамических теплопереходов;
- производство полупроводников;
- производство выводных проводов.

На основе схемы жизненного цикла данного продукта была составлена общая блок-схема рассматриваемой продукционной системы с указанием входных и выходных потоков, приведенных к функциональной единице, представленная на рисунке 2.

Входные потоки – это потоки продукции, материалов или энергии, поступающие в единичный процесс. Выходными потоками являются потоки продукции, материалов или энергии, выходящие из единичного процесса. Так, на первой стадии входными потоками являются Al, Bi, Cu, Sb, Se, Sn, Te и электроэнергия, выходные потоки – пыль электрофильтров и шламы газоочистки. На стадии выращивания кристаллов и их нарезки входными потоками являются очищенные Al, Bi, Cu, Sb, Se, Sn, Te, а также электроэнергия, выходные потоки – выбросы в атмосферу таких соединений, как HF, SO₂, CO₂ и CO. На стадии сборки ТЭМ входными потоками являются керамические теплопереходы, полупроводники, медный проводник, электроды, реагенты (HCl и HNO₂) и электроэнергия, выходные потоки – выбросы в сточные воды таких соединений, как HCl и HNO₂, а также отходы сборки ТЭМ. На стадии шлифовки и промывки ТЭМ входными потоками являются вода и электроэнергия, выходные потоки – твердые частицы и выбросы в сточные воды таких соединений, как HCl, NH₄ и CuO. На стадии пайки проводов входными потоками являются выводные провода, паяльная паста и электроэнергия, выходные потоки – выбросы в атмосферу таких соединений, как CO, Pb и SnO. На конечной стадии упаковки ТЭМ входными потоками являются упаковочные материалы и электроэнергия, выходные потоки – отходы упаковки.

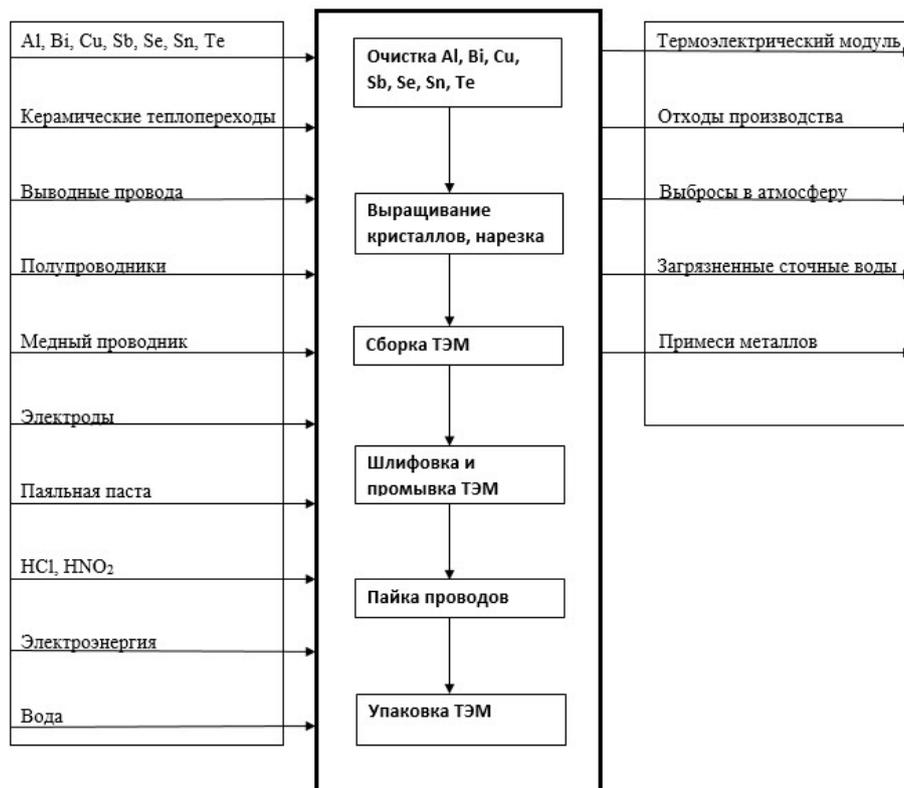


Рис. 2. Блок-схема рассматриваемой производственной системы

Далее рассчитывается показатель категории входных потоков MIPS для ТЭМ. MIPS – материальный (энергетический) вход в течение всего жизненного цикла продукта на единицу его полезности [5]. Каждый входной поток рассчитывается для трех категорий ресурсов: абиотические ресурсы, вода, воздух. На рисунке 3 показано, что при производстве ТЭМ наибольший расход приходится на абиотические ресурсы.

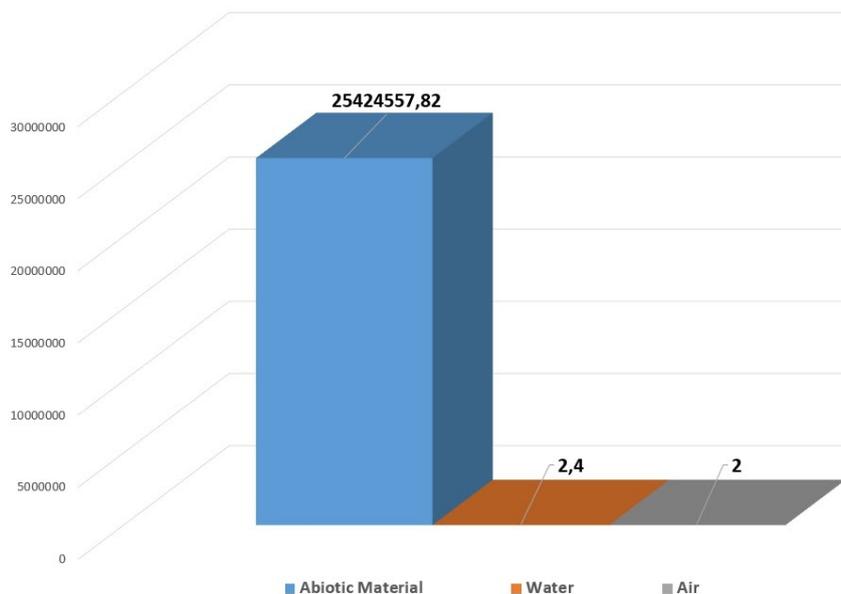


Рис. 3. Распределение по категориям воздействий входных потоков ЖЦ ТЭМ

После этого рассчитывался показатель категорий выходных потоков для ТЭМ. Каждый выходной поток рассчитывался для четырех категорий воздействия: потенциал закисления, потенциал этерификации, потенциал фотохимического смога, потенциал глобального потепления. На рисунке 4 показано, что при производстве ТЭМ наибольшее воздействие приходится на потенциал фотохимического смога и на потенциал закисления.

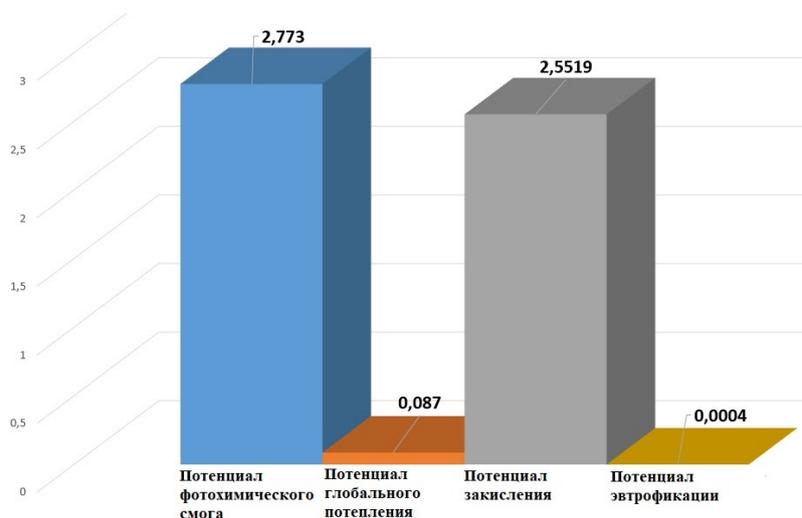


Рис. 4. Распределение по категориям воздействий выходных потоков ЖЦ ТЭМ

Хотя термоэлектрический модуль в целом можно отнести к альтернативным источникам энергии, на протяжении всего жизненного цикла этого продукта, начиная с добычи материалов, необходимых для утилизации, существуют процессы, которые несут с собой экологические аспекты. Например, добыча металлов – это процесс, отрицательно влияющий на абиотические ресурсы. Для снижения негативного воздействия термоэлектрического модуля на окружающую среду при его производстве, эксплуатации и утилизации необходимо использовать метод ОЖЦ. Поэтому при оценке жизненного цикла термоэлектрического модуля основной задачей будет оценка и снижение воздействия на окружающую среду. При этом учитывается влияние не только на стадии окончательной утилизации, но также на стадиях производства и использования этого продукта. Кроме того, ОЖЦ термоэлектрического модуля позволит выявить основные экологические аспекты жизненного цикла продукта и повысить эффективность на разных этапах жизненного цикла продукта.

Данное исследование посвящено оценке воздействия на окружающую среду жизненного цикла термоэлектрического модуля. Была изучена модель ТЭМ, его схемы и границы производственной системы. Основываясь на результатах исследования, можно сделать вывод о том, что вообще производство ТЭМ является относительно безопасным производством, но нужно учитывать тот факт, что больше всего ресурсов расходуется на первой стадии ЖЦ (очистка полезных ископаемых), а также учитывать факт, что больше всего потребляется абиотических ресурсов. Также при производстве ТЭМ нужно обратить внимание на потенциал фотохимического смога и на потенциал закисления, т.к. на их долю приходится больше воздействия в сравнении с потенциалом глобального потепления и потенциалом эвтрофикации.

Литература

1. Виды альтернативной энергетики. Справка. [Электронный ресурс]. – Россия: РИА Новости / Наука, 2018-2020 – Режим доступа: <https://ria.ru> (дата обращения: 26.01.21).
2. Голдсмит Г. Применения термоэлектричества / Пер. с англ. под ред. А. Ф. Чудновского. М.: Физматгиз, 1963.
3. Термоэлектрические модули, системы охлаждения и генерации электрической энергии. [Электронный ресурс]. – Россия: «КРИОТЕРМ» 2020– Режим доступа: <https://kryothermtec.com/> (дата обращения: 27.01.21).
4. ГОСТ Р ИСО 14044-2019 Экологический менеджмент. Оценка жизненного цикла. Требования и рекомендации. Введ. 01.01.20. – М. : Национальный Стандарт Р.Ф, 2020.
5. Лидтке К, Бьенге К, Визен К. Использование ресурсов в системе производства и потребления – подход MIPS / Ресурсы. 2014.

УДК 504.03

ВНЕДРЕНИЕ НДТ ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОГО ОБРАЩЕНИЯ С ОТХОДАМИ СТРОИТЕЛЬСТВА И СНОСА

Предко К.¹

Научный руководитель – к.т.н., доцент Агаханянц П.Ф.¹

¹Университет ИТМО

В работе рассмотрена возможность внедрения в России наилучшей доступной технологии (НДТ) для эффективного обращения с отходами строительства и сноса. Проведено технико-экономическое обоснование проекта, проанализирована отечественная законодательная база в области обращения со отходами строительства и сноса (ОСС), проанализирован американский стандарт добровольной экологической сертификации LEED – LEED v4 с позиции обращения с ОСС.

Ключевые слова: наилучшая доступная технология, устойчивое развитие, экологическая сертификация, эффективное обращение с отходами, отходы строительства и сноса.

Согласно статье 28.1 «Наилучшие доступные технологии» (НДТ) Федерального закона «Об охране окружающей среды» от 10.01.2002 N 7-ФЗ [1] для предприятий первой и второй категории, чья деятельность связана с образованием большого количества отходов, необходимо внедрить наилучшую доступную технологию (НДТ) в том числе, и для эффективного обращения с отходами с отходами.

В настоящее время в России актуальна проблема обращения с отходами строительства и сноса. Согласно структуре жилищного фонда, представленной на рисунке 1, наибольшее количество зданий и сооружений (36%) было построено в 1950-х – 1990-х годах. Такие здания подлежат капитальному ремонту или сносу, в результате будет образовано большое количество отходов строительства и сноса.



Рис. 1. Структура жилищного фонда по годам постройки

Согласно исследованию, проведенному ООО «АГК-1» [2] и представленному на рисунке 2, в России 91% образующихся отходов подлежит депонированию на полигон твердых бытовых отходов (ТБО), а то время как в Швейцарии 49% отходов перерабатывается и 50% отходов подлежат энергетической утилизации посредством сжигания с получением тепловой или электрической энергии.

В России, согласно Постановлению Правительства № 1386-ПП от 26.08.2020 «Об утверждении Порядка обращения с отходами строительства и сноса в городе Москве» [3], во время проведения строительных работ необходимо:

- соблюдать отдельный сбор и накопление отходов строительства и сноса (ОСС);
- максимально направлять ОСС на утилизацию в целях уменьшения количества захораниваемых отходов;
- ставить в приоритет утилизацию ОСС перед их захоронением;
- не допускать организацию несанкционированных свалок ОСС и захламление территории.

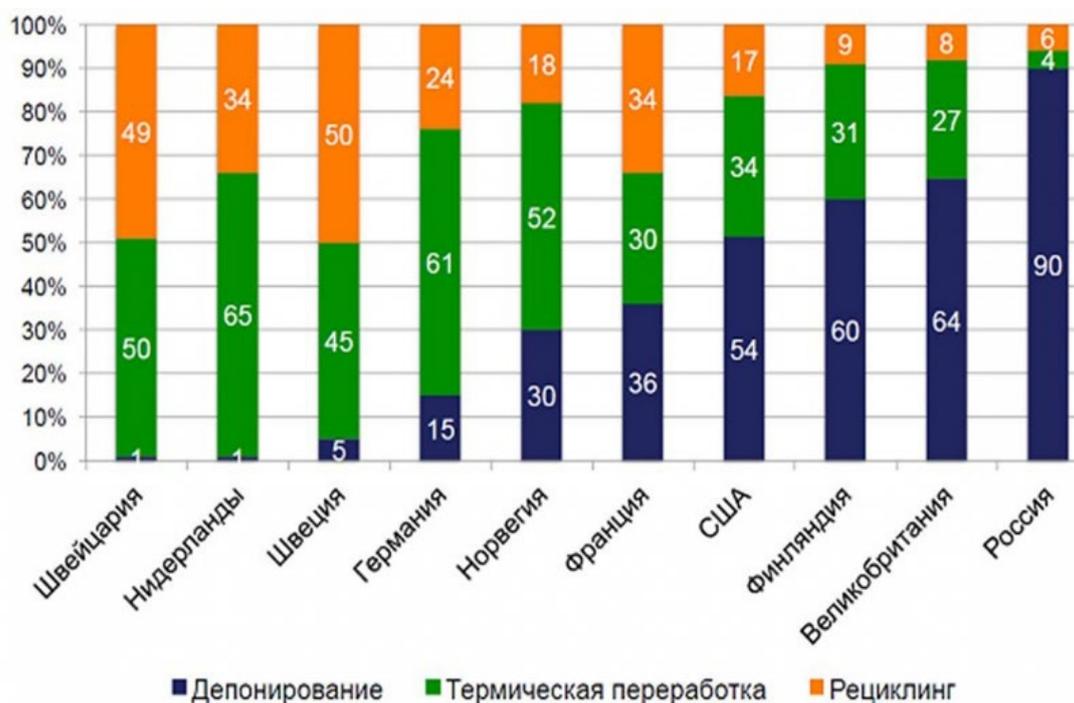


Рис. 2. Управление отходами в странах мира

Таким образом, согласно данному постановлению, необходимо внедрить технологию, позволяющую переработать отходы строительства и сноса.

Утилизация строительных отходов – это требование системы экологической сертификации, необходимой для получения сертификата соответствия для зданий или сооружения. Одной из наиболее распространенных систем добровольной экологической сертификации является система LEED и её стандарт LEED v.4 [4]. Стандарт включает в себя семь категорий оценивания, в том числе категорию «материалы и ресурсы». Обязательными требованиями данной категории являются:

- обеспечить отдельный сбор и накопление образующихся отходов;
- классифицировать пять и более видов строительных отходов для отдельного сбора и дальнейшей переработки;
- использовать строительные материалы, содержащие вторичное сырье.

Предлагаемое решение проблемы эффективного обращения с отходами строительства и сноса состоит из трех этапов:

1. Отдельный сбор и накопление отходов строительства и сноса в бункерах для сбора отходов.
2. Измельчение сортированных отходов строительства и сноса до необходимой фракции на мобильной гусеничной щековой дробильной установке Powerscreen Premiertrak 300 [5].
3. В результате получается вторичное сырье для различных отраслей промышленности.

Возможности использования измельченных строительных отходов в качестве вторичного сырья представлены на рисунке 3.

Проект нацелен на подрядные организации, непосредственно осуществляющие капитальный ремонт, строительство и демонтаж зданий, а также на Фонд капитального ремонта.

Уникальность данного проекта заключается в том, что в настоящее время в России нет предприятий для переработки отходов строительства и сноса. Данный вид отходов отправляется на полигон ТБО или становится причиной образования несанкционированных свалок.

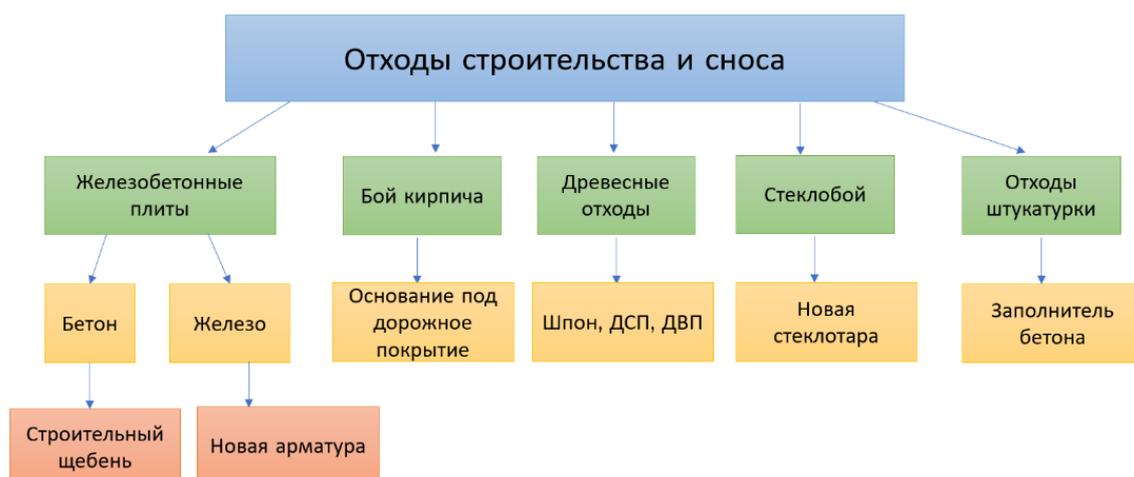


Рис. 3. Классификация и использование измельченных строительных отходов

Эффективность внедрения данной наилучшей доступной технологии была рассчитана на примере кейса «Переработка строительных отходов, образующихся в результате деятельности Фонда капитального ремонта Самарской области». Исходными данными являлись:

- количество отремонтированных зданий в 2019 г. – 683;
 - количество образующихся отходов строительства и сноса - 61 660 т/год,
- из них:

- отходы железобетона - 1080 т/год;
- отходы штукатурного покрытия - 689 т/год;
- древесные отходы (оконные деревянные рамы, обрешетка крыши) – 57 435 т/год;
- железные (кровельные) отходы- 1120 т/год;
- отходы рубероида, полимерных труб и др. - 2 456 т/год.

В процессе разработки проекта было выполнено следующее:

- проанализирована отечественная законодательная и нормативно-правовая база в области обращения с отходами;
- проанализированы экологические стандарты сертификации зданий с точки зрения обращения с отходами строительства и сноса;
- составлен бизнес-план проекта;
- произведен расчет технико-экономического обоснования проекта.

Согласно проведенному технико-экономическому обоснованию были рассчитаны затраты на реализацию проекта, представленные в таблице 1.

Таблица 1. Затраты на реализацию проекта

№	Наименование статьи затрат	Стоимость, млн руб.
1	Приобретение оборудования	13
2	Разработка проекта	1,3
3	Монтажные и пусконаладочные работы	1,4
4	Фонд оплаты труда	3,62
5	Обучение персонала	0,39
6	Налоги (на прибыль и на имущество)	15,375
7	Прочие расходы	0,26
	ИТОГО:	35,345

Также в процессе проведения технико-экономического обоснования проекта был произведен расчет рентабельности проекта. В таблице 2 представлены показатели рентабельности проекта.

Таблица 2. Показатели рентабельности проекта

Показатель	Ед. изм.	НДТ
Общие инвестиции (I_0)	млн руб.	20,250
Чистая годовая экономия (B)	млн руб.	75,189
Простой период окупаемости (PB)	мес.	3,3
Динамический период окупаемости	мес.	10
Чистая приведенная стоимость (NPV)	млн руб.	294,987
Индекс доходности (PI)	-	14,57
Внутренняя норма рентабельности (IRR)	%	36,5
Точка безубыточного производства	тыс. т	432

Таким образом, внедрение наилучшей доступной технологии для эффективного обращения с отходами строительства и сноса позволит:

- повысить возможность экономически выгодно повысить процент перерабатываемых отходов в России;
- сократить количество отходов, которые идут на полигон ТБО, и предотвратить образование несанкционированных свалок;
- достичь одиннадцатой цели устойчивого развития и решить задачу: «Сделайте города и населенные пункты открытыми, безопасными и устойчивыми»;
- соответствовать требованиям зеленых стандартов в области обращения с отходами строительства и сноса;
- проект является рентабельным: чистая годовая прибыль – 75 млн/год;
- срок окупаемости – 2,3 мес., инвестиции – 20 млн.

Литература

1. Федеральный закон «Об охране окружающей среды» от 10.01.2002 N 7-ФЗ (с изменениями на 9 марта 2021 года) – М.: Юридическое издательство 2021. Ст. 28.1.
2. Мусоросжигательный завод в Казани | Казанский репортер. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://kazanreporter.ru/> (дата обращения: 06.05.2021).
3. Постановление Правительства № 1386-ПП от 26.08.2020 «Об утверждении Порядка обращения с отходами строительства и сноса в городе Москве» - М.: Юридическое издательство 2020. 15 с.
4. Leadership in Energy and Environmental Design. (1998). The U.S. Green Building Council (USGBC). [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://new.usgbc.org/leed> (дата обращения: 06.05.2021).
5. Щековая дробилка Powerscreen Premiertrak 300/R300 | ЛОНМАДИ [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://lonmadi.ru/catalog/powerscreen/scheko-vyedrobilki/premiertrak-300-r300.html> / (дата обращения: 06.05.2021).

УДК 576.54

МЕЗЕНХИМНЫЕ СТВОЛОВЫЕ КЛЕТКИ СО СВЕРХЭКСПРЕССИЕЙ TRAIL ИНДУЦИРУЮТ АПОПТОЗ В КЛЕТКАХ МЕЛАНОМЫ ЧЕЛОВЕКА *IN VITRO*

Пухальская. Т.В.¹, Чулпанова. Д.С.¹

Научный руководитель – к. б. н, доцент Соловьева В.В.¹

¹Казанский федеральный (Приволжский) университет

Работа выполнена в рамках темы НИР №18-74-10044 «Исследование молекулярных механизмов межклеточной коммуникации и противоопухолевых эффектов искусственных микровезикул из нативных и генетически модифицированных стволовых клеток человека».

В настоящей работе была получена и охарактеризована линия мезенхимных стволовых клеток (МСК) со сверхэкспрессией родственного фактору некроза опухоли лиганда, индуцирующего апоптоз (TRAIL). Было показано, что при совместном культивировании с клетками меланомы человека (M14) жизнеспособность клеток M14 снижалась на $14,2 \pm 0,42\%$.

Ключевые слова: мезенхимные стволовые клетки, апоптоз, меланома человека, TRAIL, терапия онкологических заболеваний.

Несмотря на значительные достижения в терапии онкологических заболеваний, злокачественные новообразования по-прежнему остаются одной из основных причин смертности людей во всем мире. Мезенхимные стволовые клетки (МСК) обладают естественным тропизмом к местам локализации опухолей, благодаря чему являются перспективным вектором для доставки терапевтических агентов в опухолевое микроокружение. Генетически модифицированные МСК, экспрессирующие TRAIL, могут служить безопасным и эффективным методом терапии. TRAIL экспрессируется клетками врожденной иммунной системы: моноцитами, макрофагами, дендритными клетками, а также натуральными киллерами. В организме человека TRAIL регулирует иммунный гомеостаз и обеспечивает эффекторные функции иммунных клеток. При обеспечении иммунного ответа против опухоли TRAIL связывается с рецепторами смерти (TRAILR1/DR4 и TRAILR2/DR5), преимущественно экспрессирующихся на опухолевых клетках и запускает гибель опухолевых клеток через внешний путь индукции апоптоза. Преимуществом является то, что он, обеспечивая гибель клеток опухоли, не оказывает токсического действия на нормальные клетки. На основе этой способности TRAIL были разработаны методы лечения, такие как терапия рекомбинантным белком TRAIL (rTRAIL) или агонистическими антителами DR4 и DR5. К сожалению, несмотря на доклинический успех, клинические испытания не увенчались успехом, что объясняется нецелевой токсичностью, врожденной или приобретенной устойчивостью к терапии TRAIL [1].

В ряде работ была показана способность МСК-TRAIL индуцировать апоптоз и снижать пролиферацию клеток глиомы (GBM025, GBM079, GBM106), гепатоцеллюлярной карциномы (HepG2), меланомы (B16F0) и других опухолевых линий [2 – 4].

Методы

МСК были выделены из жировой ткани человека с использованием коллагеназы краба (Биолот, Россия), схема эксперимента показана на рисунке 1. Образцы жировой ткани были предоставлены Республиканской клинической больницей в соответствии с этическими стандартами и действующим законодательством (протокол № 3 от 23.03.2017 утвержден локальным этическим комитетом Казанского федерального университета). От донора было получено добровольное информированное согласие.

Полученные клетки культивировали на среде DMEM/F12 (ПанЭко, Россия) с добавлением 10% сыворотки плода коровы (FBS, Invitrogen, США), 2 мм L-глутамин, пенициллина (5000 ед/мл) и стрептомицина (5000 мкг/мл) (ПанЭко, Россия). Клетки меланомы человека M14 культивировали на среде DMEM с содержанием 4,5 мкг/мл глюкозы

(ПанЭко, Россия) с добавлением 10% FBS (Invitrogen, США), 4 мм L-глутамина, пенициллина (5000 ед/мл) и стрептомицина (5000 мкг/мл) (ПанЭко, Россия).

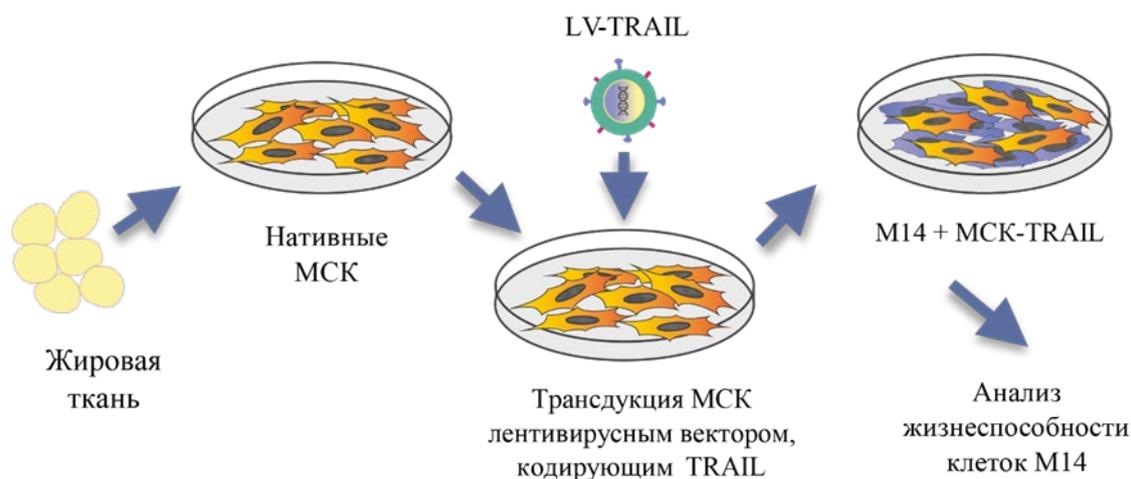


Рис. 1. Дизайн эксперимента

МСК были модифицированы лентивирусом, кодирующим ген *TRAIL* (МСК-TRAIL) или ген красного флуоресцентного белка *RFP* (МСК-RFP).

Для того чтобы оценить противоопухолевую активность нативных и генетически модифицированных МСК на жизнеспособность клеток меланомы, клетки меланомы человека культивировали совместно с нативными МСК, МСК-TRAIL или МСК-RFP. Клетки рассаживали в 6-луночный планшет в соотношении 1:1 (5×10^4 клеток каждого типа) и культивировали в течение 72 часов. Число апоптотических и некротических клеток М14 после совместного культивирования определяли с помощью набора для детекции апоптоза APC Annexin V с PI (Sony Biotechnology, США).

Результаты и обсуждение

МСК были генетически модифицированы лентивирусами, кодирующими гены *TRAIL* или *RFP*. Полученные клетки сохраняли фибробластоподобную морфологию. Экспрессия красного флуоресцентного белка RFP оценивалась с помощью флуоресцентной микроскопии. Вышеупомянутые результаты можно наблюдать на рисунке 2А и 2Б соответственно.

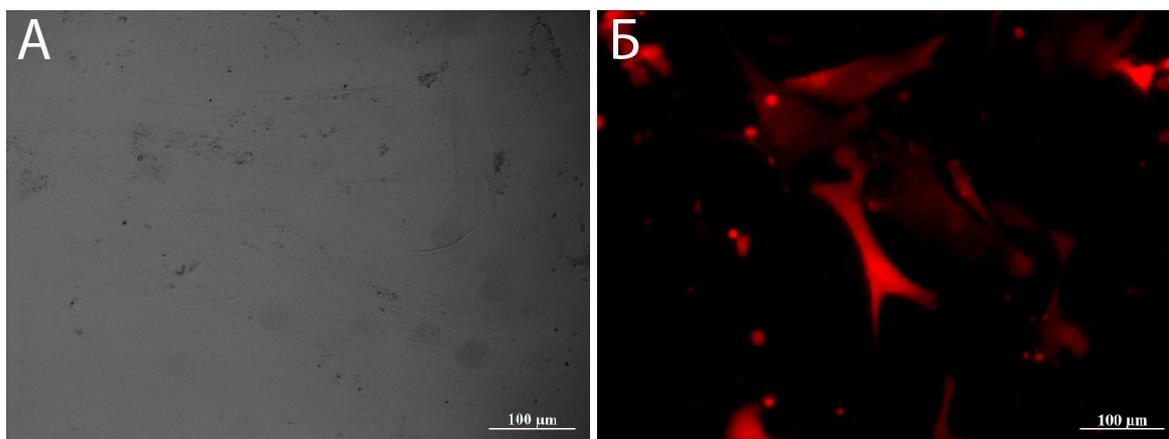


Рис. 2. Фазово-контрастная микроскопия мезенхимных стволовых клеток. Шкала: 100 мкм (А) Нативные МСК. (Б) МСК-RFP

Как видно из рисунка 3, большинство выделенных клеток экспрессировали поверхностные маркеры МСК, такие как CD29, CD44, CD73, CD90 и CD105, и были отрицательными для поверхностных маркеров гемопоэтических стволовых клеток.

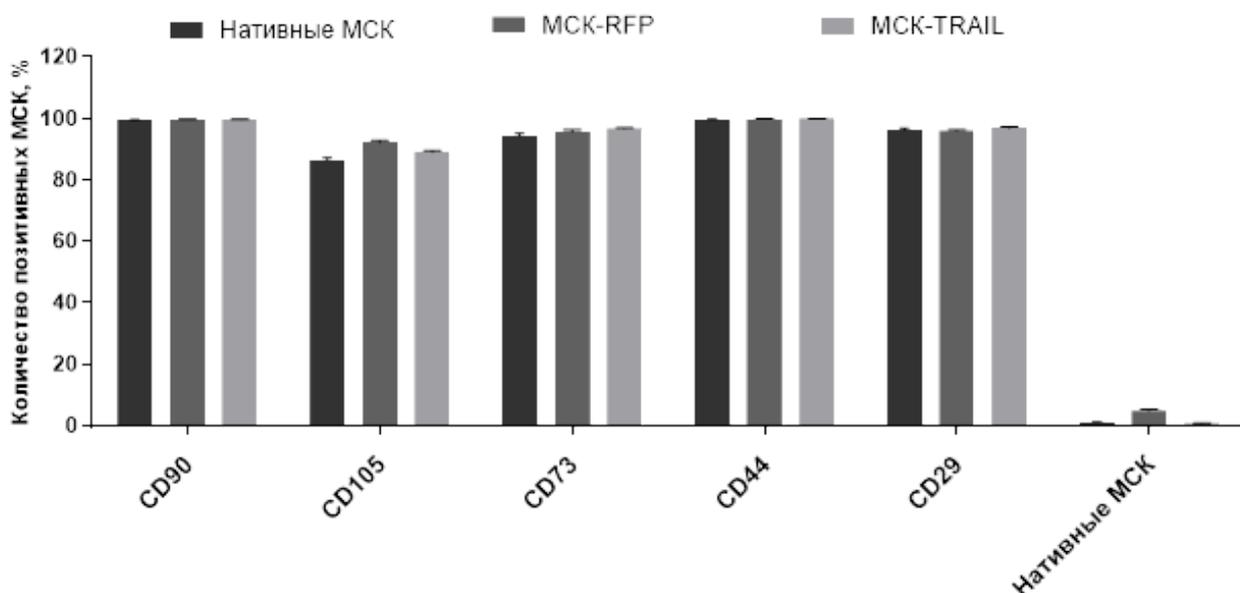


Рис. 3. Иммунофенотип нативных и генетически модифицированных МСК. Специфические маркеры МСК человека (CD 90, CD105, CD73, CD44, CD29), негативный коктейль (HLA-DR, CD11b, CD19, CD34, CD45)

Сверхэкспрессия TRAIL в полученных при помощи лентивирусной трансдукции МСК-TRAIL была подтверждена методом количественной ПЦР и вестерн блот анализом, результаты которых можно наблюдать на рисунке 4А и 4Б.

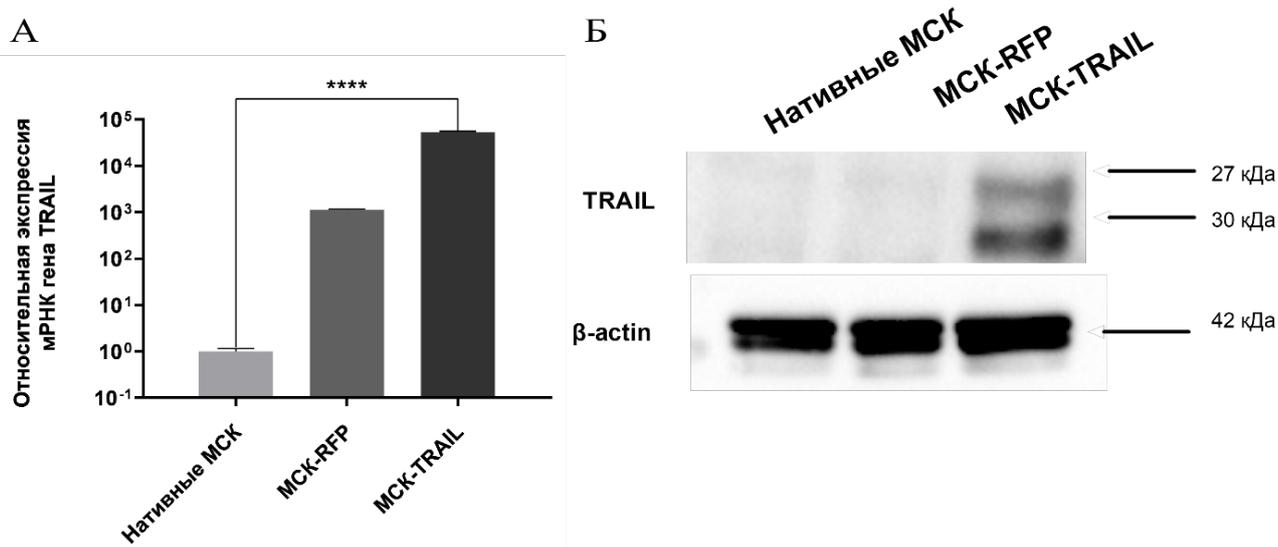


Рис. 4. (А) Относительная экспрессия мРНК гена TRAIL, **** – $p < 0,0001$. График отражает среднее значение с соответствующим им стандартным отклонением (SD) (n=3)

На рисунке 5 представлен график, отражающий относительную жизнеспособность клеток меланомы человека после их совместного культивирования с генетически-модифицированными МСК. При ко-культивировании клеток меланомы человека линии М-14 с МСК-TRAIL наблюдалось значительное снижение жизнеспособности опухолевых клеток ($79,1 \pm 0,42\%$ здоровых клеток) по сравнению с клетками, которые культивировались совместно с нативными немодифицированными МСК ($93,3 \pm 0,42\%$) или МСК-RFP ($91,75 \pm 0,49\%$).

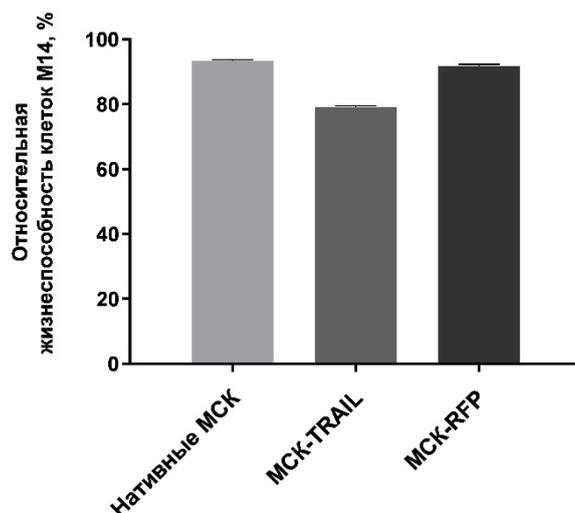


Рис. 5. Анализ жизнеспособности клеток M14 после культивирования с нативными и генетически модифицированными МСК

Схожие результаты были получены Shamili FH с соавторами. Задачей исследователей было оценить противоопухолевую активность экзосом, полученных из генно-модифицированных МСК со сверхэкспрессией TRAIL. Экзосомы представляют собой мембранные структуры размером ~ 30-200 нм в диаметре и несут на своей поверхности маркеры клеток, из которых они были выделены. Противоопухолевую активность экзосом оценивали на *in vitro* и *in vivo* моделях. МТТ анализ показал, что при совместном культивировании клеток меланомы В16F0 с экзосомами МСК-TRAIL количество жизнеспособных клеток значительно уменьшилось при концентрациях экзосом с TRAIL 50 мкг/мл 100 мкг/мл, 150 мкг/мл. Однако при концентрации 200 мкг/мл значимых различий между экзосомами МСК-TRAIL и экзосомами из нативных МСК не наблюдалось. Совместное введение опухолевых клеток и экзосом МСК-TRAIL мышам отсрочивало появление опухоли на 6 дней по сравнению с контрольной группой, однако в конце исследования никакой значимой разницы в объёме опухоли и количестве некротизированных тканей выявлено не было. Многодозовая внутривенная доставка экзосом с TRAIL после появления опухоли позволила достичь значительной противоопухолевую активность *in vivo*. Размер опухоли значительно уменьшился у мышей, получавших инъекции экзосом, выделенных из МСК, или МСК-TRAIL, по сравнению с контрольной группой ($p < 0,0001$) [4].

В последнее время внеклеточные везикулы, экзосомы и мембранные везикулы рассматриваются как перспективное средство доставки терапевтических молекул благодаря своей способности переносить содержимое родительских клеток в клетки-реципиенты. Экзосомы также обладают способностью к миграции в опухолевые ткани и воспаленные участки, подобно МСК, из которых они были получены. Таким образом, внеклеточные везикулы, полученные из МСК, могут стать перспективным инструментом для бесклеточной терапии онкологических заболеваний человека [5].

Выводы

В ходе данного исследования была охарактеризована линия мезенхимных стволовых клеток со сверхэкспрессией TRAIL, вследствие чего было выявлено, что генетически модифицированные МСК сохраняют основные характеристики МСК человека. Показано, что МСК со сверхэкспрессией TRAIL уменьшают жизнеспособность клеток меланомы человека линии M14. Полученные данные демонстрируют, что использование МСК-TRAIL может быть эффективным при лечении меланомы.

В дальнейших исследованиях нами планируется работа по созданию и исследованию противоопухолевой активности искусственных мембранных везикул, несущих на своей

поверхности TRAIL, по отношению к клеткам меланомы и другим линиям опухолевых клеток человека *in vitro* и *in vivo*.

Литература

1. Dianat-Moghadam H., Heidarifard M., Mahari A., Shahgolzari M., Keshavarz M., Nouri M., Amoozgar Z. TRAIL in oncology: From recombinant TRAIL to nano- and self-targeted TRAIL-based therapies // *Pharmacol Res.* 2020. V. 155. P. 104716.
2. Li M., Sun S, Dangelmajer S., Zhang Q., Wang J., Hu F., Dong F., Kahlert UD., Zhu M., Lei T. Exploiting tumor-intrinsic signals to induce mesenchymal stem cell-mediated suicide gene therapy to fight malignant glioma // *Stem Cell Res Ther.* 2019. V. 10(1). P.88.
3. Xu-Yong S., Jang N., Ke Q., Hong L., Mani R. M., Long-Jun D., Garth L. W. MSC-TRAIL - mediated HepG2 Cell Death in Direct and Indirect Co-cultures // *Anticancer Research.* 2011. V. 31(11). P. 3705-3712.
4. Shamili FH., Bayegi HR., Salmasi Z., Sadri K., Mahmoudi M., Kalantari M., Ramezani M., Abnous K. Exosomes derived from TRAIL-engineered mesenchymal stem cells with effective anti-tumor activity in a mouse melanoma model // *Int J Pharm.* 2018. V. 549(1-2). P. 218-229.
5. Agrahari V., Agrahari V., Mitra AK. Next generation drug delivery: circulatory cells-mediated nanotherapeutic approaches // *Expert Opin Drug Deliv.* 2017. V. 14(3). P. 285-289.

УДК 663.031.1

ЭФФЕКТИВНЫЕ 3D-СТРУКТУРЫ ДЛЯ РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩЕГО ПРОИЗВОДСТВА ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПРОДУКТОВ

Румянцева В.И.¹

Научный руководитель – д.х.н. Виноградов В.В.¹

¹Университет ИТМО

Работа выполнена в рамках темы НИР №390434 «Синтез и применение наноструктурированных чернил для 3D печати материалов широкого спектра применения».

В работе рассмотрена ферментосодержащая система с функцией регенерации, позволяющая сбрасывать остаточные продукты пищевого производства. Данные демонстрируют, что новые формы энтрапированных в нативной форме ферментов в составе пористого полимерного комплекса с управляемыми свойствами представляются исключительно востребованными для интенсификации биотехнологических процессов.

Ключевые слова: пищевая биотехнология, переработка отходов, ресурсосбережение, ферментные системы, регенерация (многократное использование).

В настоящее время все большую актуальность приобретает проблема неэффективного способа утилизации пищевых остатков, содержащих питательные компоненты – в переработку уходит не более 10 % [1]. Одним из способов ресурсосбережения в пищевой биотехнологии является использование аддитивных технологий для прототипирования различных объектов. Преимуществом 3D печати является роботизированный процесс с цифровым управлением, обеспечивающий высокий контроль условий во время загрузки и сборки системы. В связи с существенной ролью экономического фактора в производстве функциональных продуктов актуальным становится использование недорогих регенерируемых ферментных систем. Создание живых протеиновых каркасных структур для реализации данного направления позволит преодолеть трудности, связанные с нестабильностью фермента, продолжительностью его действия и многократностью использования. На сегодняшний день существует несколько таких разработок. Так, например, используется реактивация агрегированных белков или необратимо денатурированных ферментов [2], десорбция фермента со стенок реакционного сосуда [3]. Однако они не способны удовлетворить всем требованиям доступности, эффективности и безопасности. Возможность управления процессом ферментации позволит получать целевой продукт с заданной совокупностью свойств. Экструзионная объемная печать позволяет решить ряд проблем, связанных с дозированием отдельных структур общей системы и направлением их сборки.

Проблему отсутствия многократного использования ферментативных систем можно решить путем внедрения живых прокариотических клеток в устойчивые биосовместимые пористые структуры. Для создания биосовместимости многокомпонентного комплекса используются дополнительные синтетические соединения в качестве упрочнителей структуры, а также применяется отверждение ультрафиолетовыми лучами ближнего диапазона, обеспечивающее низкую степень контаминации системы после 3D печати.

Бактерии, предназначенные для биоремедиации, могут быть впечатаны в объемные конструкции с высокой степенью загрузки и наибольшей эффективностью благодаря биорегенерируемому потенциалу за счет непрерывной пролиферации клеток [4]. Для сохранения непрерывности работы системы поддерживается баланс продуктов реакции, что определяет продолжительность ее работы за один этап использования. Благодаря наличию пор в полимерном каркасе живые клетки связаны со структурой и способны выпускать экзоферменты в окружающую среду, оставаясь при этом в рабочем комплексе.

Основная идея данной работы заключается в выявлении возможности внедрения живого ферментосодержащего каркаса на этапе гидролиза твердотельных остатков хлебного производства.

Целью исследования является разработка эффективной регенерируемой белковой системы с энтрапированными живыми клетками, произведенной с помощью метода экструзионной 3D печати.

Для сравнения использовалась гидрогельобразующая экструзионная печать и печать с отверждением в ближнем ультрафиолетовом свете.

Для снижения механической нагрузки на дрожжевые клетки произвели сужение диаметра поршня с прежним объемом в 5 мл, диаметр сопла подобрали размером 200 мкм для свободного прохождения клеток дрожжей размером до 10 мкм без повреждений; произвели повышение скорости печати до 5 – 10 мм/с. Диаметр шприца с минимальным давлением составил 10 мм. Параметры решетки были подобраны в виде куба со сторонами 1 см. В качестве контроля использовалась форма висюльки капли с плотной структурой диаметром 1 см.

Сравнение двух форм наноцеллюлозы, в том числе с сульфогруппами (N-CNC 2,5 мас.% и S-CNC 2,5 мас.%), определило идентичные свойства по всем показателям: модуль вязкости биочернил, степень сжатия сшиваемых структур, модуль упругости готовых каркасов, многократность их использования, выживаемость клеток бактерий и дрожжей. Различие выявлено в способности целевых организмов, заключенных в комплексные системы, сбрасывать вторичные отходы. Кислотные группы образуют более пористые структуры, за счет чего предполагается, что выход ферментативных соединений оказывается выше. За счет действия внешних сил растворителя возможно получить функциональный препарат, активированный и оказывающий воздействие непосредственно в целевой среде.

Модуль вязкости биочернил определялся уровнем пролиферации клеток дрожжей и степенью выделения ими экзополисахаридов. Устойчивость соотношения компонентов системы определяется из соотношения наноцеллюлозы, связующего агента и энтрапированных дрожжевых клеток как 90:10 (наноцеллюлоза – дрожжи) или 90:10:9 (наноцеллюлоза - альгинат натрия - дрожжи).

Структуры формировались послойно с разрывом во времени на отверждение сшиванием в водном растворе хлорида кальция или под воздействием ближнего УФ излучения. Количество слоев при печати гидроколлоидной структуры составило порядка 10 – 15.

Анализ данных по прочности сжатия напечатанных структур показывает, что часть полимеров приобретает прочную структуру только благодаря встраиванию дополнительных молекул в их цепь, замещению радикальных групп. Дополненность полимерной композиции осуществляется энергетической бомбардировкой связанных молекул в процессе отверждения после печати.

Объем структур до и после сшивания уменьшался в обоих случаях наноцеллюлозы приблизительно на 11 %. Подтверждение биосовместимости состава биочернил проводилось посевами на плотную питательную среду. Данный эксперимент показал хорошую выживаемость дрожжевых клеток (рис. 1).

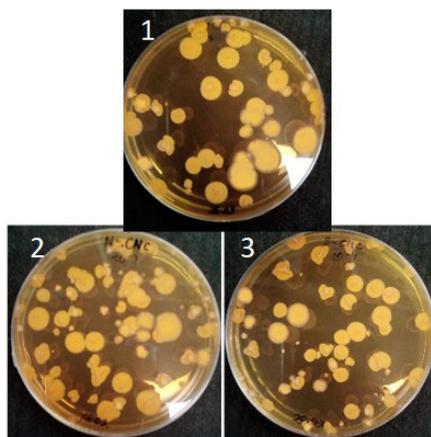


Рис. 1. Определение биосовместимости биочернил на примере дрожжевых клеток

Для напечатанных кубовидных пористых структур объем культуральной среды увеличился на 17 %, шарообразной структуры (бланк сравнения) – на 39 %. Полученные данные являются подтверждением получения пористой структуры и свидетельствуют об эффективности загрузки ферментных систем в полимерные структуры.

Определение выделения углекислого газа осуществлялось визуальным способом, определение образования этилового спирта – в процентах по массе (табл. 1).

Таблица 1. Изменение массы рабочего раствора с введенными каркасными структурами

Образец	Этапы измерения массы, г					
	Масса с дрожжами, m_1	Первый этап (48 ч), m_2	Второй этап (48 ч)		Третий этап (48 ч)	
			исходное, m_3	с изменением среды, m_4	исходное, m_5	с изменением среды, m_6
Контроль	5,019±0,005	4,969±0,007	4,958±0,004	-	4,947±0,002	-
N-CNC _{куб1}	5,517±0,009	5,479±0,008	-	5,471±0,007	-	5,476±0,007
N-CNC _{куб2}	5,518±0,003	5,472±0,009	5,463±0,009	-	5,459±0,009	-
N-CNC _{шар1}	5,513±0,007	5,490±0,006	-	5,493±0,004	-	5,499±0,004
N-CNC _{шар2}	5,518±0,007	5,493±0,009	5,487±0,007	-	5,481±0,007	-
S-CNC _{куб1}	5,511±0,009	5,466±0,008	-	5,470±0,007	-	5,472±0,006
S-CNC _{куб2}	5,518±0,008	5,469±0,009	5,458±0,008	-	5,452±0,005	-
S-CNC _{шар1}	5,512±0,003	5,489±0,006	-	5,497±0,007	-	5,500±0,004
S-CNC _{шар2}	5,513±0,003	5,490±0,009	5,484±0,004	-	5,480±0,003	-

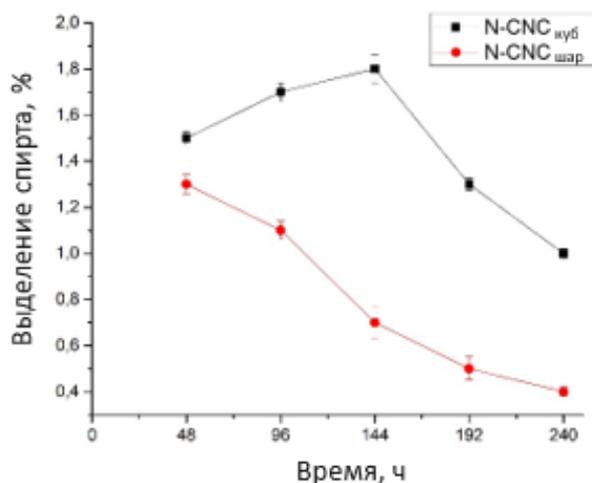


Рис. 2. Образование этилового спирта с течением времени работы каркасных структур

Было изучено 5 этапов измерения массы рабочей системы (рис. 2). Из них наиболее эффективными оказались первые три. Кубовидные структуры сохраняют жизнеспособные клетки внутри каркасной решетки, тем самым показывая продуктивность на протяжении всей работы. С течением времени до 144 часов система претерпевает незначительные изменения,

переработка оставшегося субстрата продолжает осуществляться. Однако во избежание накопления нежелательных продуктов реакции и поддержания эффективности переработки полезного продукта было определено сменять питательную среду через каждые 48 часов.

На основании калибровочной кривой и с учетом перерасчета на массу рабочего раствора вычислили, что разработанные структуры способны перерабатывать глюкозосодержащую среду до этилового спирта в количестве около 1,5 % в течение 3-х этапов использования. Для варианта с отверждением под действием УФ данный процент равен 1,3. Для шарообразных структур данный процент ниже, и при этом он не сохраняется на дальнейших этапах использования.

В ходе работы была разработана методика объемной декартовой экструзионной печати пористого полимерного матрикса с двумя вариантами отверждения. Отклонения в результатах технологий составили порядка 7 %. Определено, что три этапа регенерации сохраняют продуктивность системы в среднем на 85 % и поддерживает скорость биотрансформации субстрата с выходом продукта 1,5 % от партии объемом 5 мл. Предполагается, что с течением времени дрожжевые клетки выходят из гидроколлоидной структуры в связи с ее деструкцией – расслаиванием (примерно через 5 этапов регенерации или через 240 ч).

Перспективами работы по улучшению разработанной ферментативной киберсистемы являются модернизация методов отверждения, полностью исключая возможность гибели клеток бактерий и дрожжей, и создание более универсального пищевого экструдера.

Программируемая биофабрикация бактериальных конструкций имеет потенциальное применение в самых различных сферах, в том числе в производстве 3D-структурированных пробиотических систем для улучшения многих показателей эффективности [5] и расширения использования ресурсосберегающих технологий с рациональным использованием природного сырья [6]. В частности, белковая конструкция может быть использована для биотрансформации многих злаков и остатков хлебного производства в продукт, заменяющий сахар, предназначенный для различных категорий населения, в том числе для производства этилового спирта [7].

В дальнейших планах – использование дрожжевых и бактериальных клеток для переработки сложных углеводных комплексов; изучение распределения и поведения живых клеток в условиях гидроколлоидной структуры; определение способов увеличения продолжительности использования комплексной системы (этапов регенерации).

Литература

1. Melikoglu, M., & Webb, C. (2013). Use of waste bread to produce fermentation products. In *Food Industry Wastes. Assessment and Recuperation of Commodities* (pp. 63-74). Elsevier Science Publishers Amsterdam.
2. Brown I. et al. Kinetic study of the thermal denaturation of a hyperthermostable extracellular α -amylase from *Pyrococcus furiosus* // *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Proteins and Proteomics*. – 2013. – Т. 1834. – №. 12. – С. 2600-2605.
3. Structured reactors for enzyme immobilization: a monolithic stirrer reactor for application in organic media
4. Kyle S. 3D Printing of Bacteria: The Next Frontier in Biofabrication // *Trends in Biotechnology*. Elsevier Ltd, 2018. Vol. 36, № 4. P. 340-341.
5. Shavandi A., Jalalvandi E. Biofabrication of bacterial constructs: New three-dimensional biomaterials // *Bioengineering*. 2019. Vol. 6, № 2. P. 1-6.
6. Hyeon J.E., Shin S.K., Han S.O. Design of nanoscale enzyme complexes based on various scaffolding materials for biomass conversion and immobilization // *Biotechnology Journal*. 2016. Vol. 11, № 11. P. 1386–1396.
7. Qian F. et al. Direct Writing of Tunable Living Inks for Bioprocess Intensification // *Nano Letters*. 2019. Vol. 19, № 9. P. 5829-5835.

УДК 697.97

АНАЛИЗ ПРОЦЕССА СТРАТИФИКАЦИИ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА В ПОМЕЩЕНИИ

Санкина Ю.Н.¹

Научный руководитель – д.т.н. Сулин А.Б.¹

¹Университет ИТМО

В работе рассмотрены существующие интеллектуальные системы вентиляции, а также влияние расположения датчиков углекислого газа в помещении на точность измерений. С помощью имитационных исследований и моделирования изучено явление стратификации углекислого газа в помещении в зависимости от кратности воздухообмена.

Ключевые слова: качество внутреннего воздуха, система вентиляции с управлением по требованию, концентрация углекислого газа, стратификация углекислого газа, число Ричардсона.

Одним из показателей качества воздуха в помещении является уровень концентрации углекислого газа (CO₂). Это газ без цвета и запаха, который выделяется в результате деятельности человека и является важным загрязнителем воздуха в помещении, он нетоксичен, но по воздействию на организмы при повышенных концентрациях его относят к удушающим газам [1]. В связи с этим ГОСТ 30494-2011 регламентирует оптимальные для здоровья человека уровень CO₂ в пределах 800 – 1000 ppm [2]. Отметка на уровне 1400 ppm считается пределом допустимого содержания углекислого газа в помещении.

Для анализа качества воздуха в помещении с точки зрения энергоэффективности и комфорта используются такие механизмы, как моделирование и имитационные исследования. Эти исследования могут быть весьма эффективными, если их использовать для изучения режимов работы систем кондиционирования воздуха перед их установкой. В нескольких исследованиях на примере учебных аудиторий проведен анализ качества внутреннего воздуха уже существующих систем. В результате показано, что существующая вентиляция недостаточна, поскольку в учебных аудиториях были отмечены недопустимые температура и концентрация CO₂, что приводит к снижению работоспособности учеников и преподавателей. Santamouris и др. [3] исследовали потоки воздуха и распределение концентрации CO₂ в помещениях школ с естественной вентиляцией до, во время и после уроков. Они обнаружили, что концентрация CO₂ в учебной аудитории была выше, чем предельное пороговое значение примерно для половины помещений. В другом исследовании Clements-Croome и др. [4] изучали влияние качества внутреннего воздуха на успеваемость учащихся в 20 школах Англии. В ходе исследования были выявлены минимально подходящая скорость вентиляции, уровень теплового комфорта и приемлемое качество воздуха, необходимые, чтобы обеспечить оптимальные условия воздушной среды для эффективного обучения. Vako-Biro и др. [5] в течение трех недель измеряли, а затем проанализировали концентрацию CO₂ и других параметров воздуха в восьми школах Англии. В ходе экспериментов было замечено, что концентрация CO₂ в учебных аудиториях превышала 5000 ppm, что намного выше предельного уровня концентрации по ГОСТ 30494-2011 (1400 ppm и предпочтительного уровня 1000 ppm) [2].

Качество внутреннего воздуха и энергоэффективность также важны и в других сферах жизни, например, на работе или дома. Использование широко распространенных систем кондиционирования воздуха, которые просто поддерживают температуру в помещении, недостаточно, поскольку длительное нахождение людей в замкнутом пространстве приводит к ухудшению качества внутреннего воздуха. Кроме того, избыточная кратность воздухообмена таких систем приводит к перерасходу энергии. Для достижения оптимальных условий воздушной среды предлагается использовать принципиально новые системы – системы вентиляции с управлением по требованию (demand-controlled ventilation – DCV). Согласно определению [6] DCV – это разновидность интеллектуальной вентиляции, в которой скорость воздушного потока регулируется выбранным уровнем концентрации загрязняющих

веществ. Уровень концентраций определяется с помощью датчиков качества воздуха, установленных в обслуживаемом помещении или зоне. Когда уровень концентрации загрязняющих веществ поднимается выше установленного уровня, информация, переданная с датчиков, активирует систему вентиляции. В то же время, когда уровень концентрации снижается (в помещении никого нет), интенсивность вентиляции также уменьшается. Энергоэффективность таких систем подтвердили Budaiwi и AlNo-moud [7], которые использовали теоретические модели для изучения влияния различных стратегий вентиляции на качество воздуха в помещении и потребление энергии на охлаждение для однозонного помещения с расчетной плотностью 10 человек на 100 м². Они выявили, что при использовании DCV можно сэкономить более 50 % энергии на охлаждение при сохранении концентрации загрязняющих веществ ниже рекомендуемого уровня. Кроме того, Schibuola и др. [8] проанализировали производительность DCV в здании университета с проектной вместимостью 20 человек на 100 м² и выявили, что DCV обеспечивает экономию энергии в системе кондиционирования на 22 % и энергопотребления вентиляторов на 40 %.

В литературе описаны различные подходы к технологическим решениям систем DCV. Основной проблемой, на решение которой нацелены эти исследования, является определение скорости воздухообмена и месторасположение датчиков контроля параметров качества внутреннего воздуха – датчиков температуры и концентрации углекислого газа. Поскольку в большинстве случаев люди являются основными источниками выбросов CO₂, концентрация CO₂ в помещении является косвенным показателем количества людей в помещении.

Уровень концентрации углекислого газа в воздухе исследуемого помещения можно предсказать с помощью уравнения [9]:

$$C_{CO_2in} = \frac{T_{in}}{P_{in}(1+ACHt)} \left[C_{CO_2in(t=0)} \frac{P_{in(t=0)}}{T_{in(t=0)}} + \left(gN \frac{R}{\mu_{CO_2V}} + C_{CO_2out} \frac{P_{out}}{T_{out}} ACH \right) t \right], \quad (1)$$

где ACH – скорость воздухообмена, ч⁻¹; t – время, ч; P – давление, Па, C_{CO₂in} и C_{CO₂out} – концентрации углекислого газа в воздухе внутри и снаружи помещения, соответственно, ppm; V – объем помещения, м³; g – прирост CO₂ от человека, г/(человек); N – количество людей; T – температура, К; R и μ_{CO₂} – константы, газовая постоянная и молярная масса CO₂, соответственно.

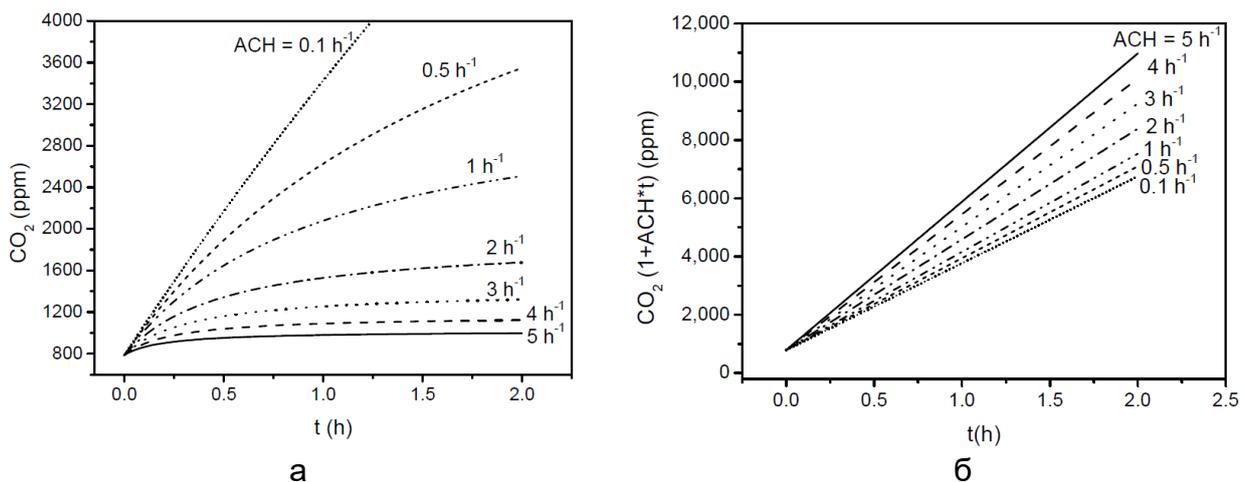


Рис. 1. Теоретическое изменение концентрации CO₂ во времени (а) и концентрации CO₂, умноженной на коэффициент (1 + ACH t), (б) для различных значений кратности воздухообмена

В соответствии с этим уравнением концентрация CO₂ в здании постоянна для низкой кратности воздухообмена. Более высокая кратность воздухообмена приводит к снижению этой концентрации и стабилизации при определенном значении. В результате умножения

концентрации CO₂ на коэффициент (1 + ACH t) получается линейная зависимость от времени, при условии, что температура и давление в помещении остаются примерно постоянными (рис. 1.).

$$C_{CO_2in}(1 + ACH_t) = C_{CO_2in(t=0)} + \frac{T_{in}}{P_{in}} \left(gN \frac{R}{\mu_{CO_2V}} + C_{CO_2out} \frac{P_{out}}{T_{out}} ACH \right) t. \quad (2)$$

Наклон этой линейной зависимости от времени, m, определяется уравнением:

$$m = \frac{T_{in}}{P_{in}} \left(gN \frac{R}{\mu_{CO_2V}} + C_{CO_2out} \frac{P_{out}}{T_{out}} ACH \right). \quad (3)$$

Rei и др. [10] в своем исследовании показали, как расположение датчика углекислого газа в помещении влияет на ошибку в измерениях уровня концентрации CO₂. Во время эксперимента исследовалось семь датчиков углекислого газа: четыре настенных, два настольных и один – у вытяжного отверстия вентиляции. Эксперимент показал, что при вытесняющей вентиляции датчики углекислого газа, расположенные на стене на высоте дыхания, могут прогнозировать концентрацию CO₂ в зоне дыхания с более высокой точностью по сравнению с датчиками, расположенными у вытяжной решетки вентиляции и на столе. Настенные датчики имеют абсолютную погрешность в диапазоне от 5 до 95 ppm, что намного ниже, чем у датчиков, анализирующих удаляемый из помещения воздух (100 – 230 ppm) и установленных на столе (80 – 210 ppm). Результаты исследований показывают, что настольные датчики имеют нестабильную точность и могут давать значительные ошибки из-за большого градиента концентрации CO₂, связанного с близостью к источникам эмиссии CO₂. Эта тенденция согласуется с предыдущим исследованием Rim and Novoselac [11], в котором сообщается о крайне неоднородном распределении газообразных загрязняющих веществ вблизи человеческого тела из-за естественного конвекционного потока. Эти результаты показывают, что расположение датчика оказывает значительное влияние на погрешность при измерении концентрации CO₂ в зоне дыхания. В основном это происходит из-за неоднородной и стратифицированной концентрации CO₂, а также - из-за тепловых шлейфов вокруг источников тепла. В случаях, когда в помещении находится 1 человек, погрешность датчика составляет менее 75 ppm для всех местоположений датчиков, что подразумевает меньшие ошибки из-за расположения датчика в условиях низкой загруженности. Что касается случаев смешанной вентиляции, концентрации CO₂ в разных местах более однородны, чем при вытесняющей вентиляции, из-за перемешивания воздуха в помещении, вызванного приточной струей. Все датчики дают абсолютные погрешности не более 105 ppm. Результаты показывают, что при смешанной вентиляции расположение датчика меньше влияет на точность определения концентрации CO₂ в зоне дыхания, чем в случае вытесняющей вентиляции.

Независимо от типа вентиляции в помещении воздушные потоки преимущественно турбулентные, что играет важную роль в переносе загрязнителей в воздушной среде. Для описания распределения углекислого газа в обслуживаемой зоне используется уравнение Навье-Стокса, где фактор источника загрязняющего вещества влияет на распределение воздушного потока из-за разницы в плотностях между загрязнителем и свежим воздухом.

$$\frac{\partial(\rho \bar{Y}_i \bar{u}_j)}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left((D + D_t) \frac{\partial \bar{Y}_i}{\partial x_j} \right) + S_i. \quad (4)$$

В уравнении (4) x_j – координата в декартовой системе координат; u_j – средняя скорость потока в трех направлениях; Y_i – концентрация загрязнителей; D – коэффициент молекулярной диффузии; D_t – коэффициент турбулентной диффузии; S_i – скорость образования загрязняющих веществ; ρ – плотность смеси, определяемая по формуле [12]:

$$\rho = \frac{1}{\sum_i \frac{1}{\rho_i}}. \quad (5)$$

В данной работе не учитывалось влияние температурного эффекта, поэтому было сделано допущение, что температура в исследуемом помещении постоянна, а значит, и значения плотностей воздуха и загрязнителей тоже постоянны.

Для дальнейшего теоретического анализа использовался метод безразмерного анализа. В процессе расчета не учитывалось распределение воздушного потока в помещении. Оценка воздействия плавучести определялась с помощью безразмерной выталкивающей силы на единицу объема, связанной с разностью плотностей [13]:

$$\left\{ \begin{array}{l} f_g^* = \frac{f_g}{f_{g0}} = \frac{-g(\rho_p - \rho_0)}{\rho_0 u_0^2 / L} = \frac{-g(\rho_p - \rho_0)L(\rho_p - \rho_0)}{\rho_0 u_0^2 (\rho_p - \rho_0)} \\ Ri = \frac{gL(\rho_p - \rho_0)}{\rho_0 u_0^2} \end{array} \right. \Rightarrow f_g^* = -Ri \frac{\rho_p - \rho_0}{\rho_p - \rho_0}, \quad (6)$$

где f_{g0} – исходное значение силы тяжести; ρ_0 – исходное значение плотности; u_0 – исходное значение скорости; g_0 – исходное значение ускорения; L – исходное значение длины; Ri – безразмерное число Ричардсона.

Число Ричардсона – это отношение плавучести к силе инерции потока. При его вычислении которого использовалась зависимость:

$$Ri = \frac{Gr}{Re^2}, \quad (7)$$

где Re – критерий Рейнольдса; Gr – критерий Грасгофа:

$$Re = \frac{v_0 \rho_0 L}{\mu_0}, \quad (8)$$

$$Gr = \frac{g(\rho_p - \rho_0)L^3 \rho_0}{\mu_0^2}. \quad (9)$$

С помощью безразмерного числа Ричардсона выведена зависимость отношения времени проветривания помещения (t_{air}) к времени загрязнения помещения CO_2 (t_g) из-за эффекта гравитации.

$$\left\{ \begin{array}{l} t_{air} = \frac{L^3}{u_0 A} \\ t_g = \frac{L^3 \rho_p}{m_p} \\ t_0 = \frac{L}{u_0} \end{array} \right. \Rightarrow \frac{t_{air}/t_0}{t_g/t_0} = \frac{\rho_0}{\alpha \rho_p} \sim \frac{Ri}{\alpha}, \quad (10)$$

где α – безразмерное отношение массовых потоков загрязняющих веществ и чистого воздуха.

Проанализировав выражение (10), можно сделать вывод, что время проветривания и время загрязнения помещения углекислым газом тесно связаны между собой. Отношение числа Ричардсона к коэффициенту отношения массовых потоков отражает влияние плавучести на рассеивание CO_2 в помещении. При условии, что время проветривания больше, чем время загрязнения, плавучесть будет играть важную роль и приведет к уменьшению концентрации CO_2 , в дальнейшем показывая четкую стратификацию CO_2 .

Для дальнейшего изучения влияния рециркуляции распределения воздушного потока внутри помещения на дисперсию CO_2 необходимо учитывать вихревой поток. Явление вихревого потока было изучено количественно с помощью уравнения [14]:

$$S = w^2 = \left(\frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y} \right), \quad (11)$$

где S – показатель завихренности потока; w – завихренность потока.

Рассмотренные выше исследования позволяют сделать вывод о том, что интеллектуальные системы вентиляции являются востребованными, поскольку они поддерживают необходимое качество внутреннего воздуха, основываясь не только на значениях температуры, но и на концентрацию углекислого газа. Вместе с тем в ходе данной работы проанализирована математическая модель распределения углекислого газа в помещении и теоретически подтвержден эффект стратификации CO₂. В будущем для верификации полученных закономерностей будут проводиться исследовательские испытания в учебной аудитории при лаборатории систем жизнеобеспечения Университета ИТМО.

Литература

1. Satish U, Mendel MJ, Shekhar K, Hotchi T, Sullivan D, Streufert S, Fisk WJ. Is CO₂ an indoor pollutant? Direct effects of low-to-moderate CO₂ concentrations on human decision-making performance. *Environ Health Persp* 2012; 120: 1671-1677.
2. ГОСТ 30494-2011 Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях.
3. Santamouris M, Synnefa A, Assimakopoulos M, Livada I, Pavlou K, Papaglastra M, Gaitani N, Kolokotsa D, Assimakopoulos V. Experimental investigation of the air flow and indoor carbon dioxide concentration in classrooms with intermittent natural ventilation. *Energ Buildings* 2008; 40: 1833-1843.
4. Clements-Croome DJ, Awbi HB, Bako-Biro Z, Kochhar N, Williams M. Ventilation rates in schools. *Build Environ* 2008; 43: 362-367.
5. Bako-Biro Z, Clements-Croome DJ, Kochhar N, Awbi HB, Williams MJ. Ventilation rates in schools and pupils' performance. *Build Environ* 2012; 48: 215-223.
6. Limb M. J. TN 36: Air infiltration and ventilation glossary // AIVC Technical Note. 1992. 47 p.
7. I.M. Budaiwi, M.S. Al-Homoud, Effect of ventilation strategies on air contaminant concentrations and energy consumption in buildings, *Int. J. Energy Res.* 25 (12) (2001) 1073–1089, doi: 10.1002/er.741.
8. L. Schibuola, M. Scarpa, C. Tambani, Annual performance monitoring of a demand controlled ventilation system in a university library, *Energy Procedia* 101 (2016) 313–320, doi: 10.1016/j.egypro.2016.11.040.
9. Rodero A., Krawczyk D. A. Carbon Dioxide Human Gains—A New Approach of the Estimation // *Sustainability*. – 2019. – Т. 11. – №. 24. – С. 7128.
10. Pei G. et al. Effect of sensor position on the performance of CO₂-based demand controlled ventilation // *Energy and Buildings*. – 2019. – Т. 202. – С. 109358.
11. D. Rim, A. Novoselac, Occupational exposure to hazardous airborne pollutants: effects of air mixing and source location, *J. Occup. Environ. Hyg.* 7 (12) (2010) 683–692, doi: 10.1080/15459624.2010.526894.
12. Poling B. E., Prausnitz J. M., O'connell J. P. *Properties of gases and liquids*. – McGraw-Hill Education, 2001.
13. Cao S. J., Meyers J. On the construction and use of linear low-dimensional ventilation models // *Indoor Air*. – 2012. – Т. 22. – №. 5. – С. 427-441.
14. Li F. et al. Numerical investigation of airborne contaminant transport under different vortex structures in the aircraft cabin // *International journal of heat and mass transfer*. – 2016. – Т. 96. – С. 287-295.

УДК 621.59

ВЫБОР ЭФФЕКТИВНОЙ КОНСТРУКЦИИ И ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ РЕЗЕРВУАРА ДЛЯ ХРАНЕНИЯ СПГ

Середенко Е.С.¹

Научный руководитель – доцент, к.т.н. Пахомов О.В.¹

¹Университет ИТМО

В работе предложена конструкция резервуара для хранения СПГ объемом 200 000 м³. Предложенная конструкция резервуара с полной герметизацией позволит уменьшить тепловые утечки за счет использования эффективной тепловой изоляции толщиной до 1,2 м. Методика расчета толщины изоляции обеспечивает заданный уровень потерь на испарение 0,025 об. % в день. Утечки тепла рассчитываются для всех частей резервуара и находятся в допустимом диапазоне. Также для минимизации тепловых потерь предлагается использовать резервуар большего объема, что позволит уменьшить скорость образования «отпарного» газа примерно на 15% по сравнению с резервуарами меньшего объема.

Ключевые слова: СПГ, хранение, резервуары, конструкция, теплоизоляция, испарение, отпарной газ, утечки тепла.

Резервуары для хранения СПГ имеют большие объемы и могут достигать до 200 000 м³. Как правило, с увеличением объема резервуара для хранения СПГ увеличивается и общая стоимость всего оборудования. Однако цена за единицу произведенного СПГ будет уменьшаться с увеличением объема резервуара для хранения (рис. 1)

Разница в стоимости между резервуаром с одинарной герметизацией и резервуаром с полной герметизацией может находиться в диапазоне от 17% до 12% [1]. Двухоболочечный резервуар с полной герметизацией является лучшим выбором для резервуаров СПГ большого объема с экономической точки зрения и с точки зрения безопасности эксплуатации.

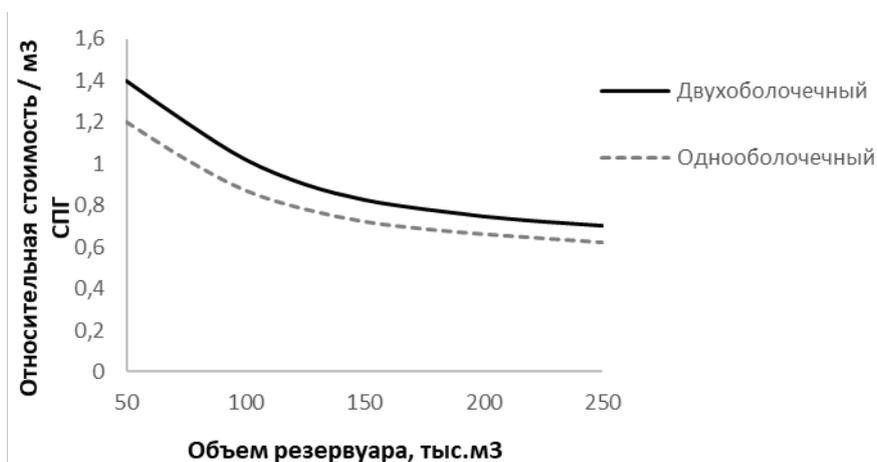


Рис. 1. Соотношение удельной стоимости и полезного объема резервуара

При разработке конструкции резервуара для хранения СПГ необходимо учитывать тепловые потери, образующиеся из-за разницы температур между окружающей средой и СПГ. В процессе хранения СПГ вследствие внешних теплопритоков происходит испарение наиболее летучих компонентов смеси и образуется «отпарной» газ. Для минимизации тепловых потерь применяется тепловая изоляция резервуара. Тепловая изоляция резервуара является важным элементом конструкции и обеспечивает возможность длительного хранения газов в сжиженном состоянии [1].

Кроме того, объем резервуара для хранения СПГ оказывает заметное влияние на скорость образования «отпарного» газа. В резервуаре с большим объемом СПГ, по мере испарения легких компонентов, останется больше жидкости. Для того, чтобы повысить

температуру смеси до новой точки кипения, потребуется больше теплоты. В результате скорость образования «отпарного» газа будет ниже для резервуара с большим начальным запасом СПГ, что предлагает возможность использования резервуара объемом 200 000 м³.

Требования к материалам

Большинство материалов, применяемых для производства криогенного оборудования, подвержено охрупчиванию от воздействия низких температур. Так как температура хранения СПГ находится в диапазоне от минус 166 °С до минус 157 °С, материалы, применяемые для изотермических резервуаров, должны обладать достаточной ударной вязкостью и обеспечивать устойчивость конструкции к хрупкому разрушению.

Выбор материала будет соответствовать нормативу BS-EN-14620, в котором рекомендуется, чтобы все детали, такие как внутренние лестницы резервуара, кожух, нижняя плита, были изготовлены из стали с 9% содержанием никеля (при условии, что температура внутри резервуара составляет до -180 °С). Изоляционное покрытие для минимизации тепловых утечек будет содержать пенополиуретан, упругое стекловолокно и перлитовый бетон.

Внутренняя часть резервуара выполняется из 9% никелевой стали, внешняя часть - из предварительно напряженного бетона, настила подвесной палубы, двойной системы защиты дна и углов, а также системы подогрева дна. Расчетное давление 29 кПа (изб.), Расчетная температура -170 °С. Расчетная скорость образования «отпарного» газа составляет 0,025 об. % в день.

Конструкция внутренней части резервуара из 9% никелевой стали

Резервуар для хранения СПГ объемом 200 000 м³ будет иметь диаметр 85 м, высоту 37 м и диаметр внутренней части резервуара 84 м.

Расчетный уровень жидкости составляет 36,22 м, максимальный рабочий уровень – 35,92 м. Расчетное давление составляет 29 кПа. Т.к. 150 кПа > 5% от 29 кПа, общее давление составит 29 + 150 = 179 кПа.

Толщина оболочки внутреннего резервуара составит 32 мм.

Изоляция резервуара

Изоляция защищает криогенный продукт от температурных колебаний и снижает утечки и проникновение тепла из окружающей среды. Любое повреждение системы изоляции может поставить под угрозу качество продукта и безопасность процесса регазификации. Безопасная и экономичная работа, минимальные утечки тепла и предотвращение конденсации для минимизации коррозии - ключевые требования к изоляционным материалам криогенных хранилищ.

Изоляция боковой стенки расположена между внутренней и внешней оболочкой резервуара. В случае утечки из внутренней части резервуара СПГ может накапливаться в кольцевом пространстве между внутренней и внешней частью резервуара и охлаждать стенку /нижний угол. Для минимизации тепловых потерь в предложенной конструкции использованы перлитовый бетон, пенополиуретан и эластичное стекловолокно с 9%-ным содержанием никелевых стальных листов [3]. Толщина изоляции определяется по уравнению (1).

$$D_{out} \ln \frac{D_{out}}{D_{in}} = 2 \frac{\lambda}{a_s} \times \frac{T_s - T_f}{T_a - T_s}, \quad (1)$$

где D_{out} и D_{in} - внешней и внутренней диаметр резервуара соответственно, λ – коэффициент теплопроводности изоляционного материала, T_s – температура поверхности, T_f – температура перлитового бетона, T_a – температура окружающей среды, a_s – коэффициент термического сопротивления.

Толщина изоляции боковой стенки составит 1200 мм, в т.ч. 350 мм упругая часть из стекловолокна (30% от общей изоляции). Система защиты углов выполняется из 9% никелевой стали с покрытием из пенополиуретана (ППУ) на высоте до 5 м от дна резервуара. Конструкция дна резервуара с угловой защитой представлена на рисунке 2.

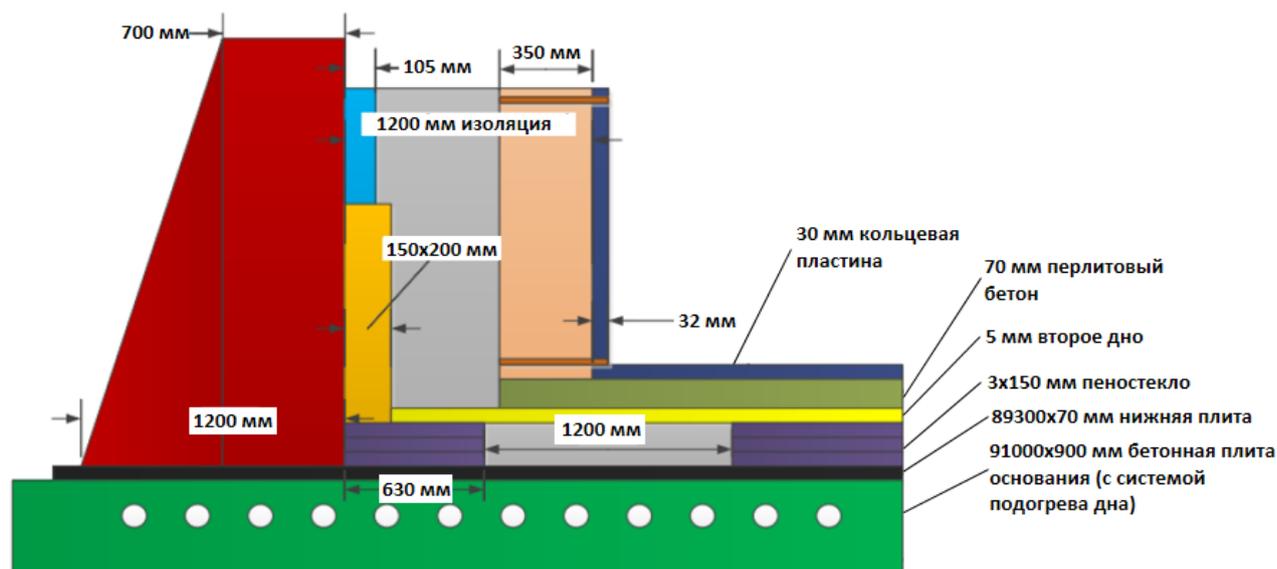


Рис. 2. Конструкция дна резервуара с угловой защитой

Рассматриваемые изоляционные материалы рекомендованы к применению согласно ГОСТ Р 58029-2017. Рассмотрим подробнее их свойства. Характеристики используемых материалов представлены в таблице 1 [4].

Таблица 1. Значения плотности и удельной теплоемкости изоляционных материалов

Изоляционный материал	Плотность, кг/м ³	Удельная теплоемкость, кДж/кгК
Вспученный перлит	100	0,837
Бетон	2400	0,960
Стекловолокно	1700-2000	0,84
Никелевая сталь	7801	0,456
Пенополиуретан	40-80	1,47

Перлит – порода, представляющая из себя вулканическое стекло с основой из SiO₂ (70 – 75%). При резком термоударном нагреве до температур 900-1200°C, вода, содержащаяся в породе, переходит в пар и вспучивает размягчённую породу. Именно высокая пористость перлита обеспечивает его легкость и высокие теплоизоляционные свойства. Плотность вспученного перлита колеблется в диапазоне от 50 до 600 кг/м³. Для изоляции аппаратов и машин низкотемпературных установок используется вспученный перлитовый порошок с плотностью 100 кг/м³.

Стекловолокно (стеклонить) – волокно или комплексная нить, сформированные из расплавленного стекла. В результате оно приобретает такие качества, как прочность при сжатии и растяжении, стойкость к химическим веществам и биологическим воздействиям, негорючесть и малая гигроскопичность. Теплопроводность стекловолокна составляет около 0,04 Вт/м·град. Будучи достаточно легким материалом, стекловолокно не слеживается при длительном использовании, имеет большой эксплуатационный ресурс и выдерживает температуры от 200 до 700 °С.

Пенополиуретаны – группа газонаполненных пластмасс на основе полиуретанов, на 85 – 90 % состоящих из инертной газовой фазы. В качестве исходных компонентов пенополиуретана обычно применяются продукты нефтехимической промышленности (полиолы и полиизоцианаты). Благодаря своей очень низкой теплопроводности 0,029 – 0,041 Вт/мК жесткие пенополиуретаны широко применяются в холодильной и

криогенной технике, а также используются для изоляции низкотемпературных трубопроводов.

Расчет утечек тепла

Утечки тепла были рассчитаны для изоляционной части резервуара, для нижней плиты резервуара и для трубопроводов. Трубопроводы резервуара – это трубопроводы ввода и вывода СПГ, ввода перлита и трубопроводы для удаления «отпарного» газа.

Скорость образования «отпарного» газа принята 0,025 об. % в день. Общая утечка тепла (утечки от всех частей резервуара) составила 320 кВт и находится в допустимом диапазоне.

Выводы

На основе аналитического обзора современных методик расчета теплопритоков через поверхность корпуса изотермического резервуара СПГ выбрана методика расчета толщины изоляции для обеспечения заданного уровня потерь на испарение 0,025 об. % в день.

Предложена конструкция резервуара для хранения СПГ объемом 200 000 м³ из 9% никелевой стали с диаметром 85 м и высотой 37 м. Предложенная конструкция резервуара позволит уменьшить утечки тепла за счет использования эффективной тепловой изоляции толщиной до 1,2 м. Также для минимизации тепловых потерь предлагается использовать резервуар большего объема, что позволит уменьшить скорость образования «отпарного» газа примерно на 15% по сравнению с резервуарами меньшего объема.

В качестве изоляции резервуара использованы перлитовый бетон, пенополиуретан и эластичное стекловолокно с 9%-ным содержанием никелевых стальных листов. Система защиты углов выполняется из 9% никелевой стали с покрытием из пенополиуретана (ППУ) на высоте до 5 м от дна резервуара. Утечки тепла рассчитаны для всех частей резервуара и находятся в допустимом диапазоне.

Литература

1. Каганер М.Г., «Тепловая изоляция в технике низких температур» // Изд. «Машиностроение», М., 1966 г. 270 с.
2. Louis D., Antonio S.I., «Sloshing loads simulation in LNG tankers with SPH» // International Conference on Computational Methods in Marine Engineering. 2005.
3. Ji-hoon K., Heung-seok S., Kangwon L., and Ihn-soo Y., «Development of the world's largest above-ground full containment LNG storage tank», 23rd World Gas Conference, Amsterdam, Korea Gas Corporation. 2006. 14 p.
4. Теплопроводность строительных материалов, их плотность и теплоемкость//Thermalinfo. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://thermalinfo.ru/svoystva-materialov/strojmaterialy/teploprovodnost-stroitelnyh-materialov-ih-plotnost-i-teploemkost> (дата обращения: 16.02.2020).

УДК 504.05

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ, СВЯЗАННЫЕ СО СНИЖЕНИЕМ ПЛАТЫ ЗА НЕГАТИВНОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ, ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СВАЛОЧНОГО ГАЗА В КАЧЕСТВЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМОГО ИСТОЧНИКА ЭНЕРГИИ

Тонкова К.В.¹Научный руководитель – Забелина А.В.¹¹Университет ИТМО

В статье рассмотрен экономический аспект использования свалочного газа на теплоэлектростанциях, связанный со снижением платы за негативное воздействие на окружающую среду. Произведен расчет снижения платы за негативное воздействие на окружающую среду на полигоне «Новый Свет-ЭКО», расположенного в посёлке Новый свет Гатчинского района Ленинградской области. Масса собираемого свалочного газа взята по аналогии с уже используемой системой сбора.

Ключевые слова: свалочный газ, возобновляемые источники энергии, плата за негативное воздействие на окружающую среду, полигоны захоронения твердых коммунальных отходов, твердые коммунальные отходы.

Основной опасностью для атмосферного воздуха является свалочный газ – смесь газов, образующихся при анаэробном разложении органического вещества. Он содержит в себе макрокомпоненты, содержание которых превышает 1%, и микрокомпоненты с содержанием менее 1%. К макрокомпонентам относится метан с содержанием 35 – 65% от общего объема, диоксид углерода, содержание которого не превышает 40 %, азот с концентрацией 5 – 15%, кислород (до 5%) и водород (до 3%) [1]. Основными микрокомпонентами являются сероводород, аммоний, аммиак, этилен, ацетилен, силоксаны, хлор и другие. Владельцы полигонов ежегодно вносят плату за негативное воздействие на атмосферный воздух выбросов биогаза.

Актуальность проблемы заключается в том, что одним из экономических преимуществ использования биогаза на теплоэлектростанциях является снижение платы за негативное воздействие на атмосферный воздух.

Состав биогаза зависит от географического положения полигона, его возраста, способа укладки и состава отходов. Точный состав свалочного газа определяется аналитически при помощи специализированного оборудования.



Рисунок. Состав свалочного газа на полигоне «Новый Свет-ЭКО»

Согласно исследованиям, проведенным всероссийским научно-исследовательским институтом метрологии имени Д. И. Менделеева в 2020 году, состав свалочного газа на полигоне захоронения твердых коммунальных отходов следующий: 61,9% метана,

26,1% диоксида углерода, 14,8% азота, 2,1% кислорода, 0,005% углеводородов от C₂H₄ до C₄H₁₀, 0,002% сероводорода, 0,001% меркаптанов и сульфидов. На рисунке отображен состав свалочного газа на полигоне «Новый Свет-ЭКО» за 2020 год.

Согласно «Оценке воздействия на окружающую среду объекта «Полигон твердых бытовых и строительных отходов в д. М. Замостье Гатчинского района Ленинградской области», ежегодно выход биогаза на полигоне составляет 7,0931 кг/т отходов [2]. Общее количество биогаза рассчитывается по формуле (1):

$$B_z = B_o \times M_o, \quad (1)$$

где B_o – выход биогаза с одной тонны отходов, т;

M_o – масса отходов, захороненная на полигоне за период метаногенеза. Период метаногенеза составляет 26 лет [2]. Данная масса на 2020 год равна 5290173 т отходов.

Общее количество биогаза равно 38840,113 т/год.

Для нахождения массы отдельного компонента свалочного газа использовались процентные соотношения компонентов, представленные на рисунке. Масса компонентов свалочного газа представлена в таблице 1.

Таблица 1. Масса компонентов свалочного газа

Компонент	Доля i-го компонента, %	M_i , т/год
Метан	61,9	20278,258
Диоксид углерода	26,1	8550,283
Азот	14,8	4848,436
Кислород	2,1	687,954
Углеводороды	0,005	1,638
Сероводород	0,002	0,655
Меркаптаны	0,001	0,328
Сульфиды	0,001	0,328
Сумма		388840,113

Плата за выброс каждого компонента рассчитывается по формуле (2).

$$P_i = K \times H_i \times m_i, \quad (2)$$

где K - дополнительный коэффициент, равный 1,08;

H_i - норматив ставки платы по каждому веществу;

m_i - масса каждого компонента.

Общая плата рассчитывается как сумма i -ых плат за выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух по формуле (3).

$$P_{общ} = \sum_{n=1}^i P_i. \quad (3)$$

Нормативы ставки платы выбраны исходя из постановления Правительства Российской Федерации [3].

Стоит отметить, что на полигоне захоронения твердых коммунальных отходов «Новый Свет-ЭКО» уже оборудована система по сбору свалочного газа. Согласно проектной документации, на полигоне улавливается 10812,593 [4] тонн свалочного газа. В табл. 2 представлены результаты расчета платы за негативное воздействие на атмосферный воздух по

каждому компоненту – общие, улавливающегося газосборным оборудованием, и платы с вычетом уловленной массы.

Таблица 2. Расчет платы по исследуемым компонентам

Компонент	K_i	$M_{i\text{обш}}$, т/год	$M_{i\text{выбр}}$, т/год	$M_{i\text{собр}}$, т/год	$P_{i\text{выбр}}$, руб/год	$P_{i\text{собр}}$, руб/год	$P_{i\text{сниж}}$, руб/год
Метан	108	24042.030	17349.035	6692.995	2023591	1242920	780671
Диоксид углерода	1.6	10137.269	7315.183	2822.087	12641	7764	4877
Азот	138.8	5748.337	4148.073	1600.264	621813	381927	239886
Кислород	-	815.642	588.578	227.064	-	-	-
Углеводороды	108	1.942	1.401	0.541	163	100	63
Сероводород	686.2	0.777	0.561	0.216	415	255	160
Меркаптаны	54729.7	0.388	0.280	0.108	16567	10175	6391
Сульфиды		0.388	0.280	0.108	-	-	-
Сумма				10813	2675190	1643142	1032048

$M_{i\text{выбр}}$ – это масса выбрасываемых компонентов в составе свалочного газа с учетом существующей системы активной дегазации. $M_{i\text{собр}}$ – это величина дополнительно собираемых выбросов, рассчитанная по объекту-аналогу. Таким объектом является существующая на полигоне «Новый Свет-ЭКО» система сбора свалочного газа. Как было отмечено ранее, согласно проектной документации, газосборное оборудование улавливает 10813 тонн свалочного газа ежегодно. $P_{i\text{собр}}$ – сэкономленные на плате за негативное воздействие денежные средства, расчету которых и посвящена данная статья.

Из таблицы 2 видно, что сокращение выбросов свалочного газа приведет к экономии 1,032 миллиона рублей на экологических выплатах ежегодно.

Газопоршневая электростанция, куда поступает очищенный свалочный газ, также является источником выбросов загрязняющих веществ. В таблице 3 показан расчет выбросов электростанции, а также итоговые значения снижения платы за негативное воздействие на атмосферный воздух.

Таблица 3. Плата за негативное воздействие с учетом выбросов электростанции

Состав	N_i , руб./т	$M_{\text{ГПЭС}}$, т/год	$P_{\text{ГПЭС}}$	$P_{\text{сумм}}$
Метан	108	15.17	1769.26	778901.68
Диоксид углерода	1.6	6.40	11.05	4865.51
Азот	138.8	3.63	543.66	239342.28
Углеводороды	108	0.001	0.14	62.92
Сероводород	686.2	0.0005	0.36	159.90
Меркаптаны	54729.7	0.0002	14.48	6376.63
Сумма			2338.97	1029708.92

Из результатов расчетов видно, что итоговое снижение платы за негативное воздействие на окружающую среду с учетом выбросов электростанции составляет 1029709 рублей в год.

В ходе работы были произведены расчеты платы за негативное воздействие для всех компонентов свалочного газа на полигоне «Новый Свет-ЭКО», а также снижение платы при сборе и использовании в качестве альтернативного источника энергии дополнительных 10812 тонн свалочного газа.

В дальнейших работах планируется рассмотрение вопроса снижения выбросов газопоршневой электростанции, а также возможности снижения стоимости производимой электроэнергии.

Литература

1. Архаров И.А., Симакова Е.Н., Навасардян Е.С. Свалочный газ как источник сырья для энерготехнологических процессов // Химическое и нефтегазовое машиностроение. 2016. № 8. С. 25-28
2. Корректировка проекта «Полигон твердых бытовых и строительных отходов в д.М.Замостье Гатчинского района Ленинградской области». ПРОЕКТНАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ. Раздел 8. «Перечень мероприятий по охране окружающей среды». 11.07.2020-01–ООС. Книга 1. // СПб: ООО ПФ «ГОСТ-Стандарт». 2021. 145 с.
3. Постановление Правительства РФ от 13.09.2016 N 913 «О ставках платы за негативное воздействие на окружающую среду и дополнительных коэффициентах» // М.: Правительство Российской Федерации. 2016.
4. Станция активной дегазации полигона ТБО «Новый Свет-ЭКО» с ГПЭС. Проектная документация. Раздел 8. «Перечень мероприятий по охране окружающей среды». «Оценка воздействия на окружающую среду». НГЭН.637-ООС // СПб: НГ Энерго. 2013. 158 с.

УДК 621.564.2

**ГАЗОАНАЛИЗАТОРЫ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОСТАВА
ВЕЩЕСТВА В ПАТЕНТНОЙ БАЗЕ США**

Фахртдинова С.З.¹, Тюрикова Е.П.¹, Мальгинова Н.А.¹, Тимофеева И.В.¹

Научный руководитель – к.т.н., доцент Кустикова М.А.¹

¹Университет ИТМО

Работа выполнена в рамках темы НИР № 620159 «Разработка и исследование принципов построения цифрового анализатора фреонов».

В работе проанализирован рынок газоанализаторов США и тенденции его развития. Был проведен патентный поиск газоанализаторов в базе USPTO. В результате анализа были выбраны 15 технических и конструкторских решений, которые являются наиболее перспективными для идентификации фреонов. Рассмотрены и сравнены наиболее эффективные методы газового анализа.

Ключевые слова: газоанализатор, масс-спектрометрия, хроматография, рамановская спектроскопия, идентификация.

Введение

Анализ химического состава вещества – это неотъемлемая часть контроля технологических процессов, позволяющая обеспечить безопасность и эффективность процессов производства. Газовый анализ используется во многих областях, включая экологический мониторинг и здравоохранение, и применяется для определения концентрации вредных веществ в воздухе рабочей зоны, на химически опасных производствах, а также при выявлении фальсифицированного и контрафактного материала. Газоанализаторы базируются на разных методах анализа газового состояния веществ, при этом наблюдается совершенствование методов с приходом новых технологий.

Анализ патентных баз стран-лидеров рейтинга Всемирной организации интеллектуальной собственности позволяет выявить современный уровень техники, определить основные требования в исследуемой области на международном уровне и определить тенденции развития рассматриваемого объекта. Лидирующие позиции в этой сфере давно удерживают США, чья патентная система в 2020 году заняла второе место в международном рейтинге интеллектуальной собственности среди 53 глобальных экономик мира. Кроме того, США возглавляют список стран по числу поданных международных заявок и продолжают усиливать свои позиции в этой сфере.

Целью данной работы является определение достигнутого технического уровня разрабатываемых в настоящее время газоанализаторов и выявление конкретных технических и конструкторских решений в патентной базе США.

Основная часть

Рынок газоанализаторов в США в 2020 году оценивался в 521,2 млн долларов США и, как ожидается, достигнет значения 660,7 млн долларов США к 2026 году при совокупном среднегодовом темпе роста 4%.

Чтобы понять направление американского патентоведения в этой области, были проанализированы потребности рынка газоанализаторов. Спросом на период 2018 – 2020 гг. пользовались газоанализаторы, в чьи характеристики входили такие факторы, как длительный срок службы, анализ и идентификация от 1 до 6 газовых компонентов, работа в условиях реального времени, в суровых условиях и в агрессивных химических средах, отсутствие перекрестной чувствительности, наличие средств беспроводной связи и сенсорных технологий.

Основными участниками рынка на период 2018 – 2021 гг. являются 5 компаний, между которыми отмечена высокая конкуренция: ABB Ltd, Honeywell International Inc., Emerson Electric Co., Siemens AG и Yokogawa Electric Corporation [1].

В работе проведен поиск по базе Ведомства США по патентам и товарным знакам (USPTO), который был нацелен на обнаружение патентов газоанализаторов по определению состава веществ, классифицированных как хладагенты.

Глубина поиска составила 10 лет. Критериями отбора служили несколько параметров, таких как дата публикации, соответствие тематики поиска и возможность дальнейшего применения. В результате поиска было найдено 62 патента, из которых для дальнейшего рассмотрения выбрано 15 патентов. В таблице 1 представлено описание выбранных патентов.

Таблица 1. Описание выбранных в результате поиска патентов

Страна выдачи, вид и номер охранного документа	Заявитель (патентообладатель), страна, дата публикации	Название изобретения (полезной модели, промышленного образца)
США, патент №8431889B2	Helmholtz Zentrum Muenchen Deutsches Forschungszentrum fuer Gesundheit und Umwelt (GmbH), Neuherberg (DE), 30.04.2013	Метод и устройство для химического анализа газового потока
США, патент № 9389207B2	University of Illinois, 12.07.2016	Портативный анализатор газа
США, патент №9989503 B2	Korea research institute of standards and science (KR), 05.06.2018	Устройство для количественного анализа газовых компонентов с функцией автоматического управления
США, патент №9691594B2	Rigaku corporation, Akishima-shi (JP), 27.06.2017	Метод и устройство для анализа характеристик газового образца
США, патент №10593535B2	Shimadzu corporation, Kyoto-shi, Kyoto (JP), 17.03.2020	Масс-спектрометр с ионизационной камерой
США, патент № 8077309B2	Applied Instrument Technologies, Inc., Upland, CA (US), 13.12.2011	Химический анализатор для управления промышленными процессами
США, патент № 10088422	Schlumberger technology Corporation, Sugar Land, TX, (US), 02.10.2018	Рамановская спектроскопия для определения состава газовой смеси
США, патент № 10871399B2	Laser-Laboratorium Gottingen E.V., 22.12.2020	Устройство анализа
США, патент № 1044193B2	RUEGER S.A., (CH), 15.10.2019	Устройство для анализа характеристик газа
США, патент № 10101198 B2	SICK AG, Waldkirch (DE), 16.10.2018	Устройство для оптического анализа газа в режиме реального времени
США, патент № 8749788 B2	SICK AG, Waldkirch (DE), 10.06.2014	Оптоэлектронное устройство для анализа и методы анализа газа
США, патент № 10648943 B2	Carrier corporation, Palm Beach Gardens, FL (US), 12.05.2020	Анализатор хладагентов и метод его использования
США, патент № 10663396 B2	Carrier corporation, Palm Beach Gardens, FL (US), 26.05.2020	Анализатор хладагентов и метод его использования
США, патент № 8950237 B2	Texas S.p.A (IT), 10.02.2015	Газоанализаторная система, настроенная на определение концентрации загрязняющих газов в автомобильной системе кондиционирования воздуха
США № 10401342 B2	Hitachi high-tech science corporation, Tokyo (JP), 03.09.2019	Анализатор газа и метод его анализа

В результате патентного поиска были найдены решения, которые реализовывали разные методы газового анализа: акустический, тепловой, оптический, масс-спектрометрический, хроматографический и спектроскопический. В таблице 2 приведены значения минимально определяемых концентраций вещества (МОК) вышеперечисленных методов газового анализа [2].

Таблица 2. МОК методов газового анализа

Метод газового анализа	МОК, %
Акустический	0,001 — 0,01
Тепловой	0,001 — 0,01
Оптический	0,00001 — 0,1
Масс-спектрометрический	0,00001 — 0,001
Хроматографический	0,0001 — 0,01
Раман-спектроскопический	0,000001 — 0,001

Существенные преимущества физико-химических и физических методов анализа перед химическими – быстрота выполнения, возможность автоматизации анализа – обусловили их широкое распространение в различных отраслях промышленности. В таблице 3 сравниваются наиболее распространенные методы газового анализа – хроматографический, масс-спектрометрический и раман-спектроскопический.

Таблица 3. Сравнение методов газового анализа

	Хроматография	Масс-спектрометрия	Рамановская спектроскопия
Принцип работы	Распределение компонентов смеси между двумя несмешивающимися фазами (подвижной и неподвижной)	Ионизация атомов и молекул вещества и разделение образующихся ионов в соответствии с их массовым числом m/z – отношением массы иона к его заряду	Пропускание луча с определенной длиной волны через образец и детектирование рассеянного от образца излучения
Применение	Идентификация/количественная оценка/физико-химическое исследование	Идентификация/элементный анализ/изотопный анализ	Идентификация/количественная оценка/химический анализ
Длительность процесса	Несколько минут	Непрерывно, пара секунд	Пара секунд – минута
Результат	Хроматограмма	Масс-спектр	Рамановский спектр
Недостатки	Взаимодействие молекул, частая повторная калибровка, длительность, присутствие оператора	Вакуум, необходимый для ионов; вещество разрушается, исследуются продукты его превращения	Слабый эффект, флуоресценция может заглушить сигнал
Преимущества	Простота обслуживания и обработки информации, совместимость с детекторами	Для анализа необходимо малое количество вещества	Чувствительность к колебаниям кристаллической решетки, уникальная характеристика молекулы

Из таблицы 3 можно видеть, что неразрушающим и быстродействующим методом является рамановская спектроскопия (спектроскопия комбинационного рассеяния света), которая позволяет с высокой точностью определить состав вещества и его природу, а также изучать внутримолекулярные взаимодействия. С его помощью можно определить и различить очень похожие между собой молекулы, которые невозможно различить с использованием других методов. Даже при практически одинаковой молекулярной структуре образцов их рамановский спектр будет сильно отличаться [3].

Учитывая все вышесказанное, можно сделать вывод, что для построения цифрового анализатора фреонов предпочтительнее всего использовать метод рамановской спектроскопии.

Заключение

В работе было представлено исследование американского рынка газоанализаторов, которое выявило его тенденции и основных участников. Исследование показало, что сфера газового анализа стремительно развивается, увеличивая свое влияние на основные области государственной деятельности США. Проведен патентный поиск по базе USPTO, который был нацелен на обнаружение патентов газоанализаторов по определению состава веществ, имеющих потенциал дальнейшего использования для идентификации хладагентов. Выбранные патенты отличаются своей универсальностью и в то же время представляют собой новейшее поколение газоанализаторов, которые снабжены вычислительными блоками и системами управления, что позволяет ускорить и автоматизировать процесс анализа образцов.

Рассмотрены физические и физико-химические методы газового анализа, выделены их преимущества и недостатки. Анализ патентной базы США показал, что большинство точных и чувствительных методов анализа состава основаны на методах рамановской спектроскопии, которая позволяет получить индивидуальный спектральный отпечаток. По чувствительности и времени считывания рамановская спектроскопия в несколько раз превосходит результаты, полученные с использованием других методов.

Литература

1. Gas analyzer market — growth, trends, covid-19 impact, and forecasts (2021 – 2026): аналит. обзор / Mordor Intelligence. Хайдарабад: Mordor Intelligence, 2020. 15 с.
2. Дивин А.Г., Пономарев С.В. Методы и средства измерений, испытаний и контроля: учеб. пособие. Тамбов: ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2014. 105 с.
3. K.A. Bakeev. Process Analytical Technology: Spectroscopic Tools and Implementation Strategies for the Chemical and Pharmaceutical Industries, 2nd Edition. West Sussex : A John Wiley & Sons, Ltd., 2010. 570 p.

УДК 664.151.2

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЯЗКОСТНЫХ СВОЙСТВ И ЭНЕРГИИ
АКТИВАЦИИ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ СВЕКЛОВИЧНОЙ МЕЛАССЫ
В ШИРОКОМ ДИАПАЗОНЕ ТЕМПЕРАТУР И СКОРОСТЕЙ СДВИГА**

Фомина Е.А.¹, Суздальцева О.А.¹

Научный руководитель – д.т.н., профессор Новоселов А.Г.¹

¹Университет ИТМО

Работа выполнена в рамках темы НИР №620161 «Теоретические и экспериментальные исследования процессов молекулярного переноса импульса, тепловой энергии и массы в жидких многокомпонентных средах».

В данной работе рассмотрены вязкостные свойства водных растворов мелассы. Проведен анализ зависимости вязкости мелассных растворов от температуры и градиента скорости сдвига, а также получены кривые течения. На основе полученных экспериментальных данных выполнен расчет значений энергии активации вязкого течения.

Ключевые слова: свекловичная меласса, вязкостные свойства, динамическая вязкость, энергия активации, питательные среды.

Меласса является одним из побочных продуктов производства сахара из свеклы. Из-за большого содержания сахарозы ее активно используют в качестве сырья для приготовления питательных сред для культивирования микроорганизмов. Широкое применение свекловичная меласса находит в производстве хлебопекарных дрожжей, так как производство хлебопродуктов требует включения в рецептуру непосредственно дрожжевых клеток. Воспроизводство биомассы осуществляется в специальных аппаратах – ферментаторах, которые реализуют процесс аэробного глубинного культивирования микроорганизмов в жидкой питательной среде воздушно-приточным способом.

Мощность дрожжевого завода по целевому продукту может быть увеличена за счет увеличения количества ферментаторов или их суммарного рабочего объема, повышения концентрации биомассы и интенсификации клеточного роста, что выражается в снижении времени культивирования. Увеличение суммарного рабочего объема ферментаторов ведет к дополнительным капитальным вложениям, увеличению энергозатрат и количества вспомогательных материалов, связанных с мойкой и техническим обслуживанием аппаратов. Кроме того, возрастает и время на подготовительные работы. Вмешательство в клеточные процессы с целью ускорения роста клеток и их деления – задача не решенная и практически не исследованная в настоящее время.

Таким образом, наиболее перспективным представляется повышение концентрации дрожжей, т.е. проведение культивирования одноклеточных микроорганизмов при высокой концентрации их в ферментаторе на всех стадиях технологического процесса. Выгоды, которые могли бы быть получены в случае успеха, неоспоримы: высвобождается производственная площадь, уменьшаются затраты энергии и воды на проведение процесса, пара и моющих средств на стерилизацию внутренней поверхности ферментатора и ее мойку. Кроме того, проведение культивирования до конечной концентрации клеток $400 - 500 \text{ кг/м}^3$ позволит сократить число стадий сепарации, уменьшить потери биомассы при проведении этого процесса, а высокое содержание дрожжевых клеток в единице объема культуральной жидкости само по себе препятствует развитию посторонней микрофлоры в среде. Более того, такое проведение процесса целесообразно и с экологической точки зрения, поскольку уменьшается объем стоков, подлежащих очистке. На базе Университета ИТМО были проведены комплексные исследования возможности культивирования хлебопекарных дрожжей при высоких концентрациях биомассы и разработана конструкция кожухотрубного струйно-инжекционного ферментатора (КСИФ), позволяющая успешно реализовывать данную технологию.

Однако перевод технологий производства дрожжей на их культивирование при высоких концентрациях биомассы требует более глубоких и детальных исследований. В частности, новая технология культивирования требует бесперебойного обеспечения клеток питательными веществами, находящимися в мелассе.

В связи с тем, что количество питательных веществ в водном растворе (жидкостной фазе) неизбежно возрастет, то очевидно, что изменятся и ее физико-химические свойства, и, в частности, вязкость.

Проведенный обзор известных литературных источников показал, что данные по вязкости водных растворов мелассы представлены в малом объеме. В одних работах приведены данные по значениям динамической вязкости растворов мелассы, но отсутствуют данные по значениям скоростей сдвига, при которых они были получены [1]. Отсюда можно сделать вывод, что авторы данной работы считают, что течение мелассовых растворов подчиняется закону течения ньютоновских жидкостей. С другой стороны, в работах утверждается, что кривые течения растворов мелассы соответствуют псевдопластичным жидкостям [2,3]. В этой связи встала необходимость проведения комплексных исследований влияния химического состава питательной среды на коэффициенты переноса в широком диапазоне температур и концентраций мелассы, питательных солей и ростовых веществ.

Эксперимент был поставлен следующим образом. На основе сырой свекловичной мелассы, полученной на АО «Комбинат пищевых продуктов» (СПб), были приготовлены растворы с различной кратностью разбавления (вода:меласса) – 1:8, 1:6, 1:4. Измерения проводились на ротационном вискозиметре с цилиндрической измерительной системой Rheotest RN 4.1 в температурном диапазоне от 10°C до 70°C и в диапазоне градиентов скоростей сдвига от 1 с⁻¹ до 300 с⁻¹. Объем каждой пробы, помещаемой в измерительную ячейку, составлял 30 мл. Перед проведением измерений каждая проба термостатировалась в течение 20 минут для достижения заданной температуры. Непосредственно время эксперимента (постепенного изменения градиента скорости сдвига в заданном диапазоне) составляло 1200 с.

В результате исследований для каждого из вышеперечисленных растворов были получены графические зависимости: напряжение сдвига от градиента скорости сдвига, коэффициент динамической вязкости от градиента скорости сдвига, вязкостно-температурные кривые. На рисунке 1 представлены вязкостно-температурные кривые, построенные по результатам исследования раствора с кратностью разбавления 1:8. Из графика видно, что изменение скорости сдвига оказывает слабое влияние на изменение вязкости и наибольшая разница наблюдается при переходе от скорости сдвига 10 с⁻¹ к 20 с⁻¹. На рисунке 2 представлена зависимость величины коэффициента динамической вязкости того же раствора от градиента скорости сдвига в указанном диапазоне температур. Вязкость с ростом температуры убывает, при этом после достижения температуры 30°C изменения становятся не такими заметными, как в диапазоне температур 10-30°C.

Таким образом, полученные зависимости могут характеризовать водные растворы мелассы как псевдопластичные жидкости (т.е. жидкости, вязкость которых зависит от скорости сдвига) только в диапазоне градиентов скоростей сдвига до 50 с⁻¹, при более высоких значениях данного параметра растворы ведут себя как ньютоновские жидкости.

На основе полученных экспериментальных данных был выполнен расчет значений энергии активации вязкого течения. Расчет проводился с использованием уравнения Эйринга-Френкеля, представленного в виде:

$$\ln \mu = E/RT + A,$$

где μ – динамическая вязкость жидкости, Па·с;

E – энергия активации вязкого течения, Дж/моль;

R – универсальная постоянная, Дж/моль·К;

T – температура, К [4].

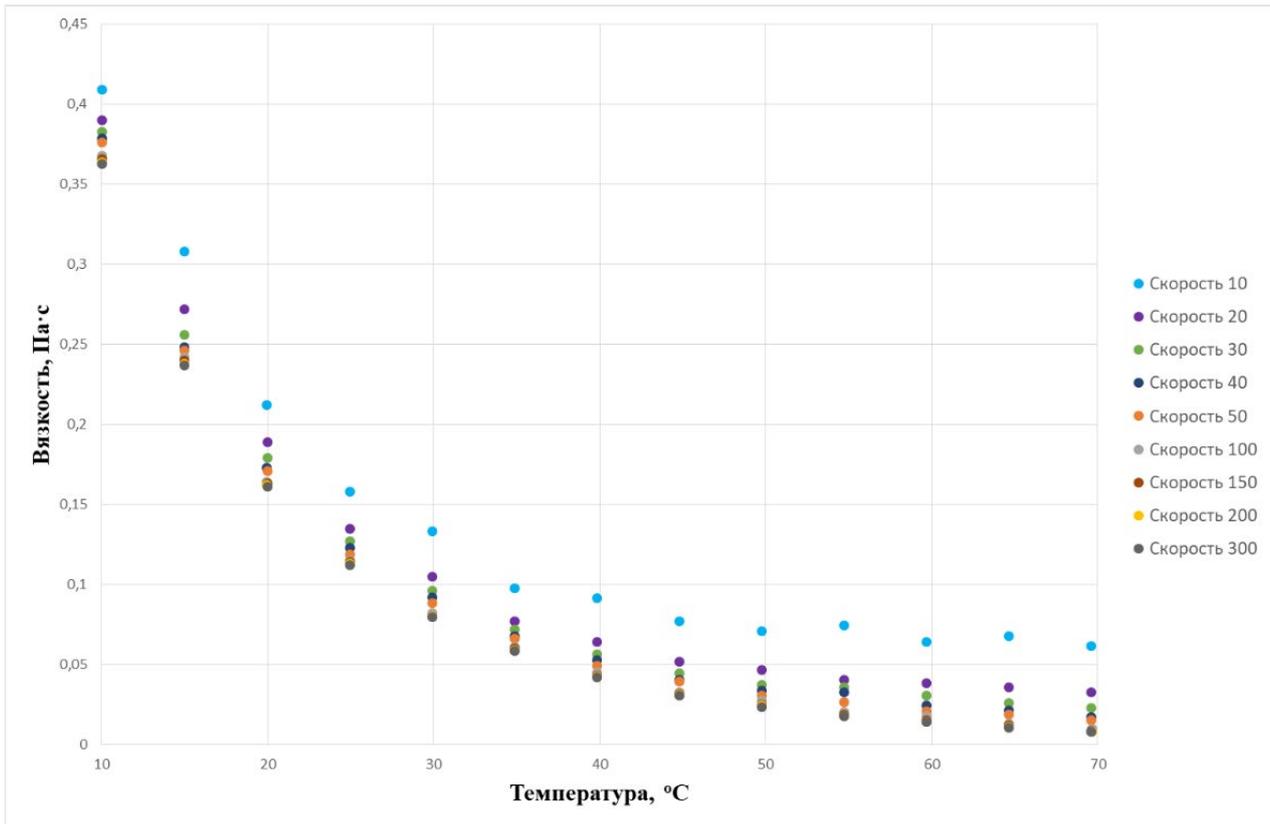


Рис. 1. Зависимость вязкости раствора 1:8 от температуры при различных скоростях сдвига

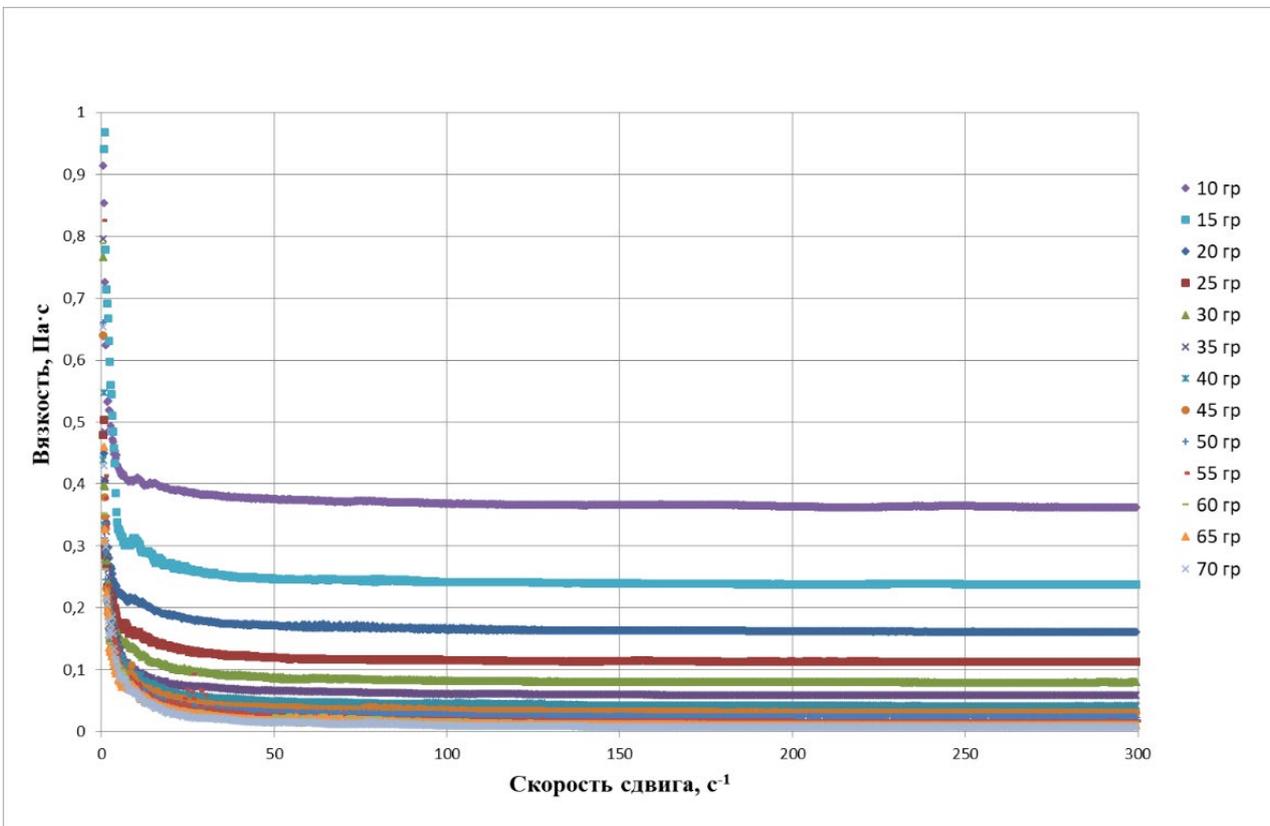


Рис. 2. Зависимость вязкости раствора 1:8 от скорости сдвига при различных температурах

Величина E рассчитывается по зависимости $\ln \mu$ от $1/T$. В ходе построения данных зависимостей оказалось, что в диапазоне скоростей сдвига от 10 до 40 с^{-1} включительно они имеют достаточно резкий перегиб при температуре 35-50°C (рис. 3, 4). При скорости сдвига 50 с^{-1} и выше происходит сглаживание, и зависимость приобретает вид одной прямой (рис. 5).

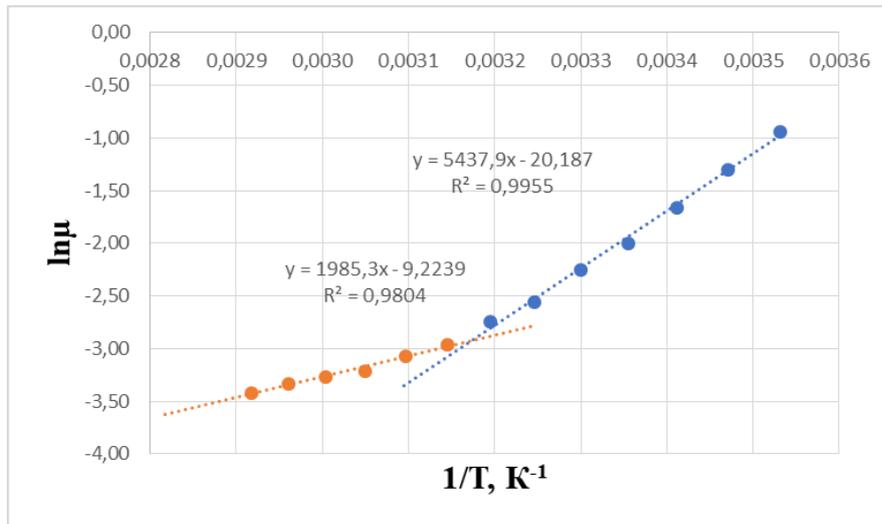


Рис. 3. Зависимость $\ln \mu$ от $1/T$ при скорости сдвига 20 с^{-1} для раствора 1:8

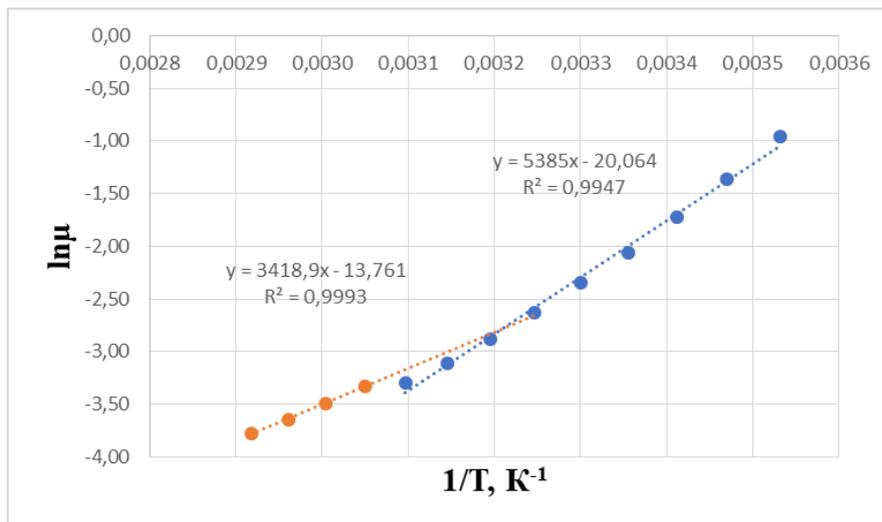


Рис. 4. Зависимость $\ln \mu$ от $1/T$ при скорости сдвига 30 с^{-1} для раствора 1:8

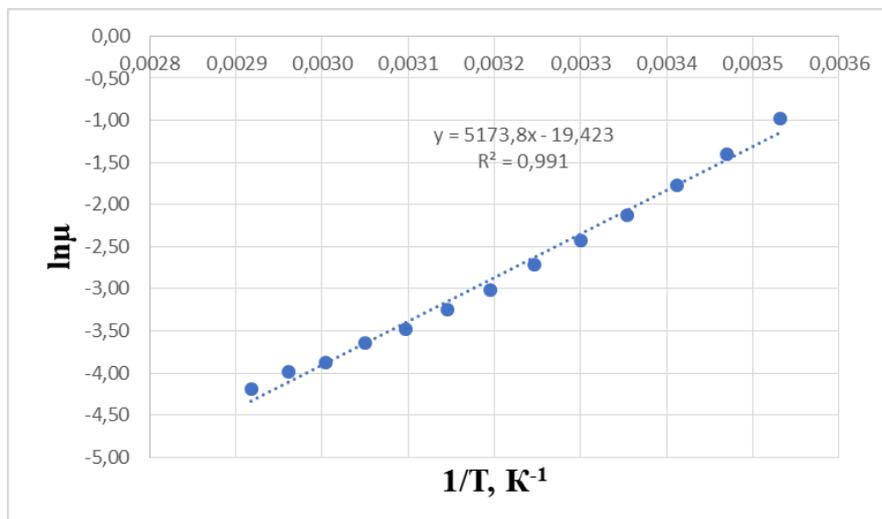


Рис. 5. Зависимость $\ln \mu$ от $1/T$ при скорости сдвига 50 с^{-1} для раствора 1:8

Таким образом, для скоростей сдвига до 50 с^{-1} было получено два значения энергии активации вязкого течения – для области низких температур и для области высоких температур. При скорости сдвига 50 с^{-1} и выше эти два значения становятся равными, что можно наблюдать на графике, представленном на рисунке 6. Чем вызвано наблюдаемое явление, в данной работе не было установлено и подлежит дальнейшему рассмотрению.

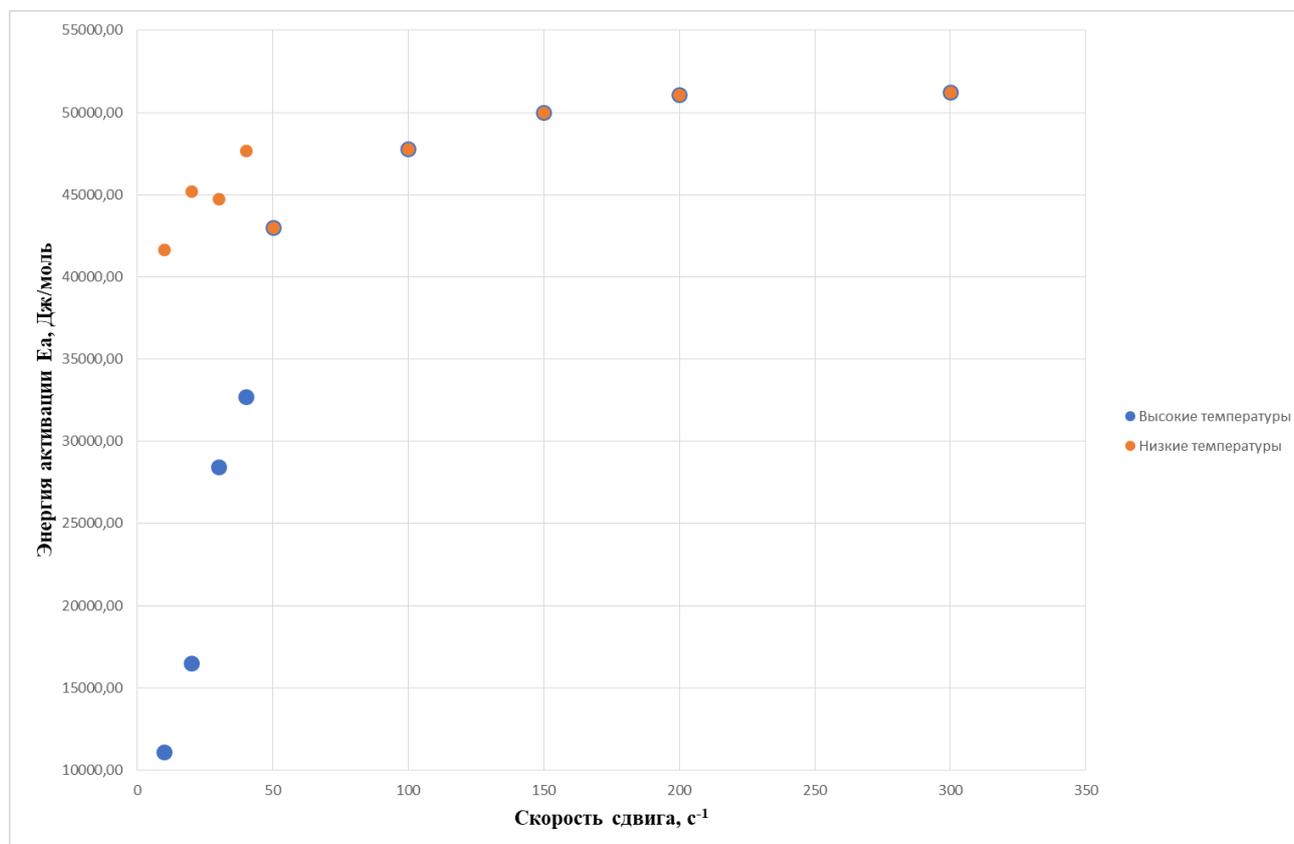


Рис. 6. Зависимость энергии активации вязкого течения от скорости сдвига для раствора мелассы 1:8

Литература

1. Новаковская С.С., Шишацкий Ю.И. Справочник по производству хлебопекарных дрожжей. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Пищевая промышленность, 1980. 375 с.
2. Karaman S., Kayacier A. Effect of temperature on rheological characteristics of molasses: Modeling of apparent viscosity using Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS) // LWT – Food Science and Technology. 2011. V. 44. P. 1717-1725.
3. Toğrul H., Arslan N. Mathematical model for prediction of apparent viscosity of molasses // Journal of Food Engineering. 2004. V. 62. P. 281-289.
4. Семихина Л.П., Пашнина А.М., Ковалева И.В., Семихин Д.В. Влияние температуры и напряжения сдвига на реологические свойства нефтяных дисперсных систем // Вестник Тюменского государственного университета. Физико-математическое моделирование. Нефть, газ, энергетика. 2018. Т. 4. Вып. 3. С. 36-52.

УДК 621.59

ВЫБОР РЕЖИМА РАБОТЫ УСТАНОВКИ СЖИЖЕНИЯ ПРИРОДНОГО ГАЗА НА БАЗЕ ДРОССЕЛЬНО-ДЕТАНДЕРНОГО ЦИКЛА

Халиманчик А.О.¹, Зайцев А.В.¹

Научный руководитель – к.т.н., доцент Зайцев А.В.¹

¹Университет ИТМО

Работа выполнена в рамках темы НИР №620149 «Усовершенствование ожижителя природного газа».

В работе описан принцип работы установки сжижения природного газа на базе дроссельно-детандерного цикла. Произведен расчет установки сжижения в программном комплексе Aspen HYSYS. Проведена оптимизация нескольких параметров установки сжижения с целью достижения максимального коэффициента сжижения.

Ключевые слова: сжиженный природный газ, СПГ, малотоннажное производство СПГ, дроссельно-детандерный цикл, перспективы СПГ, коэффициент ожижения.

В мире из года в год растет потребление сжиженного природного газа (СПГ). Существует множество технологий производства сжиженного природного газа, которые применяются при проектировании заводов [1]. При крупнотоннажном производстве сжиженного природного газа наиболее часто применяются технологии ACP S3MR и ConocoPhillips Optimized Cascade. Но данные технологии нерентабельны при малых объемах производства, поэтому при малотоннажном производстве применяются другие технологии [2]. В России существуют планы газификации отдаленных и труднодоступных регионов при помощи доставки в эти места СПГ, который будет производиться на малотоннажных заводах на основе газораспределительных станций по различным технологиям сжижения.

В данной работе произведен расчет установки сжижения природного газа на базе дроссельно-детандерного цикла. Для расчета установки сжижения были заданы исходные данные, представленные в таблице 1.

Таблица 1. Исходные данные

Состав газа:	Мольное содержание компонента, %	Параметры газа	Значение
Метан	97,5	Давление газа в магистрале, МПа	2,8
Этан	0,85		
Пропан	0,45	Температура окружающей среды, К	293
н-Бутан	0,05		
и-Бутан	0,05	Расход газа, м ³ /ч	5000
Азот	1,1		

Технологическая схема установки сжижения представлена на рисунке 1.

Газ из магистральной сети поступает в установку сжижения, где разделяется на два потока. Первая часть идет на дополнительное сжатие в компрессоре детандерно-компрессорного агрегата, после чего горячий газ высокого давления охлаждается в первом теплообменном аппарате (ТО1) второй частью входящего газа, которая не пошла на сжатие.

Далее газ высокого давления разделяется на два потока. Первый – производственный поток, последовательно охлаждается во втором и третьем теплообменных аппаратах (ТО2, ТО3). Затем расширяется в дроссельном устройстве, благодаря чему происходит дополнительное охлаждение и частичное сжижение природного газа. После этого в сепараторе происходит разделение жидкой и газообразной фаз. Жидкая фаза (СПГ) направляется в резервуары для

хранения. Несконденсировавшиеся пары природного газа используются для охлаждения производственного потока.

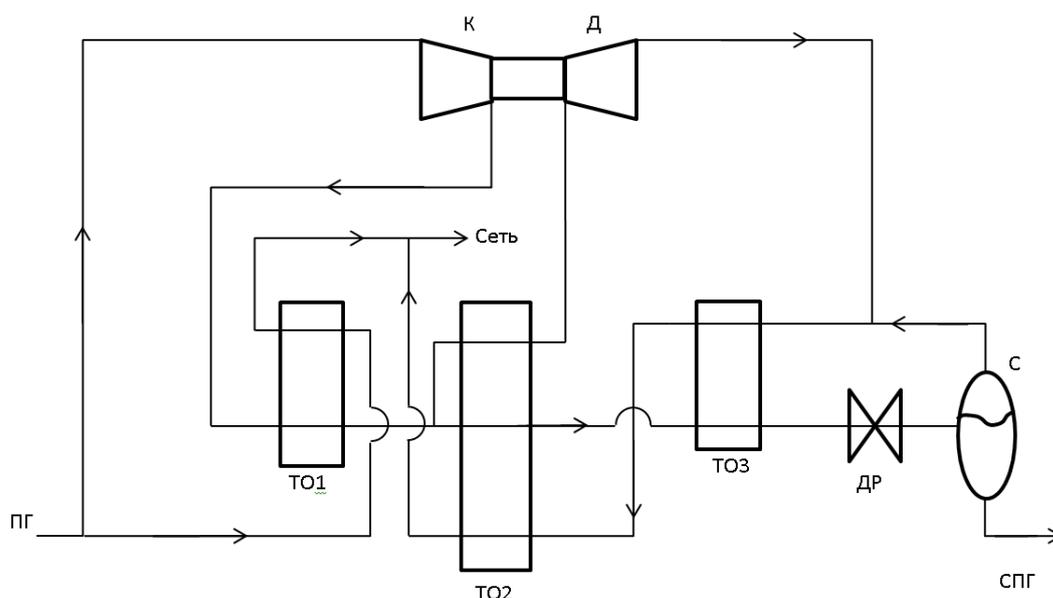


Рис. 1 Технологическая схема установки сжижения природного газа на базе дроссельно-детандерного цикла: ТО1, ТО2, ТО3 – теплообменники; ДР – дроссельное устройство; С – сепаратор; К – компрессор; Д – детандер

Второй поток охлаждается в теплообменнике (ТО2), после чего направляется на расширение в детандер детандерно-компрессорного агрегата, где происходит сброс давления и понижение температуры. Этот холодный газ соединяется с несконденсировавшимися парами и служит для охлаждения производственного потока в теплообменниках (ТО2, ТО3), после чего соединяется с газом, который охлаждал производственный поток газа в первом теплообменнике (ТО1). Эта смесь направляется в сеть для обеспечения нужд потребителей.

Особенностью данной установки является использование детандерно-компрессорного агрегата. Практически вся мощность, создаваемая детандером используется для работы компрессора, в результате чего удельные затраты на производство сжиженного газа практически отсутствуют. В статье [2] указывается, что удельные энергозатраты для установки ГРС-4 в Екатеринбурге, работающей по данной технологии, составляют 10 кВт·ч/т СПГ.

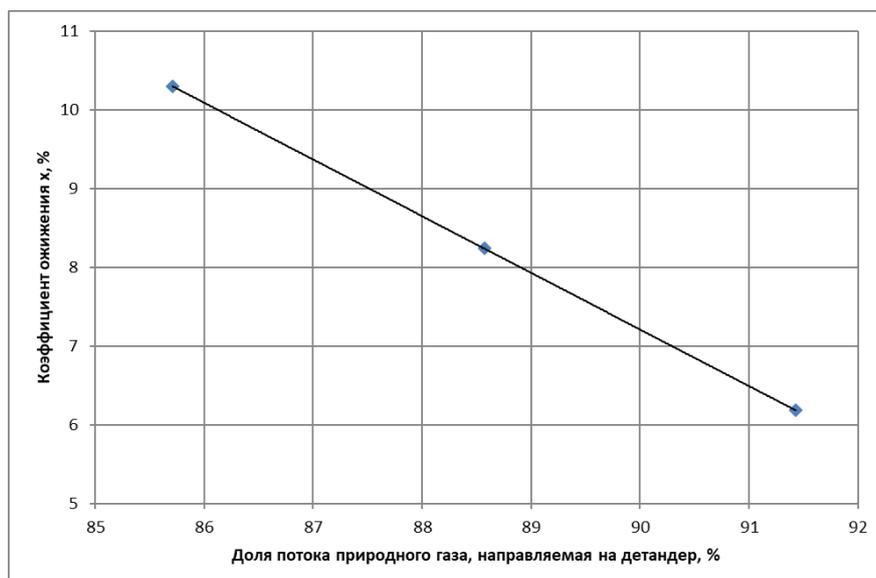


Рис. 2. Зависимость коэффициента ожигения x от доли природного газа, направленного на расширение в детандер

Расчет установки был произведен в программном комплексе Aspen HYSYS. В серии экспериментов изменялись доля газа, направляемая на расширение в детандере и температура продукционного потока после выхода из теплообменного аппарата (ТОЗ). Также учитывался фактор баланса мощности, потребляемой в процессе работы компрессом и выделяемой детандером. На рисунке 2 изображена зависимость между коэффициентом ожижения и долей потока газа, направляемой в детандер при фиксированной температуре продукционного потока после охлаждения в теплообменном аппарате (ТОЗ) на уровне до $-118\text{ }^{\circ}\text{C}$.

В результате серии экспериментов было выяснено, что максимальный коэффициент ожижения достигает значения 10,3%. Такое значение достигается при температуре продукционного потока за третьим теплообменником, равной $-118\text{ }^{\circ}\text{C}$, и доле газа, направляемой на расширение в детандер, равной 85,71% (или 3000 кг/ч).

Литература

1. Федорова Е.Б. Современное состояние и развитие мировой индустрии сжиженного природного газа: технологии и оборудование. – М.: РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина, 2011. 159 с., ил.
2. Российские малотоннажные производства по сжижению природного газа./ А.Д. Кондратенко, А.Б. Карпов, А.М. Козлов, И.В. Мерещин// НефтеГазоХимия. 2016. № 4. С. 31–36.

УДК 681.7.068

**НАИЛУЧШИЕ СИСТЕМЫ И УСТРОЙСТВА
ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ ФРЕОНОВ, ОТРАЖЕННЫЕ
В РОССИЙСКОЙ ПАТЕНТНОЙ БАЗЕ**

Хамзина А.М., Карпова Н.Г., Быковская Е.А.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Кустикова М.А.

¹Университет ИТМО

Работа выполнена в рамках темы НИР № 620159 «Разработка и исследование цифрового анализатора фреона».

В данной работе решена задача по изучению аналогов систем идентификации фреонов, построенных на основе различных методов, и поиску наилучших решений для разработки анализатора фреонов среди существующих систем и устройств. Для этого был проведён патентный поиск по российской базе исследований. В ходе поиска было обнаружено несколько полезных моделей и изобретений, построенных на основе рамановской спектроскопии.

Ключевые слова: рамановская спектроскопия, комбинационное рассеяние, рамановский сдвиг, рамановское рассеяние, анализаторы.

Сектор низкотемпературной энергетики является одним из основных проблемных участков энергетики, обуславливающих изменение климата. Создание соответствующих условий с низкими температурами требуется для пищевых, медицинских, фармацевтических организаций, для центров обработки данных, жилых и рабочих помещений и многих других структур. Но с ростом населения в мире, особенно в крупных городских агломерациях, потребность в климатических и холодильных системах значительно возрастает, что при неправильном подходе к использованию климатических и холодильных систем может приводить к энергетическим проблемам.

В холодильных системах используются хладагенты, позволяющие понижать температуру в камере до требуемых температур за счёт происходящих физических процессов, однако выделяют теплоту при более высоких температурах и давлении, что, в свою очередь, служит причиной увеличения выбросов парниковых газов хладагентов в атмосферу. Контроль над выбросами происходит на основе межгосударственных соглашений между разными странами.

По данным научного журнала «Nature Communications», ученые в последнее время наблюдают положительные изменения в состоянии озонового слоя. Так, более пяти лет назад было зафиксировано уменьшение озоновой дыры в Антарктике, что позволило сделать выводы об эффективности мер в реализации Монреальского протокола и Венской конвенции, которая также запрещает производство и применение наиболее опасных разновидностей соединения углеводородов со фтором и прочими галогенами. Однако три года назад экологи, проанализировав тенденцию к уменьшению концентрации фреонов, сделали вывод о том, что концентрация самого распространённого типа фреонов, CFC-11, уменьшалась медленнее, чем прогнозировалось. Вскоре было выяснено, что именно нелегальное производство и распространение подобных фреонов замедлило этот процесс. После проведения расследования обнаружили, что на северо-востоке Китая было несколько нелегальных производств. Они были закрыты, но вероятность существования похожих предприятий все ещё существует [1].

Как известно, Россия граничит с Китаем, и зачастую сотрудничество является наиболее выгодным за счёт экономии затрат на транспортировку товаров. Недобросовестные производители и предприниматели, покупающие запрещенные хладагенты, продолжают вести бизнес, нарушая закон и провозя контрафактную продукцию на территорию России. Подобная нелегальная торговля хладагентами может снижать результативность мер,

призванных обеспечить исполнение обязательств по Монреальскому протоколу, что приводит к дополнительным выбросам парниковых газов, усиливая «давление» на климат.

На сегодняшний день на таможне используются технические средства инструментального контроля озоноразрушающих веществ согласно Приказу ФТС России N 2509. В применяемых идентификаторах хладагента используется технология недисперсионного ИК-света (NDIR) для определения весовых концентраций выбранных типов хладагентов. Но существенный недостаток приборов данного типа, связанный с ограниченным списком идентифицируемых хладагентов, препятствует качественному выполнению работы.

Тем не менее, существуют множество других методов для идентификации озоноразрушающих веществ: хромато-масс-спектрометрический, акустический, электрохимический, полупроводниковый, абсорбционная спектрометрия, рамановская спектроскопия. Среди этих методов высокой избирательностью и точностью измерений, безусловно, отличается метод рамановской спектроскопии.

Целью данной работы является выполнение патентного исследования систем и устройств, работающих по принципу рамановской спектроскопии для проведения высокоточного химического анализа веществ.

Комбинационное рассеяние происходит, в данном случае, не на атомах (как в случае с упругим рассеянием), а на молекулах вещества, позволяя получить информацию благодаря молекулярным колебаниям среды. Как известно, существуют следующие виды движения молекулы:

- 1) электронное – движение электронов молекулы относительно ее ядер;
- 2) колебательные – колебание ядер относительно своего положения равновесия;
- 3) вращательные – колебание ядер относительно движения молекулы (т.е. вращение молекул как целого).

Новые линии, называемые «спутниками» или «сателлитами», в спектре рассеяния являются комбинацией частот падающего света и частот колебательных и вращательных переходов – этим и обуславливается название «комбинационное рассеяние» [2].

Рамановский рассеянный свет может возникать на длинах волн, смещенных от падающего света квантами молекулярных колебаний. Анализируя спектр рамановского рассеяния, можно сделать вывод о молекулярном составе исследуемого вещества. Явление рамановского рассеяния перспективно для изучения физических процессов, включая идентификацию химических свойств, составов и структур.

В настоящее время для качественных и количественных исследований образцов используются аналитические методы спектроскопии рамановского сдвига. Если падающее излучение используется для рассеяния света от образца и измеряются данные рассеянного излучения, рассеянное излучение может обеспечивать одну или несколько частот, связанных с образцом, а также интенсивности этих сдвинутых частот.

Хотя эти принципы и явления известны, до недавнего времени попытки применить их к качественному и количественному анализу образцов не всегда приводили к желаемым результатам. Из-за слабости рамановского рассеянного сигнала, флуоресценции и других ограничений, связанных со спектроскопическими приборами, до недавнего времени цель создания стандартного рамановского спектра для использования в анализах образцов была проблемой, не решаемой с помощью известных устройств и методов.

Среди наиболее интересных решений следует рассмотреть дистанционный оптический абсорбционный лазерный газоанализатор. Прибор включает в себя блок задающего лазерного излучателя с лазерным диодом, реперную кювету, оптическую приемную систему, детектор сравнения, блок навигации, блок термостабилизации, фотодетектор, усилитель аналитического сигнала, блок обработки данных, блок записи и хранения информации и блок оптоволоконного рамановского усилителя. В качестве световода для рамановского усилителя используют высокогерманосиликатное оптическое волокно с повышенным содержанием оксида германия [3].

Одним из способов применения вынужденного комбинационного рассеяния (ВКР) является рамановский усилитель. Принцип работы усилителя заключается в том, что в результате ВКР фотоны излучения накачки не только изменяют свою траекторию, но и отдают часть своей энергии атомам волокна. При этом рождается новый фотон, частота которого сдвинута в область более низких частот, а микрочастица волокна возбуждается. Становится возможным усиление полезного оптического сигнала за счет процессов вынужденного испускания. На рисунке изображена схема работы ВКР-усилителя.

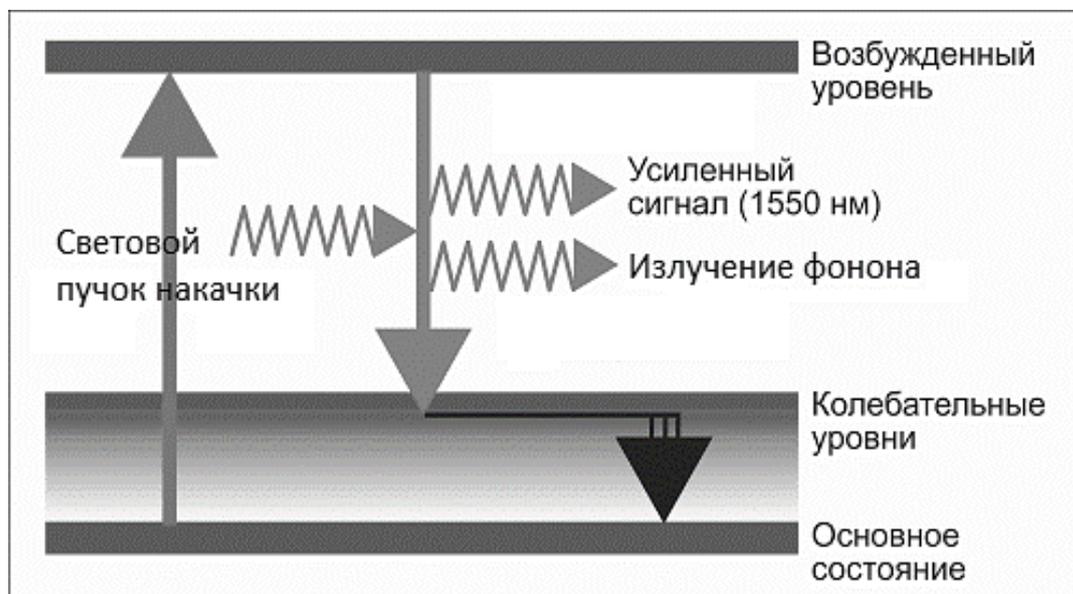


Рисунок. Схема работы ВКР-усилителя

Для повышения чувствительности и разрешающей способности, а также для исключения дополнительных работ по расшифровке сложных спектров многокомпонентных смесей был разработан спектрально-селективный портативный раман-люминесцентный анализатор. Изобретение относится к области оптического анализа состава вещества по спектрам рамановского рассеяния и люминесценции. Спектрально-селективный портативный раман-люминесцентный анализатор дополнительно содержит микроскопный объектив или микроскоп и подключенный к компьютеру одно- или двухкоординатный транслятор образца. Анализатор выполнен с возможностью управления устройством перемещения образца, а также синхронизации пошагового сканирования образца и идентификации вещества на каждом шаге с фокусировкой лазерного луча объективом микроскопа в пятно микронных или субмикронных размеров [4].

Увеличить селективность прибора во время анализа способен оптический датчик с многослойной плазмонной структурой для усовершенствования обнаружения химических групп посредством поверхностно усиленного комбинационного рассеяния. Данный датчик предназначен для обнаружения наличия химических групп в анализе, нанесенном на датчик. Он включает в себя подложку, плазмон-резонансное зеркало, сформированное на чувствительной поверхности подложки, слой плазмон-резонансных частиц, размещенный поверх зеркала, и слой оптически прозрачного диэлектрика толщиной около 2 – 40 нм, разделяющий зеркало и слой частиц [5].

Рамановская спектроскопия обладает преимуществами по сравнению с другими способами оценки состава: простота подготовки образца, доступ к большому количеству информации, неразрушающий и бесконтактный анализ. В последнее время спектроскопия комбинационного рассеяния света получила очень широкое применение: для изучения окружающей среды, в фармацевтике, геммологии, геологии и минералогии и во многих других отраслях.

Многофункциональный аналитический прибор может быть востребован Федеральной таможенной службой России, а также Федеральной службой безопасности на объектах транспортной инфраструктуры для идентификации различных химических веществ.

Литература

1. Lickley, M., Fletcher, S., Rigby, M. et al. Joint inference of CFC lifetimes and banks suggests previously unidentified emissions. *Nat Commun* 12, 2920. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1038/s41467-021-23229-2> (дата обращения: 24.02.2021).
2. Новикова В.А., Варжель С.В., Рассеяние света и его применение в волоконной оптике – СПб: Университет ИТМО, 2019. 39 с.
3. Патент РФ № 2018116545, 03.05.2018. Дистанционный оптический абсорбционный лазерный газоанализатор // Патент России № 2694461. 2019. Бюл. № 20. / Ермаков А.А., Минеев А.П., Стельмах О.М. [и др.].
4. Патент РФ № 2012147714/28, 12.11.2012. Спектрально-селективный портативный раман-люминесцентный анализатор // Патент России № 2526584. 2014. Бюл. № 14. / Кулик Л.В., Журавлев А.С., Ваньков А.Б. [и др.].
5. Патент РФ № 2006144957/28, 19.05.2005. Оптический датчик с многослойной плазмонной структурой для усовершенствованного обнаружения химических групп посредством SERS // Патент России № 2361193. 2009. Бюл. № 19. / Попонин.В.

УДК 664.14

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В ТЕХНОЛОГИИ КОНДИТЕРСКИХ ИЗДЕЛИЙ

Чаплина А.А.¹

Научный руководитель – ассистент Иванова В.А.¹

¹Университет ИТМО

В работе описаны основные группы биологически активных веществ, применение которых в кондитерских изделиях открывает возможности для создания продуктов с новыми свойствами. Проводится сравнение технологий мармелада, зефира и пастилы, с целью анализа возможностей использования биологически активных соединений в составе рассматриваемых кондитерских изделий.

Ключевые слова: биологически активные вещества; технологии мармелада, зефира и пастилы; термоустойчивость БАВ; физические и химические свойства БАВ; бета-глюкан.

Использование биологически активных соединений в пищевых продуктах очень актуально на сегодняшний день, при этом существует не так много кондитерских изделий, содержащих БАВ, и не все биологически активные соединения (БАС) могут выдерживать технологию производства таких изделий.

Биологически активные вещества (БАВ) – химические вещества, необходимые для поддержания жизнедеятельности живых организмов, обладающие высокой физиологической активностью при небольших концентрациях по отношению к определенным группам живых организмов или их клеткам [1].

Заинтересованность производителей БАВ связана с ростом популярности продуктов профилактического и терапевтического действия. Кроме того, часто БАВ получают в результате переработки отходов в пищевой промышленности и сельского хозяйства, что открывает дополнительные возможности к получению целого ряда таких соединений и повышению экономической эффективности производства.

Биологически активные соединения могут отличаться по происхождению, источнику получения, действию на человеческий организм и многим другим признакам.

Варианты классификации БАВ представлены в таблице 1.

Таблица 1. Варианты классификации БАВ

Варианты классификации БАВ		Использованные ссылки
По происхождению	Природные: растительного и животного происхождения Синтетические	[2]
По действию на организм	Биоинертные Биосовместимые Бионесовместимые Биоактивные направленного действия	
По токсичности	Нетоксичные вещества Сильнодействующие вещества Ядовитые вещества	

Также существуют и другие варианты классификации, например, по:

- размеру частиц;
- устойчивости к температуре;
- возможности накапливаться в организме;
- возможности оказывать наркотические или другие действия.

Для применения в технологии пищевых продуктов важно учитывать химические, физические и органолептические свойства БАВ. В этой связи актуально обращать внимание на агрегатное состояние этих соединений (жидкие, твердые, аморфные), цвет (бесцветные, окрашенные), запах (с запахом, без запаха) и вкус (слабый, резкий, без вкуса).

Очевидно, что не все биологически активные соединения могут успешно использоваться в пищевых продуктах. Вопросам возможностей применения БАВ в пищевых продуктах посвящено большое количество исследований. Так, например, для успешного применения БАВ с интенсивным запахом последнее время все чаще используются технологии предварительного капсулирования БАВ [3].

Отдельные технологии продуктов питания подразумевают использование высоких температур, что делает невозможным применение ряда биологически активных веществ в этих технологиях, ввиду их химической нестойкости или потере биологических свойств в условиях таких температур.

В таблице 2 приведены примеры некоторых БАВ и их температуры кипения и плавления.

Таблица 2. Температура кипения / Температура плавления

БАВ	Температура кипения	Температура плавления
Эфирные масла	от 150 до 350 °С	-
Витамин В1 (тиамин)	-	248 – 250 °С
Биотин	573,6 °С	232 °С
Дубильные вещества	-	от 180 до 2000 °С

При этом принято говорить не сколько о температуре кипения/ плавления, сколько о температуре разрушения биологически активных веществ или потере их физических, химических и биологических свойств, так называемой термоустойчивости БАВ. Исходя из таких данных, мы можем определить, подходит ли рассматриваемое вещество для данной технологии.

Кроме того, важно учитывать такое свойство БАВ, как растворимость, так как пищевые продукты имеют разный физико-химический состав, а некоторые БАВ могут не усваиваться организмом человека в нерастворенном состоянии.

С точки зрения растворимости биологически активные вещества делятся на:

- растворимые и нерастворимые в органических веществах;
- растворимые и нерастворимые в воде [4].

При использовании в технологии пищевых продуктов БАВ важно оценивать способность БАВ сохранять свои свойства в данном продукте, что обеспечивается инертностью среды по отношению к выбранному БАВ, отсутствием физико-химического, механического и биохимического разрушения используемого БАВ в процессе производства пищевого продукта и в течение всего срока его хранения. В этой связи на первый план выходят термоустойчивость БАВ, его химическая инертность по отношению к продукту и, нередко - отношение к растворителям.

Задачей данного исследования был выбор технологии кондитерского изделия, в состав которого возможно включение БАВ – бета-глюкансодержащего препарата, полученного из остаточных пивных дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* [5]. Бета-глюкан – полисахарид, обладающий целым спектром биологически активного действия, демонстрирующий противовоспалительные, антимикробные, иммуностимулирующие, противоопухолевые, гипохолестеринемические и гипогликемические свойства. Дрожжевой бета-глюкан стабилен при температуре до +150 °С. Технологии зефира, мармелада и пастилы анализировали с точки зрения возможности использования данного препарата в технологии рассматриваемых кондитерских изделий.

Максимальная температура, применяемая в технологии зефира, 200 °С. Введение термостабильных компонентов возможно на любом этапе технологии. БАВ, чувствительные к действию высоких температур, а также упомянутый выше препарат бета-глюкана дрожжей

допускается вводить в продукт на стадии взбивания пюре с белками (температура 15-20 °С), чтобы избежать воздействия высоких температур.

Максимальная температура, применяемая в технологии мармелада, 80 °С. Поэтому в этой технологии возможно применение биологически активных веществ, устойчивых при данной температуре. Термостабильные БАВ допускается вводить в продукт на стадии остывания или применять поверхностное нанесение на готовое изделие.

Технология пастилы подразумевает использование температуры 100 °С, что также накладывает ограничения на применение некоторых биологически активных веществ.

В табл. 3 представлены некоторые БАВ, температуры их разрушения или потери химических, физических или биологических свойств, а также отмечена возможность их применения в технологии производства рассматриваемых кондитерских изделий.

Таблица 3. Температуры разрушения БАВ и возможность их применения в технологии производства рассматриваемых кондитерских изделий

Название БАВ	Температура разрушения БАВ	Зефир (200 °С)	Мармелад (80 °С)	Пастила (100 °С)
Витамин С (аскорбиновая кислота)	190 °С	-	+	+
Витамин В1 (тиамин)	120 °С	-	+	+
Фолиевая кислота	250 °С	+	+	+
Пантотеновая кислота	183,83 °С	-	+	+
Биотин	232 °С	+	+	+
Препарат бета-глюкан	Выше 150 °С	+	+	+

+: допустимо использование данного БАВ в рассматриваемой технологии

-: недопустимо использование данного БАВ в рассматриваемой технологии

Таким образом, анализ данных технологий показал, что в рецептуру кондитерских изделий – зефира, мармелада и пастилы – можно добавлять термостабильные биологические активные вещества. Термически нестабильные вещества рекомендуется вносить на стадии остывания продукта, либо поверхностным нанесением на готовый продукт. Рассматриваемый в данной работе препарат бета-глюкана может использоваться в технологии мармелада и пастилы на любой технологической стадии, а при использовании в технологии зефира – на стадии остывания продукта.

Литература

1. Громова. Н.Ю., Косивцов. Ю.Ю., Сульман. Э.М., Технология синтеза и биосинтеза биологически активных веществ. 2006. С. 8. (дата обращения: 08.05.2021).
2. Биологически активные вещества [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.bio.bsu.by/biohim/files/11.pdf> (дата обращения: 08.05.2021).
3. Фазуллина О. Ф., Лындина М. И., Разработка состава и технологии получения биологически активной добавки к пище на основе лекарственных растений. 2018. С. 89. (дата обращения: 13.05.2021).
4. Физические, химические и биологические свойства БАВ [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://helpiks.org/2-36313.html> (дата обращения: 08.05.2021).
5. Иванова, В. А., Разработка биотехнологии бета-глюкансодержащего концентрата из остаточных пивных дрожжей: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. 2020. С. 201-221. (дата обращения: 13.05.2021).

УДК 534-8

РАЗРАБОТКА ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ЭКСТРАКЦИИ

Шанин В.А.¹, Леу А.Г.¹

Научный руководитель – д.т.н., профессор Алексеев Г.В.¹

¹Университет ИТМО

Работа выполнена в рамках темы НИР №620161 «Теоретические и экспериментальные исследования процессов молекулярного переноса импульса, тепловой энергии и массы в жидких многокомпонентных средах».

Подробно разобран процесс ультразвуковой обработки, применяемой при экстракции водорастворимых компонентов растительного сырья. Рассмотрена эффективность применения ультразвукового воздействия в зависимости от вида экстрагируемого сырья. Разработана схема конического ультразвукового экстрактора, предназначенного для экстракции биологически активных компонентов из вторичного растительного сырья.

Ключевые слова: ультразвук, кавитация, экстракция, растительное сырье, клеточная стенка, диффузия, массоперенос.

Современные тенденции рационального природопользования предполагают все более широкое применение технологий глубокой переработки пищевого сырья. Одним из направлений реализации таких тенденций является переработка вторичных пищевых ресурсов как дополнительного источника ценных пищевых веществ. Непременным этапом такой переработки является экстракция предварительно измельченных и гидратированных вторичных пищевых ресурсов.

Одним из перспективных средств, позволяющих оптимизировать режимы экстракции, являются ультразвуковые колебания, накладываемые на процесс биотрансформации сырья для возбуждения эффектов кавитации в разных формах и на различных этапах переработки [1].

Достаточно эффективным является устройство, оснащенное барботером и мешалкой, фильтрующим элементом и источником ультразвука в виде сверхзвуковых сопел.

Экстракционная смесь перемешивается мешалкой, и из-за центробежной силы возникает тангенциальная фильтрация смеси, которая через фильтр поступает в сборник экстракта. Там, под действием нагревания экстрагент отделяют от экстракта. Пары экстрагента из-за высокого давления достигают сверхзвуковой скорости и поступают в барботер. При попадании в раствор через сопла барботера горячий пар образует пузырьки, которые из-за резкого охлаждения схлопываются, вызывая ультразвуковые колебания и эффект кавитации.

Такая конструкция устройства позволяет интенсифицировать экстрагирование за счет создания ультразвуковой обработки экстракционной смеси, однако недостаток устройства заключается в малом времени воздействия ультразвука на смесь, что затрудняет обеспечение доступа экстрагента к мельчайшим частицам сырья.

Известно устройство, применяемое для экстракции биологически ценных веществ (пектин, инулин) из плодово-ягодного сырья, состоящее из цилиндрического корпуса, конически заужающегося в нижней части, содержащее патрубки загрузки сырья и экстрагента, выгрузки экстракта и шрота, мешалку и ультразвуковые магнитострикционные излучатели [3].

Запуск электродвигателя мешалки и ультразвуковых генераторов производится после загрузки сырья. Под воздействием мешалки сырье грубо измельчается об ножи, имеющие специальную форму, и после этого сырье поступает в канал статора устройства. В момент совмещения каналов ротора и статора экстракционная смесь со сверхзвуковой скоростью устремляется в канал ротора, что вызывает адиабатное расширение. Турбулентный срыв потока пара в экстракционной смеси вызывает возникновение кавитационных пузырьков, которые схлопываются из-за разности давлений и температур, вызывая ультразвуковые колебания. Эти процессы приводят к дополнительному измельчению твердых частиц растительного сырья,

увеличению площади контакта экстрагента с сырьем и перемешиванию смеси. Большой эффект обработки обеспечивают ультразвуковые излучатели, генерирующие дополнительные ультразвуковые колебания и явления кавитации в смеси. Дополнительный фактор, влияющий на степень обработки сырья, заключается в термостатировании рабочей зоны за счет циркуляции теплоносителя в тепловой рубашке устройства. После процесса экстракции полученный экстрагент удаляют из аппарата через специальный патрубок.

Известно применение ряда устройств, в которых совместно используются два вида дополнительной обработки сырья – ультразвуковое и магнитное воздействие.

В других случаях применяется аппарат, предназначенный для обработки жидких продуктов, который состоит из емкости для загрузки сырья, сборника получаемого продукта перерабатываемого продукта, включает закрепленный на корпусе источник ультразвука со стержневым концентратором продольных колебаний, имеющий осевой канал, соединенный с емкостью для загрузки сырья посредством штуцера, расположенного на линии нулевых смещений концентратора [4].

В этом случае результат достигается благодаря тому, что в установке для ультразвуковой обработки жидких продуктов, в области емкости для сбора продукта расположен постоянный магнит, полюсы которого располагаются симметрично оси концентратора.

В некоторых случаях эффективно применение аппарата следующего типа. Устройство состоит из корпуса, содержащего входной и выходной патрубки, электродвигателя, приводящего в движение ротор, выполненный в виде параболоида и содержащего винтовые канавки, и генератор ультразвуковых колебаний. Входной участок корпуса отличается тем, что имеет форму расширяющегося по ходу движения смеси конуса [5].

Такая конструкция устройства позволяет повышать эффективность экстрагирования благодаря равномерности перемешивания продукта, подвергаемого ультразвуковым колебаниям.

Положительный эффект работы устройства заключается в гомогенизации получаемого продукта благодаря воздействию магнитного ротора на компоненты смеси и ультразвуковой обработке, вызывающей эффект кавитации, что приводит к активному перемешиванию и измельчению частиц сырья.

Проходя через винтовую канавку ротора, смесь подвергается интенсивному перемешиванию и на большой скорости достигает среза основания конического ротора. Благодаря воздействию постоянного магнита, обращенного к поверхности ротора одноименным полюсом, мельчайшие капли жидкости поляризуются и теряют возможность соединяться с другими каплями одноименной жидкости. Расстояние между одноименными полюсами постоянных магнитов определяет интенсивность деполяризации и может регулироваться, обеспечивая эффективность обработки различных видов сырья.

Такая конструкция схематично изображена на приведенном рисунке, где изображен ее общий вид.

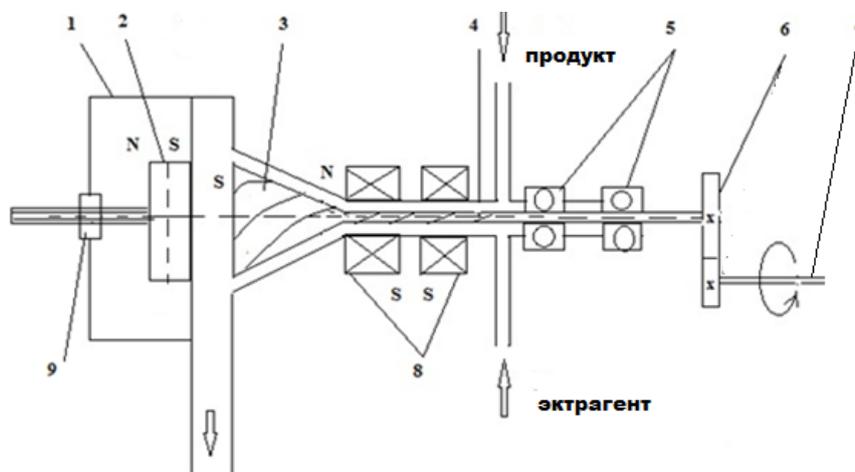


Рисунок. Схема магнитно-ультразвукового экстрактора

Работает устройство следующим образом. Между стеной патрубка для отвода готовой эмульсии 1, на которого размещен постоянный магнит 2, и одноименным полюсом большего диаметра конического ротора 3, имеющего винтовую канавку, производится финишная обработка готового экстрагируемого продукта, которая обеспечивает интенсивную деполяризацию отдельных капель составляющих перерабатываемой композиции. Именно это обеспечивает высокую эффективность получения готового продукта. Для того чтобы обеспечить поступление в эту зону мелко диспергированных ингредиентов, ротор 3, размещаясь в корпусе 4, опирается на подшипники 5, соединяясь с приводом 6 и электродвигателем 7. На этом же корпусе 4 установлен ультразвуковой генератор возвратно-поступательных перемещений 8 в виде двух встречно включаемых электромагнитных катушек. Генерируемой им ультразвуковое поле обеспечивает режим кавитации ингредиентов перерабатываемой композиции, с большой скоростью перемещающихся в винтовой канавке ротора. Разбрызгиваемая в зоне патрубка для отвода посредством регулятора 9 обрабатывается в неоднородном магнитном поле необходимой для большей эффективности напряженности, что обеспечивается необходимым режимом магнитно-ультразвуковой обработки.

Экспериментальная установка, переданная в производство и изготовленная в соответствии с разработанными рекомендациями, показала высокую эффективность при получении пищевых волокон пектина и инулина из вторичного сырья переработки цитрусовых и топинамбура.

Литература

1. Хмелев В.Н. Применение ультразвука высокой интенсивности в промышленности / В.Н. Хмелев, А.Н. Сливин, Р.В. Барсуков, С.Н. Цыганок, А.В. Шалунов; Алтайский государственный технический университет. БТИ. – Бийск: Изд-во Алтайского государственного технического университета, 2010. 203 с.
2. Патент РФ №2135044, МПК А 23 L 3/26, публ. 27.08.99.
3. Патент РФ № 2060700, МПК А 23 L 3/30, публ.2.03.1996).
4. Патент РФ №1544342, МПК А23 D 7/02, публ. 23.02.1990.
5. Патент РФ № 194194, МПК А 23 L 3/30, публ. 02.12.2019.

УДК 504.05

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПОЛИГОНА ТБО НА КАЧЕСТВО ГРУНТОВЫХ ВОД

Шевченко М.А.¹

Научный руководитель – Забелина А.В.¹

¹Университет ИТМО

В данной работе рассмотрена система мониторинга грунтовых вод на полигоне ТБО «Новый Свет – ЭКО», проанализированы результаты анализов на санитарно-химические показатели качества воды, а также сделаны предположения о природе происхождения данных загрязнителей.

Ключевые слова: мониторинг полигона ТБО, мониторинг водных объектов, подземные воды, грунтовые воды, загрязнение водных объектов.

Полигон ТБО «Новый Свет-ЭКО» эксплуатируется с 2001 года, построен на месте бывших прудов-накопителей очистных сооружений свинооткормочного комбината. Основной вид деятельности предприятия – прием и размещение отходов 3 и 4 класса опасности. Полигон ТБО является потенциальным источником загрязнения грунтовых вод.

Основными причинами попадания фильтрата в грунтовые воды являются дефекты в изолирующем материале. Для предотвращения попадания фильтрата с полигона в грунтовые воды в основании тела полигона закладывается противофильтрационный экран. Фильтрат аккумулируется в основании карт складирования отходов и консервируется вместе с отходами при окончательной изоляции террикона. Сбор фильтрата производится песчаногравийным дренажом по внутреннему периметру. Фильтрат самотеком поступает в подземную металлическую емкость. По мере накопления фильтрат либо откачивается илососом для вывоза для обезвреживания на лицензированное предприятие или на полигон, либо перекачивается в промежуточную емкость, после чего по индивидуальной гидравлической системе распыляется на рабочую карту полигона с целью испарения и увлажнения свалочных масс для более эффективного уплотнения и повышения пожарной безопасности.

Объектами для изучения состояния и загрязнения грунтовых вод являются наблюдательные скважины на полигоне «Новый Свет – ЭКО».

Грунтовые воды со свободной поверхностью – безнапорные. Питание горизонта грунтовых вод полностью осуществляется за счет атмосферных осадков. Режим уровней характеризуется сезонной цикличностью. Глубина скважин находится в интервале 0,2 – 1,6 м. Весенний максимум отмечается в апреле-мае, осенний – в сентябре-октябре. Местными базисами дренирования являются торфяные карьеры и мелиоративные дренажные каналы. Основное направление движения грунтовых вод – с юго-запада на северо-восток в сторону долины р. Ижоры.

На полигоне ТБО действует сеть из 11 наблюдательных скважин по периметру полигона и 2-ух кустов наблюдательных скважин: 1-й куст - выше по потоку – для изучения фонового состояния; 2-й куст – ниже по потоку подземных вод в санитарно-защитной зоне полигона – для изучения ореола влияния ПТБО [1]. Скважины пробурены на три водоносных горизонта.

Также организовано наблюдение за качеством подземных вод на ближайших к СЗЗ ПТБО действующих двух скважинных водозаборах, используемых для питьевых целей (деревня Шаглино и поселок Новый Свет), расположенных в радиусе 2-2,5 км выше (п. Новый Свет) – фоновая скважина и ниже (д. Шаглино) ПТБО по потоку подземных вод ордовикского водоносного горизонта [2].

При анализе данных производственного экологического мониторинга оценивалась динамика качества подземных и грунтовых вод, производилось сравнение качества грунтовых вод в двух скважинах кустов [3].

Во всех скважинах вне зависимости от глубины залегания наблюдаются высокие содержания показателей БПК 5, ХПК, аммоний-ионов, железо, магния и марганца.

На рисунках 1 и 2 представлены динамики концентраций БПК 5 и ХПК в грунтовых водах за период с начала 2019 года по настоящее время. На графиках хорошо прослеживается связь фоновых и контрольных показателей. Наблюдаются единичные превышения значений над фоновой скважиной, однако данные превышения незначительны и не выходят за пределы колебаний показателей в фоновой скважине.



Рис. 1. Содержание БПК 5 в точках контроля грунтовых вод

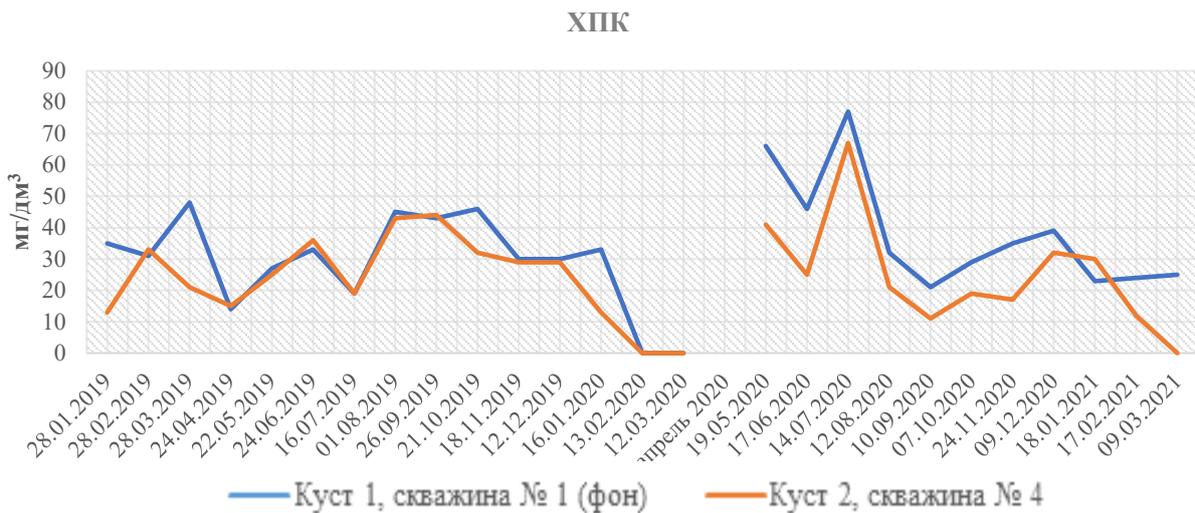


Рис. 2. Содержание ХПК в точках контроля грунтовых вод



Рис. 3. Содержание железа в точках контроля грунтовых вод

Высокие концентрации железа в целом характерны для болотистых участков и участков с торфяными почвами (рис. 3). Железо содержится в торфах и озёрно-ледниковых песках, обогащенных железосодержащими минералами.

Концентрации магния в контрольной скважине №4 (рис. 4) незначительно превышают фоновые. В районе расположения полигона встречаются красноцветные пески и песчаники, они богаты соединениями железа и его спутника – марганца, а в нижней части разреза встречаются карбонатные отложения (доломиты, мергели), в состав которых входит и магний.

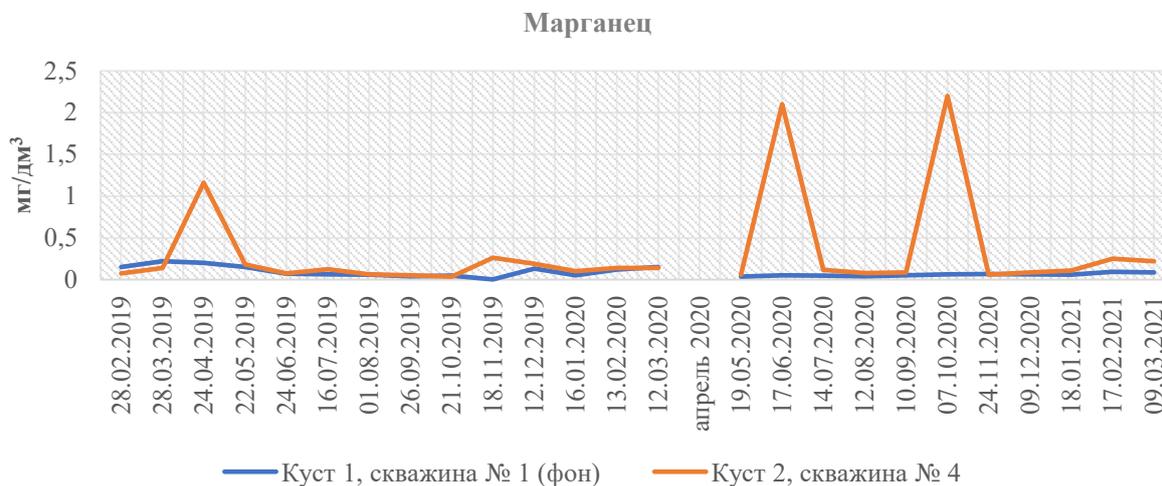


Рис. 4. Содержание марганца в точках контроля грунтовых вод

Концентрации магния в контрольной скважине №4 (рис. 5) находятся почти на уровне концентрации в фоновой скважине. Магний может поступать в грунтовые воды из обломков (гравий, галька) и частиц карбонатных пород.

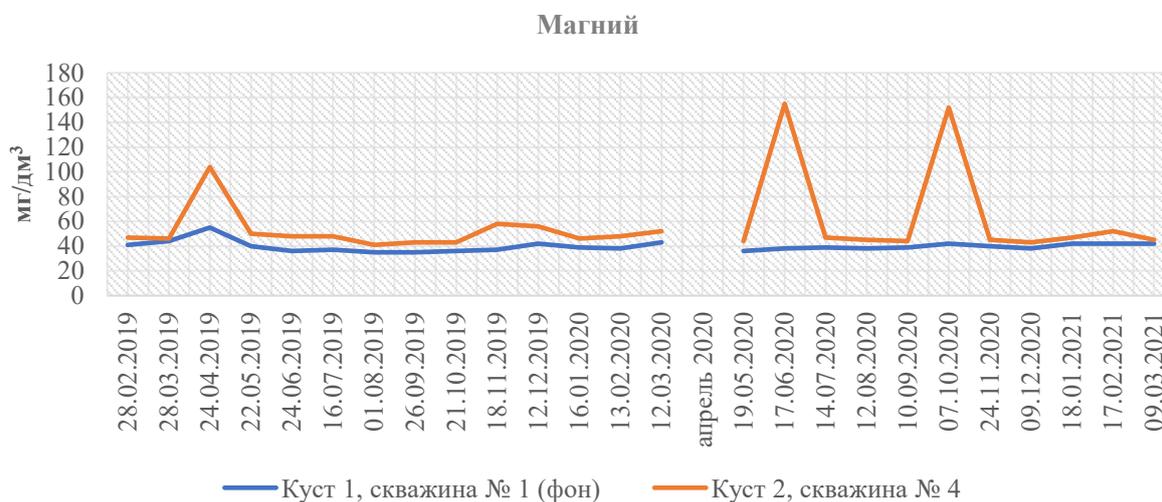


Рис. 5. Содержание магния в точках контроля грунтовых вод

В июне и октябре 2020 года наблюдаются значительные скачки концентраций железа, марганца и магния, что связано, скорее всего, с низким уровнем воды в скважине №4.

Содержание аммоний-ионов в контрольной скважине колеблется, не выходя за пределы колебаний концентрации в фоновой скважине (рис. 6). Аммоний – ионы имеют свойство накапливаться в воде с высоким содержанием железа и марганца, что характерно для природной воды наблюдательных скважин полигона.



Рис. 6. Содержание аммоний-ионов в точках контроля грунтовых вод

Высокие концентрации железа, магния, аммоний-ионов, марганца наблюдаются во всех скважинах, включая фоновые. Обусловлено данное явление химическим составом вмещающих пород.

Повышенное содержание органики, вероятнее всего, обусловлено предыдущей сельскохозяйственной деятельностью на территории (полигон построен на месте бывших отстойников и навозохранилищ со свинокомплекса АОЗТ «Новый Свет»).

Схожие показатели качества воды кустовых скважин как «выше», так и «ниже» по потоку говорят о том, что ПТБО не оказывает существенное влияние на загрязнение грунтовых вод. Выраженное влияние полигона на грунтовые воды отсутствует.

Литература

1. Инструкция по проектированию, эксплуатации и рекультивации полигонов для твердых бытовых отходов (утв. Минстроем России 02.11.1996) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200006959> (дата обращения 25.12.2020).
2. Программа мониторинга состояния и загрязнения окружающей среды на территории объекта размещения отходов и в пределах его воздействия на окружающую среду, СПб, ООО "Новый Свет-ЭКО". 2018. 143 с.
3. ГОСТ Р 56060-2014 Производственный экологический мониторинг. Мониторинг состояния и загрязнения окружающей среды на территориях объектов размещения отходов М.: Стандартинформ. 2015. 6 с.

Трансляционные информационные технологии

УДК 004.852

ИССЛЕДОВАНИЕ ФУНКЦИЙ ПОТЕРЬ ДЛЯ МЕТОДОВ ОБУЧЕНИЯ ВЕКТОРНЫХ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ НА ГРАФОВЫХ ДАННЫХ

Андреева П.О.¹Научный руководитель – Ваганов Д.А.¹¹Университет ИТМО

В данной работе изучены существующие варианты графовых нейронных сетей, выделены основные функции потерь, используемые для обучения векторных представлений на графовых данных. Также рассмотрены возможности обобщения всех выбранных функций потерь и проведены эксперименты по выявлению оптимальных конфигураций архитектур и функций потерь для различных задач и данных.

Ключевые слова: графы, нейронная сеть, обучение векторных представлений, графовая свёрточная сеть, функция потерь.

Основным подходом в решении задач машинного обучения на графах является построение векторных представлений вершин в более низкоразмерном пространстве. Затем полученные векторные представления подаются на вход в нейронную сеть при решении последующей задачи – классификации, предсказания ребер и тд. Важную роль в обучении представлений играет архитектура нейронной сети и функция потерь. Целью данной работы является исследование различных существующих функций потерь и их влияния на построенные векторные представления. В существующих сравнительных анализах [1] методы рассматриваются в том виде, как представлены в оригинальных статьях, а значит, у каждого метода своя архитектура. Из-за этого нет возможности сделать выводы о влиянии самой функции потерь на построенное представление. Для того, чтоб абстрагироваться от архитектуры, предлагается поставить эксперименты для разных функций потерь, но на одной и той же архитектуре, состоящей из графовых свёрточных слоев [2 – 5]. Методы, основанные на графовых свёрточных слоях, являются хорошо масштабируемыми, показывают одни из лучших результатов, а также позволяют переводить в векторы данные, которые не участвовали в обучении.

Последнее время появляется много наборов данных, представленных в виде графа, в котором вершины соответствуют элементам данных, а ребра – отношениям между ними. Например, в сети цитирования вершинами представляются статьи, а ребрами – цитирование. Формально, граф представляется в виде упорядоченной пары $G = (V, E)$, где $V = \{u_i\}_{i=1}^n$ – непустое множество вершин, наделенных вектором признаков, n – количество вершин, а $E = \{e_j\}_{j=1}^l$ – множество ребер, l – число ребер в графе, \mathbf{A} – матрица смежности графа, каждый элемент которой означает наличие ($a_{ij} = 1$) или отсутствие ($a_{ij} = 0$) ребра между вершинами, соответствующими столбцу и ряду матрицы. \mathbf{W} – матрица настраиваемых весов нейронной сети, $\mathbf{X} \in \mathbb{R}^{n \times d}$ – матрица признаков вершин, в которой каждый ряд является вектором признаков x_i вершины v_i , d – размерность признакового пространства. Φ_i – векторное представление вершины v_i , матрица $\Phi \in \mathbb{R}^{n \times m}$ – матрица представлений вершин, в которой i -й ряд соответствует Φ_i .

Используя граф $G = (V, E)$, матрицу смежности \mathbf{A} , матрицу признаков \mathbf{X} , необходимо построить функцию f , которая отображает каждую вершину графа в вектор в низкоразмерном пространстве $f: G \rightarrow \mathbb{R}^m$ таким образом, чтобы векторы схожих вершин были также схожи: $\text{sim}(v_i, v_j) \approx g(\Phi_i, \Phi_j)$. То есть необходимо задать алгоритм перевода f вершин в векторные представления, функции схожести вершин $\text{sim}(u, v)$ и схожести векторных представлений $g(\Phi_i, \Phi_j)$. Данный процесс построения представлений является задачей машинного обучения и у него существует два этапа.

Прямой проход – прямое преобразование входных данных в выходные с помощью нейронной сети, состоящей из нескольких слоев, в которых происходят линейные преобразования с матрицами весов \mathbf{W}_k , а между слоями – нелинейное преобразование:

$$\Phi = f(\mathbf{X}).$$

По результатам обзора источников были выбраны в качестве элементов архитектуры нейронной сети только графовые свёрточные слои. За счет того, что при построении векторного представления одной вершины учитываются только ее соседи, одни и те же настроенные веса можно использовать для всех вершин. Благодаря этому свёрточный слой вычислительно более эффективен по сравнению с прямым построением векторов, а также он позволяет переводить в векторные представления те вершины, которые не участвовали в тренировке. В общем виде графовый свёрточный слой выглядит следующим образом:

$$\Phi_i^k = \sigma(\mathbf{W}_k \cdot \text{AGG}(\{\Phi_{v_j}^{k-1} : v_j \in \mathcal{N}(v_i) \cup \{v_i\}\})).$$

В методе GCN [3] функция AGG представляет собой среднюю сумму, то есть векторное представление вершины строится как средняя сумма векторных представлений всех непосредственных соседей вершины и векторного представления самой вершины на предыдущем шаге. Полученная сумма подается на вход нелинейному преобразованию. В GAT [4] кроме того, что использовалось и в GCN, каждому соседу присваивается степень влияния, оказываемого на рассматриваемую вершину. В GraphSAGE [5] векторное представление самой вершины на предыдущем шаге конкатенируется со средней суммой векторных представлений соседей рассматриваемой вершины. В данном методе представлен и вариант масштабирования на большие графы: предлагается рассматривать не более чем заданное число соседей вершины и обучать нейронную сеть на батчах.

Для того, чтобы настроить веса \mathbf{W}_k таким образом, чтобы Φ показывала нужный результат, необходимо задать некоторую меру того, насколько точный результат получился в результате работы модели. Данная мера называется функцией потерь \mathcal{L} . Аргументами данной функции являются результат, полученный после прямого прохода, и в некоторых случаях – результат, к которому надо стремиться. Значением функции потерь является потеря, показывающая, насколько далеко результат от желаемого, поэтому веса нейронной сети настраиваются таким образом, чтобы минимизировать функцию потерь. Как правило, в машинном обучении используется метод градиентного спуска – веса исправляются в сторону, обратную градиенту функции потерь:

$$\mathbf{W} = \mathbf{W} - \lambda \frac{\partial \mathcal{L}}{\partial \mathbf{W}}.$$

Это и есть второй этап, называемый обратным распространением ошибки.

В задаче построения векторных представлений были выбраны те функции потерь, что позволяют обучать представления только на топологии графа, без меток класса. Идея таких функций потерь – устремлять друг другу те векторные представления, вершины которых схожи и в графе: $\text{sim}(v_i, v_j) \approx g(\Phi_i, \Phi_j)$. Мету схожести вершин $\text{sim}(v_i, v_j)$ можно представить и в виде матрицы $\mathbf{C} \in \mathbb{R}^{n \times n}$, в которой каждый элемент соответствует степени сходства между вершинами, соответствующими номерам столбца и ряда матрицы: $c_{ij} = \text{sim}(v_i, v_j)$.

Выделены основные варианты схожести вершин в графе: вес ребра между вершинами (или его наличие/отсутствие в невзвешенном графе), количество общих соседей, геометрическая схожесть вершин (по числу соседей). Также часто используется вероятность появления двух вершин в одном случайном блуждании. Случайное блуждание может быть построено различными способами. Например, оно может быть фиксированной или бесконечной длины, иметь некоторую вероятность остановки или вероятность повторного старта и т.д.

Отобранные для экспериментов функции потерь представлены в таблице 1.

Таблица 1. Функции потерь

id	Общий вид	Методы
1	$-\sum_{v_i \in V} \sum_{v_j \in V} \text{sim}(v_i, v_j) \log \frac{\exp(\Phi_i \cdot \Phi_j^T)}{\sum_{v_k \in V} \exp(\Phi_i \cdot \Phi_k^T)}$	VERSE, LINE, APP
2	$-\sum_{v_i \in V} \sum_{v_j \in \mathcal{N}(v_i)} \log \frac{\exp(\Phi_i \cdot \Phi_j^T)}{\sum_{v_k \in V} \exp(\Phi_i \cdot \Phi_k^T)}$	DeepWalk, Node2Vec
3	$\sum_{v_i \in V} \sum_{j \in V} (\text{sim}(v_i, v_j) - \Phi_i \cdot \Phi_j^T)^2$	HOPE, Graph Factorization (GF)
4	$\frac{1}{2} \sum_{v_i \in V} \sum_{j \in V} \Phi_i - \Phi_j ^2 \text{sim}(v_i, v_j)$	Laplacian eigenmaps (Lem)

В качестве меры схожести векторных представлений для функций потерь первого вида выбрано расстояние Кульбака-Лейблера, а в качестве матрицы схожести вершин в графе – матрица смежности, SimRank – мера структурной схожести графов, Personalised PageRank – матрица вероятностей оказаться в рассматриваемой вершине при случайном блуждании, начатом из другой вершины. В функциях потерь второго вида максимизируется логарифм вероятности вершин оказаться в одном случайном блуждании. Для меры схожести в векторном пространстве у функций потерь третьего вида выбрано скалярное произведение векторов, у четвертого – разница двух векторов. Мерой схожести вершин в методе HOPE является: Katz index – взвешенная сумма длин всех путей между вершинами, Common neighbors – количество общих соседей у двух вершин или Adamic Adar – количество общих соседей с учетом важности каждого соседа. В Graph Factorization и Laplacian eigenmaps для отображения меры схожести вершин используют матрицу смежности.

Как показано в [5] несколько классов выбранных функций потерь можно привести к общему виду. Предлагается перевести функции потерь вида 1,2 к виду 3 следующим образом: произвести замену переменных: $\Phi_i \cdot \Phi_j^T = z_{ij}, \mathcal{L}(\Phi) \rightarrow \mathcal{L}(\mathbf{Z})$; аналитически найти точку минимума $\mathcal{L}(\mathbf{Z}): \mathbf{Z} = \mathbf{C}$; построить новую функцию потерь, устремляющую произведение $\Phi \cdot \Phi^T$ к \mathbf{C} :

$$\sum_{v_i \in V} \sum_{j \in V} (c_{ij} - \Phi_i \cdot \Phi_j^T)^2.$$

Для того, чтоб показать влияние функций потерь на результаты построения векторных представлений, была построена нейронная сеть, состоящая из нескольких графовых свёрточных слоев одного вида. Представления были получены для трех общедоступных наборов данных – сети цитирования Cora, Citeseer и сети совместно покупаемых товаров Amazon Photo. Все графы ненаправленные, остальные характеристики датасетов представлены в таблице 2.

Таблица 2. Характеристики наборов данных

Название датасета	Количество вершин в графе	Размерность признакового пространства	Количество изолированных вершин	Коэффициент кластеризации
Cora	2708	1433	0	0.241
Citeseer	3327	3703	48	0.141
Photo	7650	745	115	0.404

Векторы признаков вершин используются как входные данные в построенную нейронную сеть. На датасете Cora, кроме того, был проведен эксперимент со случайно

инициализируемыми векторами. После построения представлений на задаче классификации была оценена точность каждой из конфигурации архитектуры и функции потерь метриками Micro-F1, Macro-F1. При получении наилучших результатов был проведен поиск оптимальных параметров с помощью библиотеки Optuna. Среди варьируемых параметров – количество слоев архитектуры, величина каждого слоя, размерность самого векторного представления, скорость обучения и параметры, характерные для каждой конкретной функции потерь, как например, α – вероятность останова случайного блуждания в методах VERSE (PPR), HOPE (RPR). Результаты экспериментов представлены в таблице 3.

Таблица 3. Результаты экспериментов

		Cora		Cora (инициализация случайными векторами)		Citeseer		Photo	
		Micro -F1	Macro -F1	Micro- F1	Macro- F1	Micro -F1	Macro -F1	Micro -F1	Macro -F1
DeepWalk	GCN	0.8189	0.7905	0.8022	0.7700	0.7534	0.6794	0.8503	0.8182
	GAT	0.7597	0.7179	0.7782	0.7387	0.7008	0.6397	0.6932	0.6657
	SAGE	0.8078	0.7793	0.8004	0.7683	0.7624	0.7030	0.7671	0.7225
Node2Vec	GCN	0.8226	0.7982	0.8336	0.8092	0.7654	0.7080	0.4879	0.3319
	GAT	0.7800	0.7425	0.7726	0.7364	0.7233	0.6614	0.6645	0.4817
	SAGE	0.7985	0.7679	0.7856	0.7580	0.7549	0.6961	0.8607	0.8210
VERSE (Adj)	GCN	0.7188	0.6500	0.7616	0.7335	0.7930	0.7484	0.2538	0.0506
	GAT	0.6767	0.6053	0.6895	0.6516	0.7616	0.7095	0.2538	0.0506
	SAGE	0.7383	0.6970	0.7856	0.7449	0.7689	0.7468	0.2544	0.0547
LINE	GCN	0.8429	0.8177	0.8318	0.7997	0.6286	0.5506	0.4644	0.2761
	GAT	0.7948	0.7792	0.7505	0.6909	0.5835	0.5129	0.6651	0.5099
	SAGE	0.8189	0.7684	0.8115	0.7676	0.7459	0.6712	0.5487	0.3435
APP	GCN	0.7874	0.7108	0.7745	0.7152	0.7353	0.6428	0.3087	0.1024
	GAT	0.7689	0.6821	0.7505	0.6851	0.7158	0.6246	0.4127	0.1405
	SAGE	0.8004	0.7570	0.5656	0.4470	0.7308	0.6433	0.6344	0.4855
HOPE (Katz)	GCN	0.6580	0.6053	0.6081	0.5504	0.2538	0.0506	0.6311	0.5392
	GAT	0.4436	0.2987	0.5970	0.5251	0.2538	0.0506	0.4526	0.2341
	SAGE	0.6433	0.5977	0.4214	0.2864	0.2544	0.0547	0.5612	0.4135
GF	GCN	0.6026	0.4928	0.6636	0.5995	0.6211	0.5473	0.7744	0.6887
	GAT	0.7006	0.6370	0.6506	0.5342	0.6451	0.5653	0.7155	0.6114
	SAGE	0.5712	0.4857	0.5933	0.5004	0.5579	0.4835	0.4160	0.1425
Laplacian eigenmaps	GCN	0.3179	0.0689	0.3179	0.0689	0.1534	0.0443	0.2538	0.0506
	GAT	0.3179	0.0689	0.3179	0.0689	0.1534	0.0443	0.2538	0.0506
	SAGE	0.3179	0.0689	0.3179	0.0689	0.1609	0.0561	0.2551	0.0560

Из таблицы 3 можно сделать следующие выводы:

1. Метод Laplacian eigenmaps совершенно не отражает связей, по которым вершины разделяются на классы.
2. На датасете Photo практически все методы показывают худшие результаты, что может быть связано с тем, что в нем много изолированных вершин, для которых представление остается случайно заданным.
3. Наилучшие результаты показывают методы, основанные на максимизации вероятности для двух вершин оказаться в одном случайном блуждании и LINE.
4. Чаще всего свёрточный слой GCN показывает более точные результаты.

Результаты на случайно инициализированных векторах оказались хуже, а значит, учет векторов признаков вершин оказывает положительное влияние на качество классификации

В работе были рассмотрены существующие функции потерь обучения векторных представлений графовых данных, выделены основные типы понятий схожести вершин в

графе, а также предложен подход к обобщению выбранных функций потерь. были проведены эксперименты по поиску оптимальных конфигураций архитектуры нейронной сети и функций потерь для задачи классификации, оценены преимущества при решении конкретных задач с учетом некоторых особенностей данных (структура графа, количество признаков и т.п.). Дальнейшая работа будет заключаться в построении экспериментов и оценке точности на задаче предсказания ребер.

Литература

1. Khosla M., Setty V., Anand A., «A Comparative Study for Unsupervised Network Representation Learning» // IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering. 2019. P. 1–1.
2. Kipf T. N., Welling M., «Semi-supervised classification with graph convolutional networks» // 5th International Conference on Learning Representations, ICLR 2017 – Conference Track Proceedings. 2017. P. 1–14.
3. Veličković P., Casanova A., Liò P., Cucurull G., Romero A., Bengio Y., «Graph attention networks» // 6th International Conference on Learning Representations, ICLR 2018 - Conference Track Proceedings. 2018. P. 1–12.
4. Hamilton, W. L., Ying R., Leskovec J., «Inductive representation learning on large graphs» // Advances in Neural Information Processing Systems, 2017-Decem(Nips). 2017. P. 1025–1035.
5. Qiu J., Dong Y., Ma H., Li J., Wang K., Tang J., «Network embedding as matrix factorization: Unifying DeepWalk, LINE, PTE, and node2vec» // WSDM 2018 - Proceedings of the 11th ACM International Conference on Web Search and Data Mining. 2018. P. 459–467.

УДК 681.51

ГИБРИДНЫЙ МУРАВЬИНЫЙ АЛГОРИТМ ПОСТРОЕНИЯ ПУТИ РОБОТА В СЛОЖНОЙ СРЕДЕ

Блудов В.А.¹

Научный руководитель – д.т.н., профессор Скобцов Ю.А.¹

¹Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

Предложен муравьиный алгоритм (МА) планирования пути робота в сложной среде. Сначала на основе Maklink теория графов и алгоритма Дейкстры строится путь робота, проходящий примерно посередине между объектами. Далее проблема сводится к одномерной задаче – определения смещений относительно срединных линий, которая решается с помощью МА. Определены основные формулы МА для поставленной задачи: вероятность выбора следующей позиции, коррекция концентрации искусственного феромона. Оптимизация пути робота проводится по длине пути. Проведенные компьютерные эксперименты по построению путей роботов в сложной среде показывают эффективность такого подхода, прежде всего, быстродействия алгоритма.

Ключевые слова: муравьиный алгоритм, Maklink теория графов, алгоритм Дейкстры, построение пути, гибридный муравьиный алгоритм.

Для повышения эффективности, «интеллектуальности» и расширения функций технических систем широко применяются методы искусственного интеллекта (ИИ). МА представляют одно из наиболее перспективных направлений ИИ и хорошо себя показали, прежде всего, при решении задач комбинаторной оптимизации. В данной работе рассмотрены проблемы применения МА в робототехнике при планировании пути робота в сложной среде. Область применения роботов в настоящее время стремительно расширяется. Они применяются во многих отраслях промышленности, в опасной и агрессивной среде, в условиях военных действий, космических исследованиях и т. д. Применение роботов, особенно интеллектуальных, позволяет решать многие сложнейшие научно-технические задачи - от исследования далеких планет до диагностики и лечения человеческого организма. Поэтому проблемам проектирования и обучения роботов посвящено огромное число исследований, выполняемых как в России, так и за рубежом.

Цель работы – повышение эффективности планирования пути робота в сложной среде путем применения современных методов искусственного интеллекта. Для достижения поставленной цели предложен гибридный МА, который позволяет строить субоптимальный путь робота в сложной среде с препятствиями.

Существующие методы планирования путей и навигации роботов можно разделить на несколько классов:

- a. Методы на основе графов:
 - Диаграмма видимости.
 - Диаграмма Вороного.
 - Вероятностная дорожная карта.
 - Метод быстро исследующих случайных деревьев.
 - Методы на основе клеточной декомпозиции:
 - Алгоритм Дейкстры.
 - Метод распространения волнового фронта.
 - Методы потенциальных полей.
 - Метод искусственных потенциалов.
 - Метод виртуального силового поля.
 - Метод гистограммы векторного поля.
- b. Оптимизационные методы:
 - Плоские модели.
 - Смешанное целочисленное линейное программирование.

- Двоично-целочисленное программирование.
- с. Методы на основе интеллектуальных технологий:
 - Муравьиный алгоритм.
 - Искусственная нейронная сеть.
 - Роевой алгоритм.
 - Реактивные методы.

Основные недостатки обозначенных классов

Методы на основе графов: методы на основе графов или деревьев удобно использовать в статической окружающей среде, поскольку построение графа подразумевает использование полной информации об окружающей среде, которая должна быть известна заранее. Наличие подвижных препятствий, например, другого движущегося робота, в этих методах трудно поддается интерпретации и не позволяет строить граф.

Методы на основе клеточной декомпозиции: одним из наиболее существенных недостатков алгоритмов на основе клеточной декомпозиции состоит в ограниченном количестве вариантов направления, вызванных структурой сетки (только восемь вариантов соединения в двумерном случае).

Методы потенциальных полей: это методы имеет существенный недостаток – возможное существование локальных минимумов и колебательные движения в полосообразной области

Оптимизационные методы: классические методы оптимального управления основаны на нетривиальных аналитических вычислениях. Поэтому подход, основанный на оптимизационных методах, эффективен для простых, в частности, линейных систем, а для сложных нелинейных систем его реализовать труднее.

Рассматривается реализация гибридного муравьиного алгоритма построения пути робота в сложной среде. При этом сначала, на основе алгоритма Дейкстры, теории МАКЛИНК графов строится путь робота, проходящий через середины МАКЛИНК линий между объектами. Далее проблема сводится к одномерной задаче – определения смещений относительно срединных линий, которая решается с помощью МА, позволяющая найти субоптимальный путь за адекватное количество времени.

Укрупненный алгоритм

Построить модель свободного пространства на основе МАКЛИНК теории [2] и найти субоптимальный путь, свободный от столкновений, с применением алгоритма Дейкстры:

Находим все линии, которые соединяют угол, принадлежащий многоугольному препятствию, с углами других препятствий (включая текущее препятствие и границы карты).

Удаляем избыточные свободные линии, чтобы построить свободное пространство, у которого ребра – свободные линии, стороны препятствий и стены границы среды. Свободное пространство должно быть выпуклым многоугольником и иметь максимальную площадь.

Находим средние точки оставшихся свободных линий, используем их в качестве вершин пути, нумеруем их. Соединения средних точек, которые принадлежат той же выпуклой области, образуют сеть.

а. Будем искать оптимальный вектор параметров (смещений от срединных линий) $h_1^*, h_2^*, \dots, h_d^*$, который дает минимальную длину пути $L = \sum_{i=0}^d length\{P_i(h_i), P_{i+1}(h_{i+1})\}$, d – количество узлов графа.

б. При этом используем дискретизацию с некоторым шагом h_i , например, $h_i = 0.1$. Тогда муравьиный алгоритм при пересечении каждой свободной линии должен выбрать величину (дискретную!) смещения h_i , относительно средней точки свободной линии. Т.е. аналогом выбора следующей вершины в графе является выбор дискретного значения смещения h_i .

1) Определить параметры алгоритма:

- начальная точка, от которой муравьи начинают движение,
- конечная точка, которую муравьи должны достигнуть в процессе построения пути,
- p – коэффициента испарения феромона,
- τ_0 – начальное значение концентрации феромона в каждой вершине,

- β – коэффициент, определяющий степень влияния параметра видимости,
- m – размер популяции муравьев в одном поколении,
- NC – количество поколений,
- q_0 – регулируемый параметр.

Определить одномерный массив $Path_k$ – путь с d элементами, в которых у-координаты d узлов (не включая точки S и T) такой, что k -й муравей проходит в каждой итерации в указанном порядке. Массив $Path_k$ используется для обозначения пути k -го муравья.

- 2) Установить счетчик итераций (поколений) $t=1$ и определить максимальное число итераций; поместить m муравьев в начальную точку S .
- 3) Выбрать узел на линии h_i для муравья k , используя формулу:

$$j = \begin{cases} \arg \max\{\tau_{iu}(t) \cdot [n_{iu}]^\beta\}, & \text{если } q \leq q_0 \\ J, & \text{если } q > q_0 \end{cases}$$

$$P_i^k(t) = \begin{cases} \frac{\tau_{ij}(t) * n_{ij}^\beta(t)}{\sum_{w=1}^m \tau_{iw}(t) * n_{iw}^\beta(t)}, & \text{если данный сегмент пути реализуем} \\ 0, & \text{если данный сегмент пути не реализуем} \end{cases}$$

где $\tau_i(t)$ – концентрация феромона в i вершине,
 $n_i(t)$

- фактор видимости узла, определяемый как $\frac{1.1 - |y_{ij} - y_{ij}^*|}{1.1}$, y_{ij} , y_{ij}^* – у координата узла, y_{ij}^* – значение, соответствующее построенному оптимальному пути в предыдущей итерации,
- α – коэффициент, определяющий степень влияния феромона,
- β – коэффициент, определяющий степень влияния параметра "видимости",
- m – количество особей в поколении.

Передвинуть муравья k в этот узел и запомнить у-координату этого узла в i -м элементе массива $Path_k$.

- 4) Выполнить локальную коррекцию концентрации феромона согласно формуле:

$$\tau_{ij}(t) = (1 - p) * \tau_{ij}(t) + p * \tau_0.$$

- 5) Передвинуть каждого муравья от его текущего положения к глобальной цели T .
- 6) Для каждого муравья ($k=1, 2, \dots, m$):
 - а) в соответствии с массивом $Path_k$ получить значения параметров $\{h_1^k, h_2^k, \dots, h_d^k\}$;
 - б) в соответствии с полученными значениями $\{h_1^k, h_2^k, \dots, h_d^k\}$ определить положения точек пути $P_1^k, P_2^k, \dots, P_d^k$ на соответствующих МАКLINK линиях;
 - в) вычислить длину пути L_k , построенного k -м муравьем, в соответствии с формулой:

$$L = \sum_{i=0}^d \text{length}\{P_i(h_i), P_{i+1}(h_{i+1})\}.$$

- 7) Сравнить полученные m путей и найти самый короткий путь T^t на текущей итерации t . Сравнить T^t с T^+ – оптимальным путем, который был получен за предыдущие $(t-1)$ итераций, и обозначить лучший путь через T^+ ; запомнить значения параметров смещения h , соответствующие T^+ , в $\{h_1^*, h_2^*, \dots, h_d^*\}$.
- 8) Установить каждый элемент $Path_k$ в 0 для $k = 1, 2, \dots, m$.
- 9) Выполнить глобальную коррекцию концентрации феромона в соответствии с формулой:

$$\tau_{ij}(t) = (1 - p) * \tau_{ij}(t) + p * \Delta\tau_{ij}(t),$$

$$\Delta\tau_{ij}(t) = \frac{1}{L^+}$$

L^+ – длина лучшего пути, построенного лучшим муравьем в этом туре.

10) Установить $t = t+1$.

11) Если $t < NC$ и все m муравьев не построили одинаковый тур, поместить всех муравьев в начальную точку S , продолжить поиск пути. Если $t > NC$ и все m муравьев построили одинаковый тур или $T=NC$, то оптимальным путем является путь T^+ , а оптимальными значениями параметров являются $\{h_1^*, h_2^*, \dots, h_d^*\}$.

В результате реализации данного алгоритма и его исследования были подобраны следующие оптимальные параметры:

- $p = 0.1$
- $\tau_0 = 0.0002$
- $\beta = 2$
- $m = 10$
- $NC = 200$
- $q_0 = 0.85$

Приведем полученные результаты на рисунке 1.

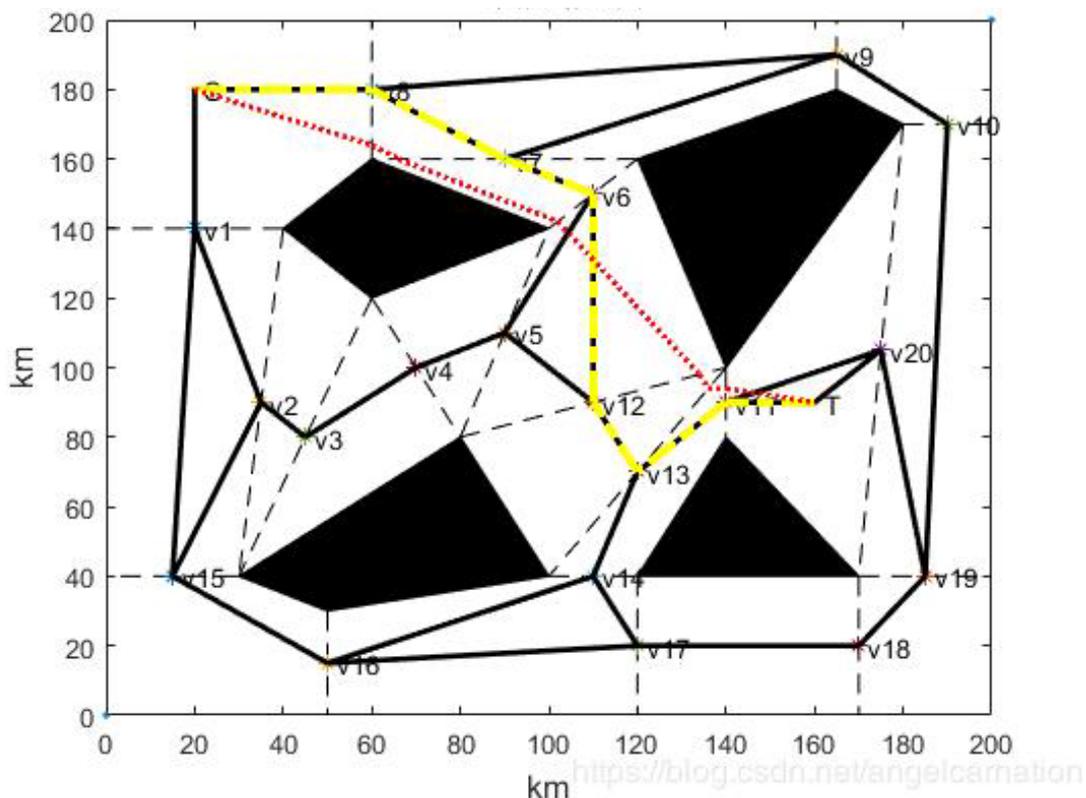


Рис. 1. Полученные результаты

В результате построен оптимальный путь (красный). Заметим, что построение начиналось с субоптимального пути (желтого). Заметим, что точность решения зависит от величины дискретизации h_i (размера шага смещения). Интересно сравнить результаты построения путей с применением генетических и муравьиных алгоритмов (таблица). Параметры ГА следующие: кодирование вещественное, отбор элитарный, размер популяции $m=50$, вероятность кроссинговера $p_c=0.6$, вероятность мутации $p_m=0.05$.

Таблица. Алгоритмы

	Муравьиный алгоритм	Генетический алгоритм
Время выполнения одной итерации в секундах	0.00059	0.00067
Количество итераций, необходимых для сходимости	175	912
Время поиска оптимального решения	0.1033	0.6110

Скорость сходимости алгоритмов представлена на рисунке 2.

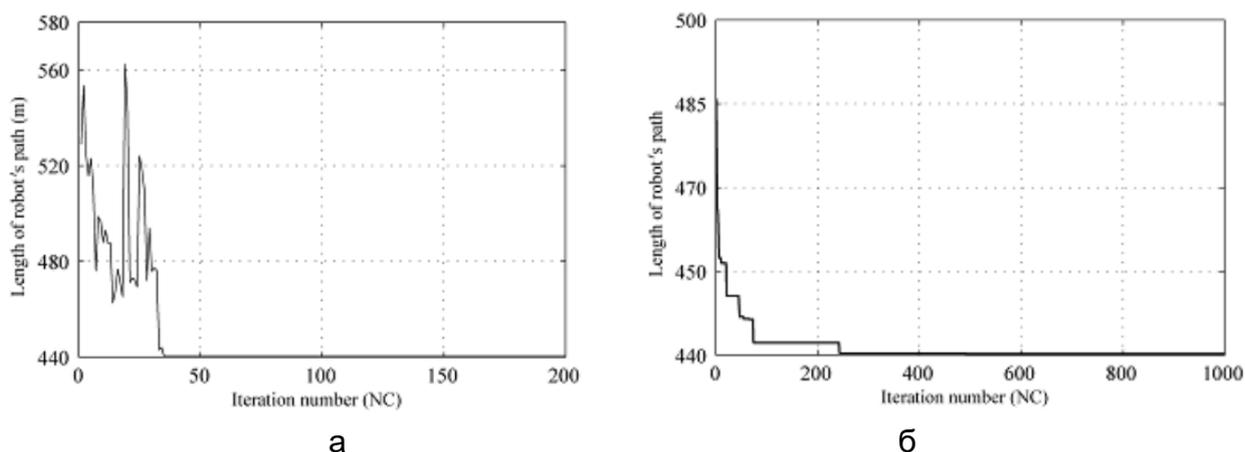


Рис. 2. Скорость сходимости алгоритмов: а) Муравьиный алгоритм; б) Генетический алгоритм

В результате проделанной работы реализован и исследован гибридный муравьиный алгоритм, построенный на основе алгоритма Дейкстры, классического муравьиного алгоритма и теории графов МАКLINK. В целом гибридный МА показал себя как эффективный алгоритм поиска, позволяющий найти оптимальный путь робота всего за несколько итераций, что сравнимо быстрее генетических аналогов.

Литература

1. Meng Wang, Liu J.N.K. Fuzzy logic-based real-time robot navigation in unknown environment with dead ends // *Robotics and Autonomous Systems*. 2008. Vol.56. No.7. Pp.625–643. Режим доступа: [10.1016/j.robot.2007.10.002](https://doi.org/10.1016/j.robot.2007.10.002) (дата обращения: 30.04.2021).
2. Janet J.A., Luo R.C., Kay M.G. The essential visibility graph: An approach to global motion planning for autonomous mobile robots // *IEEE intern. conf. on robotics and automation (Nagoya, Japan, May 21-27, 1995): Proc. Vol.2. N.Y.: IEEE, 1995. Pp.1958–1963*. Режим доступа: <https://ieeexplore.ieee.org/document/526023> (дата обращения: 1.05.2021).
3. Dorigo M., Birattari M., Stutzle T. Ant colony optimization // *IEEE Computational Intelligence Magazine*. 2006. Vol.1. No.4. Pp.28–39. Режим доступа: <https://ieeexplore.ieee.org/document/4129846> (дата обращения: 1.05.2021).
4. Mohamad M.M., Dunnigan M.W., Taylor N.K. Ant colony robot motion planning // *Intern. conf. on “Computer as a tool”: EUROCON 2005 (Belgrade, Serbia, Nov. 21-24, 2005): Proc. N.Y.: IEEE, 2005. Vol.1. Pp.213–216*. Режим доступа: <https://ieeexplore.ieee.org/document/4129846> (дата обращения: 30.04.2021).
5. Han-Pang Huang, Shu-Yun Chung. Dynamic visibility graph for path planning // *IEEE-RSJ intern. conf. on intelligent robots and systems: IROS 2004 (Sendai, Japan, Sept. 28 -Oct. 2, 2004): Proc. N.Y.: IEEE, 2004. Vol.3. Pp.2813–2818*. Режим доступа: <https://ieeexplore.ieee.org/document/1389835> (дата обращения: 30.04.2021).

УДК 004.414.32

**РАЗРАБОТКА И ПЕРСПЕКТИВЫ ВНЕДРЕНИЯ НОВОГО
ЭФФЕКТИВНОГО СПОСОБА ПОЛУЧЕНИЯ ДАННЫХ
ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ПРЕДИКТОРОВ ТЕЧЕНИЯ ВТОРИЧНЫХ
ЗАБОЛЕВАНИЙ ПРИ COVID-19**

Бокарева А.А.¹

Научный руководитель – к.т.н., ассистент Ватьян А.С.¹

¹Университет ИТМО

Работа выполнена в рамках темы НИР № 620178 «Методы и алгоритмы предсказания течения кардиоваскулярных заболеваний путем комплексирования медицинской информации о сочетанных заболеваниях, в том числе COVID, с использованием нейронных сетей».

В работе рассмотрены стандартные способы сбора информации для обработки и формирования базы данных для работы нейронных сетей по алгоритмам предсказания течения заболеваний. Проведен эксперимент по сбору данных с использованием стандартных методов и проанализирован результат. По результату анализа был предложен к использованию новый эффективный метод и выявлены шаги внедрения.

Ключевые слова: мобильное приложение, нейронные сети, база данных, сбор данных, Covid-19.

Современные методы сбора медицинских данных для формирования базы данных и выявления закономерностей, позволяющих сформировать предикторы и алгоритмы прогнозирования течения вторичных заболеваний, в том числе и Covid-19, можно разделить на три группы: на непосредственно медицинские карты (истории болезней) пациентов стационаров; на статистические данные и результаты исследований; на данные, полученные методом прямого опроса респондентов, перенесших исследуемое заболевание.

Необходимо отметить, что информация о состоянии здоровья пациента относится к специальным категориям персональных данных, обработка которых не допускается, за исключением случаев, указанных в Федеральном законе (ст. 10 Закона № 152-ФЗ): пациент дал согласие в письменной форме на обработку своих персональных данных; пациент сам сделал персональные данные общедоступными; обработка персональных данных необходима для защиты жизни, здоровья или иных жизненно важных интересов пациента либо жизни, здоровья или иных жизненно важных интересов других лиц и получение согласия пациента невозможно; обработка персональных данных осуществляется в медико-профилактических целях, в целях установления медицинского диагноза, оказания медицинских и медико-социальных услуг при условии, что обработка осуществляется лицом, профессионально занимающимся медицинской деятельностью и обязанным в соответствии с законодательством РФ сохранять врачебную тайну.

Информация, являющаяся врачебной тайной, – это отдельный подвид персональных данных. Она представляет собой сведения о факте обращения гражданина за оказанием медицинской помощи, состоянии его здоровья, диагнозе и иные сведения, полученные при его медицинском обследовании и лечении (п. 1 ст. 13 Закона № 323-ФЗ). Ее разглашение не допускается (п. 2 ст. 13 Закона № 323-ФЗ), за исключением отдельных случаев, указанных в законе [1].

Исходя из данных ограничений и необходимости подписания каждым пациентом дополнительного согласия на обработку его медицинских данных, процесс сбора необходимой информации для анализа и проведения дальнейшего изучения сопряжен с рядом трудностей, в том числе и большим количеством затрат временных и человеческих ресурсов, что делает невозможным оперативное решение задачи в условиях пандемии для работы вне медицинских исследовательских центров и учреждений.

При работе с базой данных, полученных из статистических выборок и результатов имеющихся на текущий момент исследований, были выявлены следующие особенности: материалы (данные) в статистических выборках не отражают полную картину (представлены

только данные, необходимые для конкретной статистики/исследования) и не позволяют сформировать выборки с максимально эффективным набором параметров для анализа и прогнозирования. Также нет возможности исключить заинтересованность автора исследования или статистики в представлении фокус-группы, отвечающей необходимым для данного исследования параметрам, но не являющейся репрезентативной.

При работе с опросом респондентов (с использованием онлайн опроса, распространяемого с помощью социальных сетей и мессенджеров) была получена база данных из 68 строк ответов (на 15 открытых вопросы по заданной тематике в каждой строке). Опрос выявил ряд вероятных закономерностей и позволил поставить несколько гипотез, однако полученные результаты невозможно транслировать на генеральную совокупность по ряду признаков, в том числе и благодаря выявленной принадлежности большего числа (82% от всех опрошенных) к одной социально-экономической группе, что существенно влияет на результат и процесс протекания заболеваний (доступность платной медицины, дорогих лекарственных препаратов, скорость обслуживания, качественное и разнообразное питание и т.д.). Также невозможно говорить о достоверности полученной информации ввиду когнитивных искажений субъектов опроса и их транспонирования данных.

По итогам проведенного эксперимента можно сделать вывод о выявленных существенных недостатках существующих систем сбора данных для решения поставленной задачи в условиях заданных ограничений, а именно: отсутствия прямого доступа к базам данных лечебно-профилактических учреждений, требуемого времени отклика на запрос, достоверности и полноты данных для комплексного анализа и прогнозирования.

Использование в рамках данного исследования разрабатываемого мобильного приложения «Единая персональная медицинская карта» позволяет снизить до объективного минимума (оставив вероятность человеческого фактора при внесении данных в карту непосредственно сотрудниками лечебно-профилактических учреждений и лабораторий) искажение информации, обеспечив необходимую скорость и полноту данных при запросе, учет требований закона по сбору информированного согласия пациентов на проведение анализа их персональных (в том числе и медицинских) данных в рамках работы над прогнозированием течения вторичных заболеваний.

Мобильное приложение представляет собой агрегатор всех персональных медицинских данных с распределенных серверов лечебно-профилактических учреждений и лабораторий страны с сохранением в памяти мобильного устройства пользователя в едином формате, с анализом основных параметров, подсказками и рекомендациями по дальнейшим обследованиям и консультациям. При подключении информированного согласия пользователя на использование данных для проведения исследований и создания статистических отчетов задача по сбору информации становится примитивной задачей передачи информации по обратному каналу (с мобильного устройства на сервер, отвечающий за сбор необходимой в рамках исследования информации).

Тем самым данное мобильное приложение решает сразу ряд разнообразных задач – от создания персонализированной системы хранения и анализа медицинских данных в комфортном и доступном для пользователя виде до оперативного проведения любых исследований и процессов, вплоть до дистанционного оповещения пациентов о необходимости сдачи дополнительных анализов или проведения профилактической вакцинации путем оповещения в самом приложении.

На текущий момент первые шаги в рамках предоставления оперативного доступа к персональной медицинской информации осуществляются путем введения на портале Госуслуг для жителей Москвы и Санкт-Петербурга (например, Электронный ресурс «Здоровье Петербуржца»), где отражены основные данные по совершенным визитам к специалистам, назначениям и диагнозам в рамках данных визитов и результаты различных лабораторных и инструментальных исследований. Однако все приведенные сведения касаются только территории прикрепления полиса ОМС, что не позволяет получить полную картину для проведения какого-либо статистического или аналитического анализа.

В рамках работы по созданию данного мобильного приложения были определены стадии и необходимые шаги по реализации и внедрению данной разработки в рамках города и страны. С учетом Федеральных законов о защите персональных данных и децентрализованности серверов различных лечебно-профилактических учреждений даже в пределах одной территории для полноценной реализации и внедрения данного продукта даже на этапе тестирования и создания минимально жизнеспособного приложения (MVP) необходима поддержка и заинтересованность со стороны Правительства и Министерства здравоохранения, что существенно снижает скорость разработки приложения. Однако коммерческая ценность продукта и оптимизированный переход на электронные документы позволяют сделать вывод о реализуемости и значимости данной разработки на сегодняшний день.

Литература

1. ГАРАНТ информационно-правовое обеспечение [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.garantexpress.ru/statji/personalnie-dannie-patsientov-v-meditsinskih-organizatsijah-trebovania-k-obrabotke-i-otvetstvennost/> (дата обращения: 07.05.2021).
2. «Здоровье петербуржца» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://gorzdrav.spb.ru/information> (дата обращения: 07.05.2021).

УДК 004.02

АГРЕГАЦИЯ ГЕТЕРОГЕННЫХ ИСТОЧНИКОВ ДАННЫХ В СИСТЕМЕ УМНОГО ГОРОДА

Волков А.А.¹

Научный руководитель – к.т.н. Тесля Н.Н.¹

¹Университет ИТМО

В работе рассмотрен вопрос построения архитектуры системы агрегации данных для умного города, решающей задачу простого горизонтального масштабирования источников данных. Рассмотрены основные подходы в построении информационных систем умного города. Приведены преимущества и недостатки централизованного подхода с единой базой данных и распределенного сервисного подхода с несколькими базами данных под каждый источник данных. Предложен подход, который позволяет упростить процесс сбора открытых данных из различных источников для последующего анализа. На основе предложенного подхода показана реализация система сбора и анализа открытых данных.

Ключевые слова: открытые данные, микросервисная архитектура, гетерогенные данные, умный город, онтология.

Качество работы системы умного города напрямую коррелирует с количеством входных данных. Для умного города при большом количестве открытых источников данных возникает вопрос простоты добавления нового источника данных в систему [1]. Эту задачу можно обозначить как горизонтальное масштабирование источников данных. Одной из проблем работы с открытыми данными является гетерогенность их источников. Под гетерогенностью понимается отличие в формате описания, протоколах доступа и временной распределенности данных. На практике это означает, что при необходимости агрегации всех данных в системе в единообразном виде требуется решить задачу нормализации данных. Также важна природа данных, так как при использовании специализированного решения возможно добиться более эффективного хранения и обработки данных, чем при использовании стандартного решения.

Для качественной работы на основе открытых данных нужны механизмы их подключения к системе и агрегации между собой. Под агрегацией данных понимается процесс настройки программных инструментов для автоматической обработки, объединения и анализа данных. В случае открытых данных это может означать как сохранение данных на локальные носители, так и разработки решения по работе с внешними сервисами хранения открытых данных. На текущий момент можно выделить два подхода к хранению информации при ее агрегации: централизованный и распределенный.

Централизованный подход представляет собой сохранение всех данных в одну общую базу данных. Обработка данных проводится также в рамках одной программы. Это самый простой способ реализации и подходит для небольших проектов. При добавлении новых источников сложность системы начнет расти нелинейно. Это приводит к повышению расходов на сопровождение системы, связанных с разнообразием вариантов описания данных и их обработки [2]. Все эти варианты требуют описывать в контексте одной программы и одной базы данных. Во-вторых, этот способ требует универсального подхода для всех источников данных, что в некоторых случаях является неоптимальным решением.

Распределенный подход подразумевает разделение программ хранения и обработки данных на независимые части. При таком подходе упрощается параллельная разработка и подключение новых источников данных в систему. Однако при этом также растет сложность организации взаимодействия между независимыми частями, особенно в сравнении с централизованным подходом.

Бывает сложно определить, какой из подходов имплементирован в конкретной информационной системе, так как существующий программный инструментарий позволяет комбинировать подходы за счет усложнения архитектуры информационной системы. В общем такой подход можно назвать гибридным, в котором преимущества суммируются, а недостатки частично нивелируются. Но при этом добавляется один существенный недостаток – это

экспоненциальная возрастающая сложность системы, так как количество точек отказа увеличивается. В статье [3] рассмотрена практическая реализация системы с гибридным подходом, в которой данные форматируются в нужный вид для каждого потребителя. Это может быть, например, перевод из реляционной базы данных в графовую базу данных. Данный подход содержит такой недостаток, как императивное описание шагов по переводу данных из одного формата в другой. Также не учитывается изначальный источник данных, который может выдавать данные в формате, отличном от уже существующих, что повышает сложность добавления источников.

С экономической точки зрения реализации агрегации данных стоит сказать, что централизованное хранение всех данных в одной базе данных, например реляционной, более затратно, чем в распределенной. Это связано с тем, что ресурсов для такого решения требуется больше. Основными статьями затрат будут являться задачи хранения данных, обеспечение отказоустойчивости и обновления. Поэтому в данной статье предлагается подход, в котором данные будут агрегироваться распределенно. Результаты ресурсоемких операций анализа данных будут сохраняться в промежуточные буферы, которые предоставляют быстрый доступ к информации.

В предлагаемом подходе каждый источник данных выделен в отдельный модуль вместе с соответствующим обработчиком для упрощения масштабирования при подключении новых источников данных. В центре системы расположен модуль, который направлен на взаимодействие с пользователем. Этот модуль можно обозначить ядром системы. В ядре происходит слияние данных, представленных в виде онтологий [4]. Возможно подключать дополнительные модули с частными данными, которые можно расширить, используя открытые данные. Модули могут иметь свою базу данных, которая хранит предобработанную информацию от внешних источников данных, или модули могут работать сразу с внешними источниками информации. Функциональная схема системы представлена на рисунке 1.



Рис. 1. Функциональная схема системы агрегации данных из открытых источников

В процессе работы системы ее ядро должно получать информацию о том, какую функциональность предоставляют подключаемые модули. К примерам реализации подключения дополнительных модулей можно причислить онтологию, API и конфигурационные файлы. В случае онтологии в системе умного города создается описание сервисов в виде онтологии: действия, которые модуль может сделать, и данные. При запуске новой задачи происходит подбор комплекта необходимых сервисов и далее выполнение задачи [5].

Рассмотрим подробнее функциональность ядра система. Ядро – это поисковой движок, единая точка входа для пользователей. Оно представляет собой окно для пользовательских запросов. В ядре не проводится анализ данных, так как это будет происходить уже в модулях. Из этого можно заключить, что ядро является особым модулем, у которого есть исключительное право взаимодействовать с другими модулями.

Каждый модуль – это обособленное приложение. Модуль может быть запущен постоянно или по требованию, но другие модули не должны этого замечать. То есть это не должно влиять на их функционирование. Модули обращаются к собственному источнику данных и сами его анализируют. Они независимо осуществляют аналитику без обмена данных между модулями.

Модуль не переадресовывает запрос на другой модуль. Если нужна дополнительная аналитика, то необходимо дорабатывать модуль, а не ядро. Например, есть сервис о парковках с камер наблюдения. И есть модуль, который хранит информацию о торговых сетях, выгружает часы продаж. Одну из задач для модулей можно сформулировать как поисковой запрос: аптека, где есть свободные парковочные места.

Для взаимодействия модулей и ядра нужен динамический набор атрибутов, который ядро сможет запрашивать у модулей, так как список запросов каждого модуля может быть разный и где-то информация о располагаемых возможностях должна храниться. Между модулями и ядром должен быть API контракт, например фильтр по временному срезу, пространственная точка или область и атрибуты данных модулей.

В функциональной схеме также определена отдельная база данных для модуля ядра. Эта база данных хранит онтологии с семантическим описанием данных каждого подключаемого модуля. На основе этих онтологий возможно построения онтологии верхнего уровня, с помощью которой пользователь может объединять данные модули в единый датасет.

В качестве примера реализации подхода по агрегации данных в работе была проведена разработка системы по анализу использованию транспортной инфраструктуры и предложений по ее улучшению. Для этого выбраны два различных источника открытых данных. Первый источник данных – это открытые данные по аренде велосипедов в Берлине. Эти данные представлены в формате потока (streaming data), что накладывает ограничения на возможности их анализа и использования совместно с вторым источником. Второй источник – это открытые данные карточек дорожно-транспортных происшествий в Санкт-Петербурге. Данные представлены в табличном виде и сохранены на локальный носитель в виде реляционной базы данных. Результат агрегации данных на текущем моменте состоит в разработке единого интерфейса для пользователя. В дальнейшем будет реализовано объединение данных с помощью онтологии и представление этих данных.

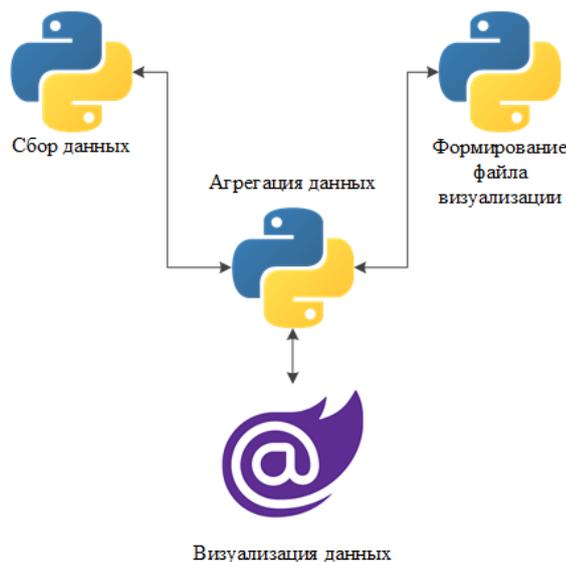


Рис. 2. Структурная схема системы сбора и визуализации потоковых данных

Рассмотрим пример с агрегацией открытых данных по аренде велосипедов в Берлине. Данные представляют собой список геоточек в формате JSON, которые можно получить с помощью веб-запроса. По мере обновления данных необходимо отправлять новые запросы к источнику данных. Полученный список геоточек визуализируется на карте. Данная задача была декомпозирована на разработку трех модулей: модуль агрегации, модуль получения геоточек и модуль визуализации. Это позволило разделить специфику сбора данных и их визуализации, а также упростить добавление новых источников данных. При дальнейшем развитии системы, если появятся новые источники геоданных, то это потребует только настройки взаимодействия с модулем агрегации данных. Структурная схема системы представлена на рисунке 2.

Модули сбора данных, анализа и формирования файла визуализации написаны на языке программирования Python, так как существующие для этого языка библиотеки позволяют провести быстрое прототипирование, имеют большое количество готовых функций для анализа данных и предоставляют большой набор форматов визуализации данных. Сама визуализация данных реализована с помощью веб-сервера фреймворка Blazor. Данный фреймворк реализует подход единого файла, в котором описывается логика обработки данных и вид пользовательского интерфейса для одной веб-страницы. Каждый из файлов представляет собой Razor компонент, в котором можно использовать комбинацию языка программирования C# и языка разметки HTML. При открытии веб-страницы происходит рендеринг каждого из компонентов с помощью фреймворка. Это упрощает добавление новых веб-страниц, так как для добавления одной новой веб-страницы требуется добавить только один файл с описанием логики обработки данных и пользовательского интерфейса. В левой части веб-страницы представлен список доступных веб-страниц, каждая из которых обращается только к одному модулю. Пример графического интерфейса системы представлен на рисунке 3.

Рассмотрим задачу добавления нового источника данных для анализа, данные от которого сохраняются в реляционную базу данных PostgreSQL. После сохранения данные анализируются с помощью модуля, разработанного с использованием языка программирования Python. В ходе анализа производится кластеризация геоточек по выбираемому списку параметров, среди которых могут быть типы ДТП, количество участников, наличие пострадавших, состояние дорожного покрытия и другие характеристики, доступные в карточках ДТП. Такой анализ позволит обнаружить места концентрации однотипных дорожно-транспортных происшествий, провести более полный анализ причин и эффективнее реализовать меры по снижению аварийности в рассматриваемой области. Структурная схема системы представлена на рисунке 4.

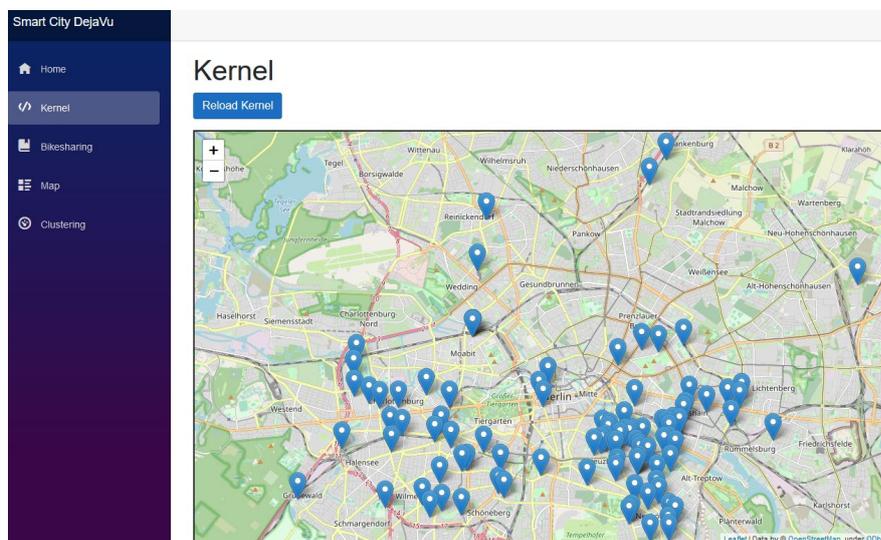


Рис. 3. Графический интерфейс системы сбора и визуализации данных по аренде велосипедов в Берлине



Рис. 4. Структурная схема системы анализа с визуализацией используемых технологий

Для добавления нового источника в графический интерфейс требуется расширить список доступных веб-страниц новым элементом, соответствующим добавляемому источнику данных (рис. 5). При этом можно подключить другую карту для визуализации данных, если это позволяет добиться лучшей детализации. Так, например, на рисунке 3 используется карта OpenStreetMap, на рисунке 5 используется Mapbox.

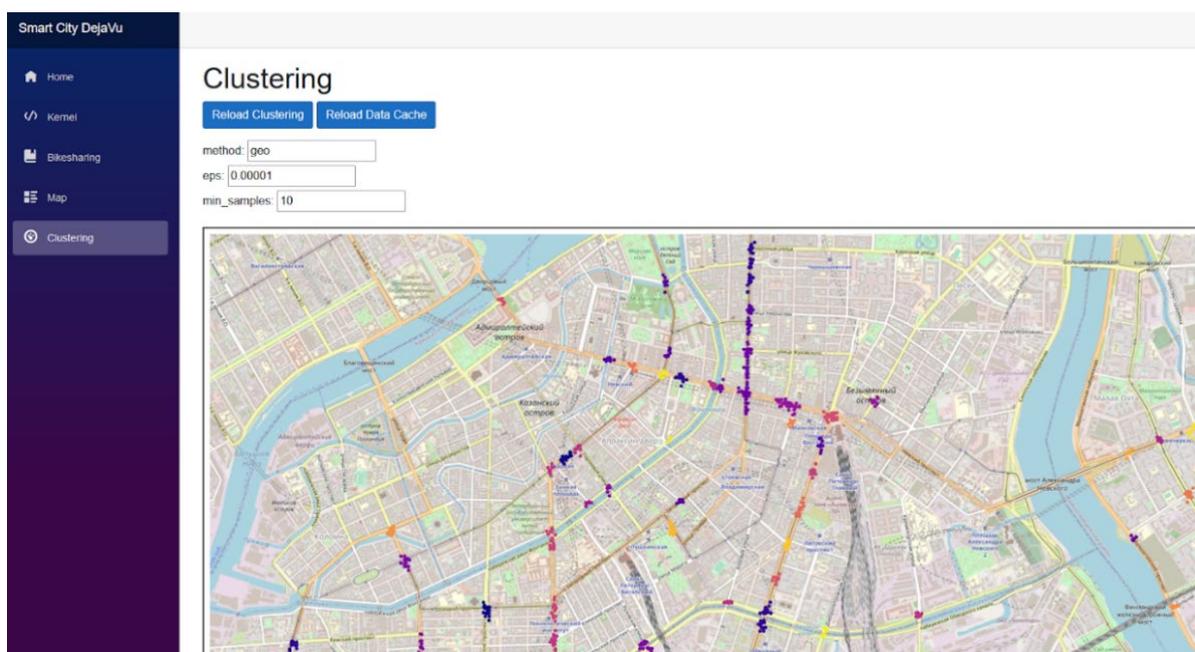


Рис. 5. Графический интерфейс системы сбора и анализа открытых данных по дорожно-транспортным происшествиям

В качестве заключения можно отметить, что распределенный подход в агрегации, хранении и обработке данных из гетерогенных источников наиболее перспективен для системы умного города. Программные инструменты, которые упрощают процесс деления бизнес-логики системы на независимые части и настройки прозрачного взаимодействия между ними, набирают все большую популярность, так как упрощают процесс разработки и сопровождения информационных систем. Для задачи агрегации данных умного города это дает возможность хранить данные в таком же виде в каком они поступают от источника, минимизируя затраты на нормализацию данных.

Литература

1. Vitor C. F. Gomes, Gilberto R. Queiroz, and Karine R. Ferreira. An overview of platforms for big earth observation data management and analysis. *RemoteSensing*, 12(8), 2020.
2. Jose Antonio Rodriguez, Francisco Javier Fernandez, and Pablo Arboleya. Study of the architecture of a smart city. *Proceedings*, 2(23), 2018.
3. Viennot Nicolas, Lécuyer Mathias, Bell Jonathan, Geambasu Roxana, Nieh Jason. Synapse: A microservices architecture for heterogeneous-database web applications. *Proceedings of the 10th European Conference on Computer Systems, EuroSys 2015*.
4. Teslya N., Savosin S. Matching Ontologies with Word2Vec-Based Neural Network // *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*. Springer Verlag, 2019. Vol. 11619 LNCS. P. 745–756.
5. Negash B. et al. LISA 2.0: lightweight internet of things service bus architecture using node centric networking // *J. Ambient Intell. Humaniz. Comput.* Springer Berlin Heidelberg, 2016. Vol. 7, № 3. P. 305–319.

УДК 004.02

ОБЗОР ТЕКУЩЕГО СОСТОЯНИЯ МУЛЬТИВАРИАТИВНЫХ МЕТОДОВ И АЛГОРИТМОВ ОТБОРА ПРИЗНАКОВ, ОСНОВАННЫХ НА АНСАМЛЯХ

Глухов В.Н.¹

Научный руководитель – к.т.н., доцент Сметанников И.Б.¹

¹Университет ИТМО

В работе рассмотрены ансамблевые алгоритмы отбора признаков, их классификация, гиперпараметры, метода агрегации ответов слабых алгоритмов. Отдельно рассмотрены подходы к оценке устойчивости, а также оценки точности ансамблевых алгоритмов и их оценка с помощью различных метрик качества. **Ключевые слова:** отбор признаков, ансамблевые методы, устойчивость, агрегация ответов, оценка точности.

Современная классификация алгоритмов отбора признаков включает в себя следующие направления: фильтрующие методы (filters), обертки (wrappers), эмбединговые алгоритмы (embedded), ансамбли (ensembles) и гибриды (hybrids) [1]. Первые три – основные направления разработки алгоритмов отбора признаков, в то время как последние два являются агрегациями, пытающимися улучшить качество модели, имея результаты нескольких простых алгоритмов, возможно, склонных к переобучению.

Хотя ансамблирующие алгоритмы и являются логичным продолжением разработки более устойчивых и продвинутых методов, большинство исследований сконцентрировано на фильтрующих и эмбединговых алгоритмах как наиболее быстрых.

Два наиболее общих подхода составления ансамбля – это параллельное (parallel) и последовательное (sequential) объединение моделей. Представителями первого являются бэггинг (bagging) и случайный лес (random forest), второго – бустинг (boosting). Параллельный подход к ансамблям получил большее распространение ввиду его интерпретируемости и возможности к распараллеливанию вычислений.

Параллельные подходы, в свою очередь, делятся на гомогенные (homogeneous) и гетерогенные (heterogeneous) [2]. Гомогенные ансамбли состоят из слабых алгоритмов (weak selector) одного типа, например деревьев решений, гетерогенные могут включать методы различного характера, что в большей степени позволяет получить некоррелированные решения.

Ввиду специфики ансамбля, для оптимального его построения требуется подбор большого количества гиперпараметров. Основная идея подбора – нахождение компромисса между сложностью (complexity), разнообразием (diversity) и устойчивостью (stability).

На сложность вычислений и размер ансамбля влияют такие факторы, как тип отдельных алгоритмов (обертки будут выполняться значительно дольше фильтров), количество алгоритмов и размер обучающего датасета. Разнообразие состоит в выборе таких базовых алгоритмов, чтобы между ними была наименьшая корреляция, что позволяло бы получить диверсифицированные ответы. Устойчивость включает в себя способ агрегации ответов алгоритмов и выбор порога отсечения признака в ранжируемых алгоритмах, что позволяет получать схожие итоговые подмножества признаков, отобранных на различных подмножествах данных, например на соседних месяцах. Выбор порога отсечения сам по себе является отдельной задачей, так как несмотря на то, что зачастую выбирается определенный фиксированный порог, например 25% признаков, существуют подходы к тому, чтобы порог получать в результате работы вспомогательной модели.

Важной частью ансамбля является агрегирование результатов, которое может быть реализовано различными способами в зависимости от ответов алгоритмов. В ансамблях, в отличие от гибридов, не используется обучение мета-алгоритма, производящего итоговый отбор признаков. Два основных случая выходных данных из алгоритмов отбора признаков –

это ранжированный список всех признаков (rankings of features) и список уже отобранных атрибутов (subsets of features).

Подход, основанный на агрегации отобранных атрибутов, включает в себя три наиболее распространенных случая выбора итогового подмножества. 1) Выбрать множество, образованное в результате пересечения всех множеств. Существует вероятность, что итоговое множество будет содержать малое число атрибутов либо будет пустым. 2) Создать множество атрибутов, полученное в результате объединения подмножеств признаков. В этом случае существует вероятность получения исходного множества атрибутов. 3) Случайным образом выбирается одно случайное подмножество признаков, и на нём оценивается точность модели. Далее добавляется по одному признаку, отобранному другим случайным алгоритмом, и снова оценивается качество модели. В случае улучшения качества атрибут остается или исключается. Процесс повторяется, пока все атрибуты, не вошедшие в исходное множество, не будут перебраны.

Подход, основанный на ранжированных атрибутах, имеет два подмножества возможных решений. Первое – применение функции на рангах, например минимум или медиана. Таким образом, множество рангов для каждого признака сведется к одному значению, после чего можно будет применить отсечение. Второй подход – Robust Rank Aggregation, в результате которого строится статистическая гипотеза, что ранг каждого признака случаен, против альтернативы с действительными рангами.

Устойчивость – характеристика алгоритмов отбора признаков воспроизводить похожие подмножества атрибутов на различных частях одного и того же набора данных. Это критически важно в силу того, что вне зависимости от того, какой срез данных используется для отбора, например месяц года, мы хотим, чтобы алгоритм выдавал одни и те же атрибуты, что позволит их использовать на других месяцах. Существует множество подходов к оценке устойчивости, но, несмотря на это, вопрос о разработке универсальной метрики остается открытым. Три наиболее используемые метрики устойчивости – это индекс Жаккарда (Jaccard index), расстояние Хэмминга (Hamming distance) и индекс Кунчевой (Kuncheva index) [3].

Индекс Жаккарда:

$$J(A, B) = \frac{|A \cap B|}{|A \cup B|} = \frac{|A \cap B|}{|A| + |B| - |A \cap B|}$$

Расстояние Хэмминга:

$$Ham(A, B) = 1 - \frac{|A \setminus B| + |B \setminus A|}{n}$$

где n – общее количество признаков.

Индекс Кунчевой:

$$Kun(A, B) = \frac{r - \frac{k^2}{n}}{k - \frac{k^2}{n}} = \frac{rn - k^2}{k(n - k)}$$

где $|A| = |B| = k, 0 < k < |X| = n, r = |A \cap B|$.

Индекс Кунчевой, хотя и является улучшением двух выше, указанных метрик ввиду того, что не является смещенным относительно размера отобранного подмножества признаков, тем не менее, обладает тем минусом, что требует от обоих множеств отобранных признаков иметь одинаковый размер.

Точность отбора признаков – проблема, остающаяся открытой ввиду отсутствия «верных ответов», с которыми можно было бы сравнить отобранное множество признаков. Зачастую для оценки ансамблевых алгоритмов используются искусственные данные, где заранее

известно, какие признаки релевантные, а какие – искусственно добавленный шум. Тогда могут быть использованы метрики оценки качества отбора признаков. Две часто встречающихся метрики – это Hamming loss и Ranking loss. Для этих метрик введены следующие обозначения: *feats* – всё множество признаков, *feat_sel* – множество отобранных алгоритмом признаков, *feat_not_sel* – множество не отобранных алгоритмом признаков, *feat_rel* – множество релевантных признаков, *feat_irr* – множество нерелевантных признаков.

Hamming loss (H) оценивает, сколько раз признак был неверно классифицирован на релевантный / нерелевантный:

$$H = \frac{\#(feat_sel \cap feat_irr) + \#(feat_not_sel \cap feat_rel)}{\#(feat_rel \cup feat_irr)}$$

Ranking loss (R) оценивает количество нерелевантных признаков, которые проранжированы выше релевантных. Меньшее количество нерелевантных признаков в топе ранжирования – лучшее качество модели:

$$R = \frac{pos - \#feat_rel}{\#feats - \#feat_rel}$$

В ходе работы рассмотрено одной из направлений разработки алгоритмов отбора признаков – ансамблевые алгоритмы. Рассмотрена классификация ансамблей по способу построения и типу слабых алгоритмов, проанализированы гиперпараметры алгоритмов и компромисс между сложностью, разнообразием и устойчивостью. Особое внимание уделено агрегированию результатов слабых алгоритмов ввиду того, что оно отличается от той же задачи при классическом использовании ансамблей. Также рассмотрены метрики устойчивости и оценки качества отбора признаков.

Литература

1. Bolón-Canedo V., Alonso-Betanzos A. Ensembles for feature selection: A review and future trends // Information fusion. 2019. Volume 32, P. 1-12.
2. Seijo-Pardo B., Porto-Díaz I., Bolón-Canedo V., Alonso-Betanzos A. Ensemble Feature Selection: Homogeneous and Heterogeneous Approaches // Knowledge-Based Systems. 2016. DOI:10.1016/j.knosys.2016.11.017.
3. Kuncheva L. A stability index for feature selection // Proceedings of the 25th IASTED International Multi-Conference: Artificial Intelligence and Applications. 2007. P. 390-395.

УДК 004.93

РЕАЛИЗАЦИЯ МОДЕЛИ ДЛЯ ПОДСЧЕТА ЧИСЛА ДИКТОРОВ НА ОСНОВЕ РЕКУРРЕНТНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Евсеева Е.С.¹

Научный руководитель – с.н.с., PhD Астапов С.С.¹

¹Университет ИТМО

Работа выполнена в рамках темы НИР №620172 «Определение структуры полилога с применением лексических и нелексических признаков речи нескольких дикторов».

В данной работе рассмотрена реализация модели на основе рекуррентных нейронных сетей, а также её тестирование на открытом корпусе данных АМІ и сравнение результатов с готовым решением CountNet.

Ключевые слова: обработка речевых сигналов, подсчет числа дикторов, рекуррентные нейронные сети, CountNet, АМІ Corpus.

Определение мгновенного числа одновременно говорящих дикторов – это задача определения числа дикторов на аудиозаписи в каждый момент времени. Знание о количестве дикторов важно при решении задач диаризации дикторов, которая оценивает, кто и когда говорит в речевом сегменте, и выделения целевого диктора [1, 2]. В большинстве методов диаризации количество дикторов рассматривается как известное число или оценивается с помощью кластеризации и признаков локализации звука. Однако в случае автоматической диаризации знание о количестве дикторов может быть недоступно. На сегодняшний день для решения данной проблемы разрабатываются методы для подсчета числа дикторов с использованием глубокого обучения.

Целью данной работы является создание системы для определения числа одновременно говорящих дикторов на записях с дальнего микрофона. В данной работе будет рассмотрена реализация модели на основе рекуррентных нейронных сетей, а также её тестирование на открытом корпусе данных АМІ и сравнение результатов с готовым решением CountNet.

В литературе для решения данной задачи в качестве архитектуры часто используются сверточные нейронные сети (CNN) или рекуррентные нейронные сети (RNN) [3]. Также одним из существующих готовых решений для данной задачи является модель CountNet [4]. Авторы этой работы предлагают современную аудиомодель глубокой нейронной сети, основанную на двунаправленной архитектуре сети долгой краткосрочной памяти (Bi-LSTM) для оценки количества дикторов.

Опираясь на используемые для данной задачи архитектуры, для реализации модели для подсчета числа активных дикторов выберем архитектуру рекуррентной нейронной сети с использованием Bi-LSTM наподобие той, что используется в работе [4]. Архитектура предлагаемого решения, представленного на рисунке 1, состоит из нескольких сверточных слоев и слоев пулинга для обработки входных признаков, слоя Bi-LSTM с 40 скрытыми слоями и полносвязного слоя для классификации по количеству активных дикторов.

Проведем эксперименты над предложенной архитектурой модели. Каждая модель обучалась на корпусе LibriCount10 [5] на классах 0 – 4 диктора в течении 160 эпох. Для тестирования были взяты записи с микрофонной решетки из открытого корпуса АМІ [6] под именем Array1-01.

В качестве эксперимента было выбрано использование отрезков записи различной длительности. Для предобработки сигнала использовалось кратковременное преобразование Фурье (STFT) с использованием окон Ханна. Модели тестировались на следующих длительностях входного сигнала: 0,5, 1, 1,5, 2, 3, 4 и 5 секунд. Результаты тестирования будем оценивать по метрике F1-score. Также, в связи с неоднородностью распределения классов в корпусе АМІ, для тестирования была создана такая тестовая выборка, в которой одинаковое количество времени будут присутствовать все классы по количеству дикторов. Это поможет

более объективно оценить модель по метрике F1-score. Результаты тестирования на этих двух наборах представлены на рисунке 2.

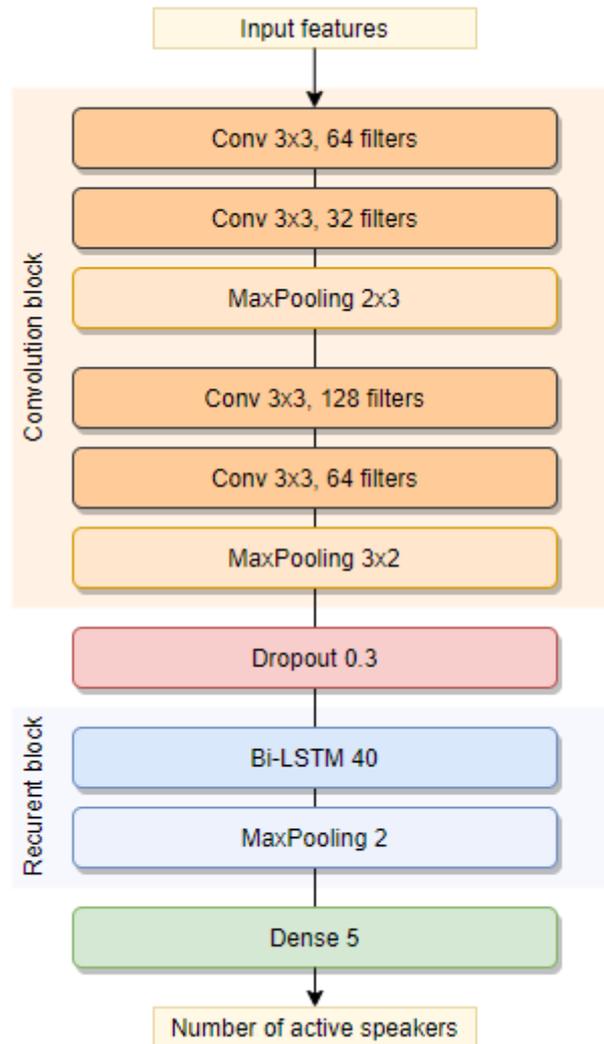


Рис. 1. Архитектура модели на основе Bi-LSTM

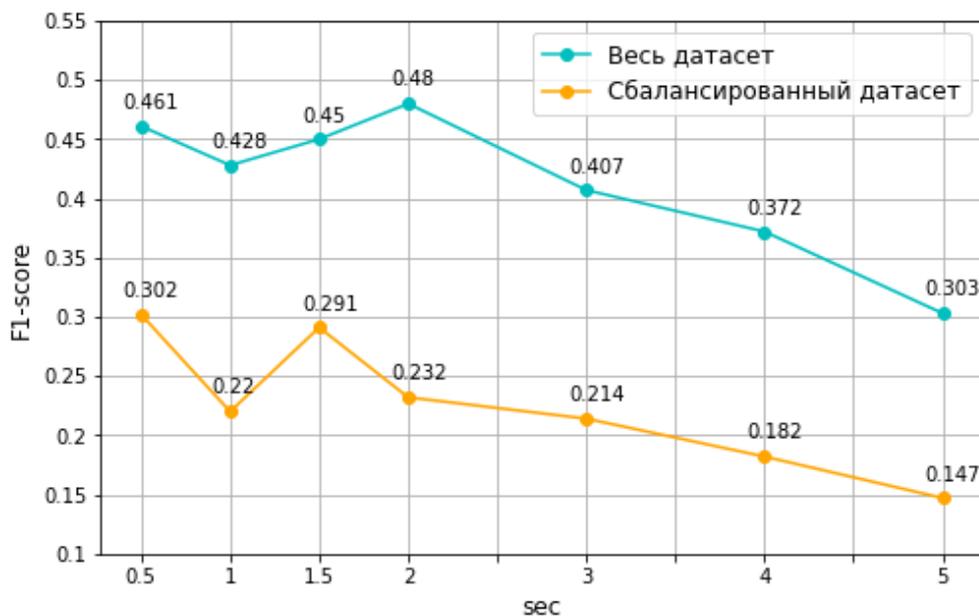


Рис. 2. Результаты тестирования моделей на различных длительностях сигнала

Из графика видно, что чем меньше отрезок сигнала для анализа, тем лучше результат показывают модели. Также на сбалансированном наборе F1-score снизился, вероятно из-за того, что модели хорошо детектируют отсутствие и присутствие одного диктора, и таких примеров достаточно много в несбалансированной выборке. Лучших результатов на целом наборе данных добились модели, которым подавались на вход отрезки записи длительностью 0,5 и 2 секунды, а на сбалансированном наборе – 0,5 и 1,5 секунды.

Рассмотрим подробнее результаты моделей с лучшими результатами на сбалансированном наборе. На рисунке 3 представлены матрицы спутанности для моделей с длительностью отрезка сигнала 0,5 секунд и 1,5 секунды соответственно. Видно, что первая модель хорошо различает отсутствие диктора на записи и присутствие 4 дикторов, при этом 2 и 3 диктора различает очень плохо. Вторая модель в целом лучше справляется с определением количества дикторов, однако склонна недооценивать их количество на записи.

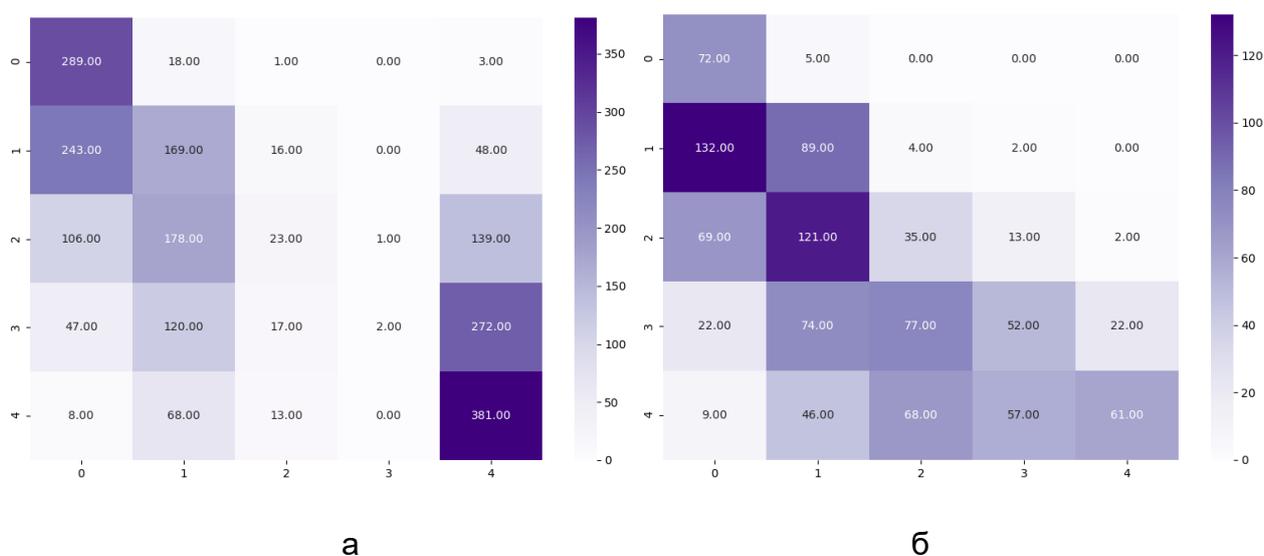


Рис. 3. Матрицы спутанности для длительности сигнала: а) 0,5 секунды; б) 1,5 секунды

Также сравним предложенное решение с готовым решением – моделью CountNet. В качестве предложенного решения для сравнения выберем модель, принимающую на вход отрезки сигнала по 1.5 секунд. Протестируем модели на сбалансированном и целом датасете. Модель CountNet принимает на вход записи длительностью по 5 секунд, поэтому в качестве предобработки сигнала возьмем STFT, а длительность отрезка сигнала – 5 секунд. Так как предложенная модель принимает на вход отрезок меньшей длительности, на вход будут подаваться кусочки 5-секундного отрезка, а в качестве выхода – максимум из предсказанного количества дикторов. Результаты тестирования предложенной модели и модели CountNet приведены в таблице.

Таблица. Результаты тестирования моделей

Метрика	Предложенная модель		CountNet	
	Сбалансированный датасет	Целый датасет	Сбалансированный датасет	Целый датасет
Accuracy	0.35	0.41	0.16	0.20
Precision	0.43	0.42	0.39	0.43
Recall	0.35	0.41	0.16	0.20
F1-score	0.35	0.37	0.19	0.22

Из результатов видно, что предложенная модель намного лучше определяет число дикторов как на целом наборе AMI, так и на сбалансированном, в отличие от модели CountNet.

В данной работе была выполнена реализация модели для подсчета числа дикторов на основе рекуррентной нейронной сети с использованием Bi-LSTM. По результатам тестирования видно, что предложенная модель лучше проявляет себя на коротких отрезках времени. В сравнении с готовым решением CountNet предложенная модель показала результат лучше. При этом предложенная модель имеет большое преимущество в виде возможности обрабатывать фрагменты сигнала меньшей длительности, что повышает ее удобство для использования в реальных задачах.

Литература

1. Astapov S., Lavrentyev A., Shuranov E. Far Field Speech Enhancement at Low SNR in Presence of Nonstationary Noise Based on Spectral Masking and MVDR Beamforming. In: Karpov A., Jokisch O., Potapova R. (eds) // *Speech and Computer. SPECOM 2018. Lecture Notes in Computer Science*, vol 11096. 2018. Springer, pp. 21-31.
2. Astapov S., Popov D., Kabarov V. Directional Clustering with Polyharmonic Phase Estimation for Enhanced Speaker Localization. In: Karpov A., Potapova R. (eds) // *Speech and Computer. SPECOM 2020. Lecture Notes in Computer Science*, vol 12335. 2020. Springer, pp. 45-56.
3. Andrei V., Cucu H., Burileanu C. Overlapped Speech Detection and Competing Speaker Counting—Humans Versus Deep Learning // *IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing*. 2019. vol. 13, no. 4, pp. 850-862.
4. Stöter F-R. et al. Classification vs. Regression in Supervised Learning for Single Channel Speaker Count Estimation // *IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP)*. 2018. P. 436-440.
5. Stöter F-R. et al. LibriCount, a dataset for speaker count estimation // *Zenodo*. 2018.
6. Carletta J. Announcing the AMI Meeting Corpus // *The ELRA Newsletter* 11(1). 2006. P. 3-5.

УДК 004.8

МОДЕЛЬ ЭМОЦИОНАЛЬНОГО АНАЛИЗА РУССКОЯЗЫЧНЫХ ТЕКСТОВ

Егорова Е.В.¹

Научный руководитель – к.т.н., научный сотрудник НЦКР Суриков А.Г.¹

¹Университет ИТМО

Работа выполнена в рамках темы НИР № 620174 «Инкрементальное обучение моделей психоэмоциональной динамики пользователей и сообществ в цифровых социальных системах».

В настоящей работе представлена вероятностная модель эмоционального анализа русскоязычных текстов с учетом эмоциональных индикаторов. Данная модель осуществляет классификацию текстов по эмоциональной шкале Экмана, в которую входит 6 базовых эмоций (радость, печаль, страх, удивление, злость и отвращение), и определяет эмоциональную интенсивность текста.

Ключевые слова: анализ эмоций, инкрементальное обучение, социальные сети.

Введение

Социальные сети позволяют пользователю воссоздать свою личность в Интернете. Пользователи размещают у себя в профиле личные тексты, фотографии, ссылки, записи, видео и т. д. Личные тексты, которые размещают у себя пользователи, содержат большое количество информации не только об их смысловом содержании, но и о слабо формализуемом эмоциональном контексте их написания. В данной работе мы пытаемся извлечь эмоциональную подачу из текстов с помощью баесовской вероятностной модели, обученной на экспертно-размеченных текстах. Цель данной работы заключается в получении комплексного вывода об эмоциях, проявленных в текстах и их интенсивности, а также в получении промежуточных предикторов (эмбеддингов) для улучшения качества вывода других моделей (например, моделей психотипирования пользователей по их цифровым следам). Для данного исследования используется модель шести базовых эмоций П. Экмана [1].

Литературный обзор

Определение эмоций в текстах [2 – 4] – относительно новая область в анализе тональности текстов, связанная с извлечением и анализом эмоций.

Анкуш Чаттерджи и др. [2] предложил подход к обнаружению эмоций (счастья, печали, гнева) в текстовых диалогах. Суть подхода заключается в сочетании семантических и эмоциональных представлений для выявления эмоций. Данные были собраны из Twitter [18] с использованием полуавтоматического подхода. Метод SS-BED дает лучшие результаты по шкале F1 для каждого класса эмоций (счастье = 59,68, грусть = 80,79, гнев = 73,55) по сравнению с базовыми моделями. SS-BED была обучена использованию Microsoft Cognitive Toolkit [7].

В [3] предложен метод классификации твитов по эмоциональным классам на основе лексикона NRC [8]. Авторы провели эксперимент, используя два подхода: (1) модель центроида слов [9], создавая векторы слов из атрибутов уровня твита (униграммы и кластеры Брауна) путем усреднения всех твитов с целевым словом, и (2) встраивание слов работа с непрерывными словесными векторами низкой размерности, обученными в документе. Результаты показывают, что расширенный лексикон значительно улучшает классификацию эмоций по сравнению с исходным лексиконом.

В статье [11] представлен метод обнаружения эмоций с использованием байесовских сетей [15]. В статье представлены две модели на основе байесовских сетей: полная байесовская сеть (FBN) и байесовская сеть с индикатором настроения (BNM). F1-оценка для FBN составляет 53,71%, а для BNM – 54,07%.

Различные проблемы и решения, связанные с обнаружением эмоций, обобщены в [4]. Предложения обсуждаются там с учетом их основных вкладов, используемых подходов, использованных наборов данных, полученных результатов, их сильных и слабых сторон.

Инкрементное и онлайн-машинное обучение [5, 6] привлекает все большее внимание, особенно в контексте обучения потокам данных, в отличие от традиционного предположения о полных данных.

Никола Капуано и др. в [5] предложен подход, основанный на иерархических сетях внимания [10], для определения полярности настроений при общении с клиентами. Точность классификатора (макро-средний балл F1 0,79 для английского языка) и механизм переподготовки повысили точность классификации на новых образцах без ухудшения общей производительности системы.

Модель предсказания эмоций

Разработанная модель имеет две стадии обучения (Рис. 1.). На первой стадии сеть обучается на экспертной разметке, в которой коротким текстам, взятым из открытых источников, сообщается оценка их эмоциональности по шкале Экмана. Эксперты выделяют наличие той или иной эмоции (E1, E2 и т.д.) для каждого из текстов, в дальнейшем оценки разных экспертов обобщаются. Сеть изучает выделенные в размеченных текстах токены – леммы и коллокации лемм (n-граммы), включающие не только нормализованные слова и последовательности слов, но также и разнообразно проявленные эмоции – эмоджи и эмотиконы, их комбинации со словами и друг с другом.

Принцип выделения токенов заключается в выявлении устойчивых выражений, статистически неравномерно распределенных по классам эмоций, выделенных в содержащих их текстах. Таким образом формируется первоначальный словарь, элементы которого становятся узлами сети, а ребрами – их связи с узлами эмоциональных классов, взвешенные статистикой условных вероятностей выделения данного эмоционального класса в тексте с данным токеном.

Дальнейшее обучение сети осуществляется итеративно с помощью пакетов данных, поступающих из открытых источников (рис. 1.). Разметкой в данном случае выступают хеш-теги, проставленные для текстов их авторами. Например, хеш-тег «#фууу» нами проассоциирован с эмоцией «отвращение», а хеш-тег «#страшно» с эмоцией «страх». Сопоставление хеш-тегов с эмоциями является отдельной задачей, требующей методического осмысления, решение которой является предметом дальнейшего исследования. На данный момент схема маппинга была задана экспертами в жесткой форме, этого достаточно для проведения экспериментов по обучению сети, запланированных на данной стадии исследования.

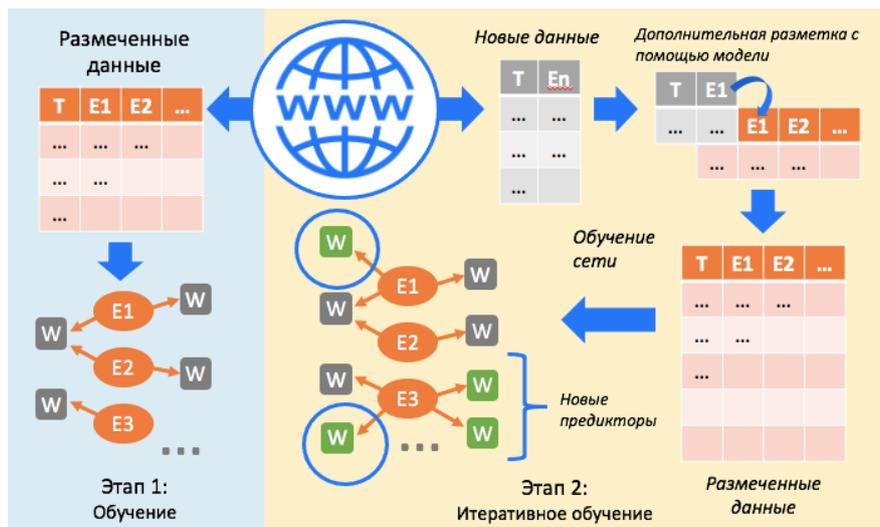


Рис. 1. Модель предсказания эмоций с использованием байесовской сети с применением инкрементального обучения

Далее модель дообучалась итеративно на пакетах данных новых образцов, также взятых из открытого источника, где регулярно размещаются короткие истории с разметкой хеш-тегами. Были собраны данные за 8 лет существования данного канала, а это более

100000 текстов. В результате сопоставления хеш-тегов на эмоции было отобрано 10187 образцов, которые и стали материалом для проведения эксперимента на стадии 2.

Модель обучалась итерациями в 1 месяц: то есть, на каждом инкременте жизненного цикла модели для ее обучения брались материалы за прошедший месяц из «жизни» наблюдаемого сообщества (это около 100 текстов). В общей сложности опубликованных текстов было значительно больше, но достаточно точный маппинг на эмоции был возможен менее чем для 10% из них. Для валидации модели из пакета каждой итерации откладывалось 20% текстов, остальные 80% использовались для дообучения сети. Результаты валидации модели на нескольких промежуточных итерациях представлены на рисунке 2 (iterate 20, 40, 60, 80, 100).

Таблица. Результаты валидации модели на разных промежуточных итерациях.

Итерация	0	20	40	60	80	100
Размер словаря	1564	2926	3477	4165	4256	4490
Accuracy	67,8%	70,5%	72,1%	73,2%	75,0%	77,0%
ROC AUC	72,1%	75,0%	77,0%	78,8%	80,3%	81,0%
F1	46,6%	49,6%	51,4%	52,7%	53,3%	53,9%

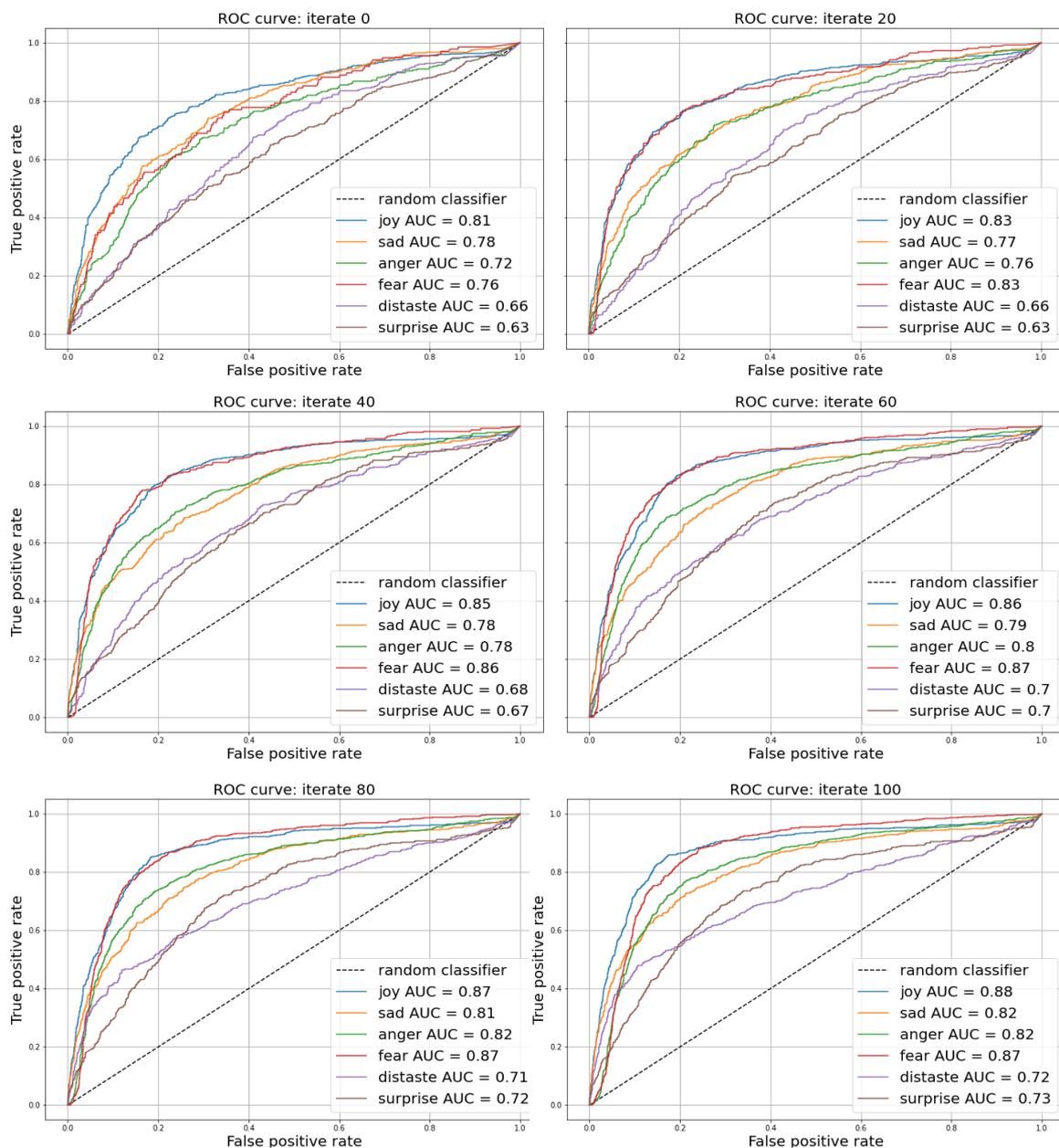


Рис. 2. Валидация модели (Roc кривые с разным количеством итераций)

Анализируя результаты эксперимента, можно сделать вывод, что, в целом качественные показатели работы модели по мере ее дообучения значимо улучшаются (рис. 2). Можно наблюдать заметную неравномерность роста показателей по разным эмоциональным классам, что объясняется разным количеством и качеством дополнительной разметки. За время экспериментального жизненного цикла модель выросла почти втрое по количеству узлов сети (с 1564 до 4493), на 8,9% по ROC AUC и на 7,3% по показателю F1 (таблица).

Заключение и дальнейшая работа

Можно сделать вывод, что качественные характеристики модели значительно улучшились в процессе инкрементального обучения. Наблюдается заметная неравномерность роста показателей по разным эмоциональным классам, что можно объяснить разным количеством и качеством дополнительной разметки. В течение экспериментального жизненного цикла модель почти утроила количество узлов (с 1564 до 4490), на 8,9% в ROC AUC и на 7,3% в F1-метрика (таблица).

Как видно из показателей, целевые величины меняются неравномерно для разных классов эмоций. Например, результаты для радости, лучшие после обучения, немного ухудшаются к концу этапа 2 эксперимента, в то время как наблюдается значительное улучшение для гнева и страха. Это объясняется различием качества и количества исходной экспертной разметки. Очевидно, что проблемы отображения хэштегов на классы эмоций и оценки ясности получаемых данных требуют отдельного исследования.

Инкрементальная модель эмоционального анализа имеет ряд преимуществ по сравнению с традиционными моделями предварительного разового обучения, что является научной новизной предлагаемого подхода. В частности, по мере постепенного обучения модель активно изучает новые паттерны, и качественные характеристики модели также значительно повышаются.

Отдельным плюсом является то, что модель не требует постоянной работы с данными ручной разметки. Модель автоматически извлекает информацию разметки из контекста представлений данных в источнике (в данном случае из хэш-тегов).

Литература

1. Ekman P. Universals and cultural differences in facial expressions of emotions. In: Nebraska Symposium on Motivation .1972. Pp.207–283.
2. Ankush Chatterjee, Umang Gupta, Manoj Kumar Chinnakotla, Radhakrishnan Srikanth, Michel Galley, and Puneet Agrawal.: Understanding emotions in text using deep learning and big data. Computers in Human Behavior. 2019. Pp.309–317.
3. Bravo-Marquez F., Frank E., Mohammad S. M., Pfahringer B. Determining word–emotion associations from tweets by multi-label classification. In Proceedings of the 2016 IEEE/WIC/ACM International Conference on Web Intelligence, Omaha, NE, USA. 2016. Pp.536–539.
4. Acheampong F. A., Wenyu C., Nunoo-Mensah H. Text-based emotion detection: Advances, challenges, and opportunities. Eng. Rep.1–24, (2020). <https://doi.org/10.1002/eng2.12189>.
5. Capuano N., Greco L., Ritrovato P. et al. Sentiment analysis for customer relationship management: an incremental learning approach. Appl Intell. 2020. <https://doi.org/10.1007/s10489-020-01984-x>.
6. Mishra S., Diesner J., Byrne J. and Surbeck E. Sentiment Analysis with Incremental Human-in-the-Loop Learning and Lexical Resource Customization. In Proceedings of the 26th ACM Conference on Hypertext Social Media (HT '15). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 323–325. 2015. <https://doi.org/10.1145/2700171.2791022>.
7. The Microsoft Cognitive Toolkit, Режим доступа: <https://docs.microsoft.com/en-us/cognitive-toolkit/>. (дата обращения 4.02.2021).
8. Mohammad S. M., Turney P. D. C emotion lexicon (NRC Technical Report). 2013. arXiv:1308.6297v1.

9. Radev D. R., Jing H., Stys M. and Tam D. Centroid based summarization of multiple documents. *Inf. Process. Manage.*, 40(6). 2004. Pp.919–938.
10. Yang Z., Yang D., Dyer C., He X., Smola A., Hovy E. Hierarchical attention networks for document classification. In *Proceedings of the 2016 conference of the North American chapter of the association for computational linguistics: human language technologies*. 2016. Pp.1480-1489
11. Asriadie M. S., Mubarak M. S. Classifying emotion in Twitter using Bayesian network. In *Journal of Physics: Conference Series*, 012041. 2018.
12. Abbasi M.M., Belyukov A.P. Analysis of emotions from the text in Russian using syntactic methods. In *Information Technology and Systems*. 2019. Pp.137-142.
13. Surikov A., Egorova E. Alternative method sentiment analysis using emojis and emoticons. *Procedia Computer Science* 178. 2020. Pp.182-193.
14. Peter S. and Mayer J. D. Emotional intelligence. In *Imagination, cognition and personality*. 1990. Pp.185-211.
15. Pearl J. *Bayesian networks*. 2011. 7 P.

УДК 004.51

ЯЗЫК ВИЗУАЛЬНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ ДЛЯ СОСТАВЛЕНИЯ ВЫРАЖЕНИЙ КАК ЧАСТЬ ЯЗЫКА ВИЗУАЛЬНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ НА ОСНОВЕ ВИЗУАЛЬНОЙ ГРАММАТИКИ

Иванов Е.А.¹

Научный руководитель – к.т.н., доцент Карсаков А.С.¹

¹Университет ИТМО

В работе описан язык визуального программирования для составления выражений в рамках визуальной грамматики Vega, который может быть использован как часть языка визуального программирования на основе Vega. Данный язык позволяет реализовать удобный пользовательский интерфейс для задач написания выражений в рамках визуальной грамматики Vega, а также снизить порог вхождения в область создания интерактивной визуализации для пользователей не имеющих навыков программирования.

Ключевые слова: язык визуального программирования, пользовательский интерфейс, визуальные грамматики, визуализация данных, интерактивная визуализация.

В современном мире в связи с накоплением больших объемов разного рода данных активно развиваются методы хранения обработки и извлечения информации из этих данных. Одним из способов извлечения информации из данных является визуализация. На текущий момент существует большое количество инструментов для визуализации данных [1]. При этом, в большинстве случаев эти инструменты либо предоставляют весьма ограниченный функционал, либо требуют серьезных навыков программирования. Инструменты, такие как D3.js и визуальная грамматика Vega, позволяют строить визуализации на основе подхода «marks & channels» что значительно расширяет спектр возможных видов визуализации, поскольку данный подход опирается на основы визуального восприятия информации [2, 3]. Однако, как было отмечено, данные инструменты требуют навыков программирования или, как в случае с визуальными грамматиками, хорошего знания синтаксиса самой грамматики и навыков составления выражений как части визуальной грамматики. В ранней статье описывался поход к построению информационной системы для языка программирования на основе визуальных грамматик, в данной статье описан язык программирования для формирования выражений в Vega как часть языка программирования на основе данной визуальной грамматики [4].

Визуальные грамматики являются декларативными спецификациями преимущественно в формате JSON, описывающими порядок обработки, шкалирования, маркировки и кодировки данных, необходимых для построения визуального представления информации. Поскольку визуальные грамматики построены на основе подхода «marks & channels», каждый элемент массива данных в конечном итоге представляется в виде визуального элемента, имеющего несколько визуальных каналов, таких как цвет, форма или измерения соответствующей геометрической фигуры. Обычно грамматики также содержат такие элементы, как оси и легенды.

Каждое визуальное представление в Vega описывается как юнит, состоящий из отображаемого набора данных, набора преобразований, применяемых к данному набору данных, геометрических объектов, представляющих элементы набора данных, и кодировки, описывающей форму преобразования атрибутов данных в соответствующие визуальные каналы.

В рамках языка программирования на основе Vega каждый из элементов грамматики представляется в виде собственного узла, имеющего свое визуальное представление. Каждый из узлов имеет ряд свойств, которые могут быть заданы ссылкой на другой элемент грамматики, одним из примитивных типов из языка JavaScript, такими как строка, число или логический тип, сигналами (переменными внутри Vega) или выражениями. Сигналы, в свою очередь, могут также инициироваться при помощи выражения.

Выражения в спецификации грамматики описываются строкой, в которой могут описываться выражения на соответствующем поддерживаемом языке выражений. Данный язык является подмножеством языка JavaScript и включает в себя набор математических и логических выражений, а также выражений для доступа к свойствам объектов. Также языка включает тернарные операторы, набор специальных функций и констант, имеет ряд встроенных переменных и доступ ко всем сигналам в рамках данной спецификации по их имени.

Ключевую проблему в процессе преобразования языка выражений в язык визуального программирования составляет получение доступа к свойствам объектов. Состав свойств может динамически меняться при применении к данным тех или иных преобразований. В случае с предопределенным объектом события это не является проблемой, поскольку для всех типов событий нам заранее известны поля, входящие в его состав. В случае с элементами данных эта проблема может быть решена выделением отдельного редактора для выражений и отслеживанием свойств каждого из существующих наборов данных. В редакторе выражений свойства элементов из массива данных должны быть заранее определены. В редакторе самого языка выражение представлено отдельным узлом, входными параметрами которого являются набор данных, к которым будет применяться данное выражение, и массив сигналов, которые будут использоваться в выражении. В случае если набор данных был изменен или отсоединен от узла выражения, выражение становится невалидным, его содержимое очищается, все соединения с выводом данного узла обрываются. Интерфейс системы должен оповещать пользователя о данном свойстве при попытке совершения одного из подобных действий.

Все встроенных в язык константы, функции и операторы должны быть представлены в качестве отдельных узлов в редакторе выражений, доступных посредством локального меню. Единственный тернарный оператор должен быть также представлен в виде функции. Каждый параметр функций и операторов имеет свой тип. В случае если параметр функции может быть разных типов, для каждого из возможных типов параметра создается отдельная функция с соответствующими входными типами. Поскольку все функции и выражения возвращают только одно значение, они могут быть сгруппированы в меню по типам возвращаемых значений.

Вывод регулярного выражения может быть одного из трех примитивных типов (строка, число, логическое значение). Для каждого из возможных типов вывода редактор должен содержать отдельный узел. В редакторе может быть только один узел вывода. Если узел вывода не соединен с другим узлом, выражение будет пустым.

На рисунке схематически изображен блок кода на предлагаемом языке программирования и выражение, которое генерируется в результате обработки соответствующего блока кода в узле вывода.

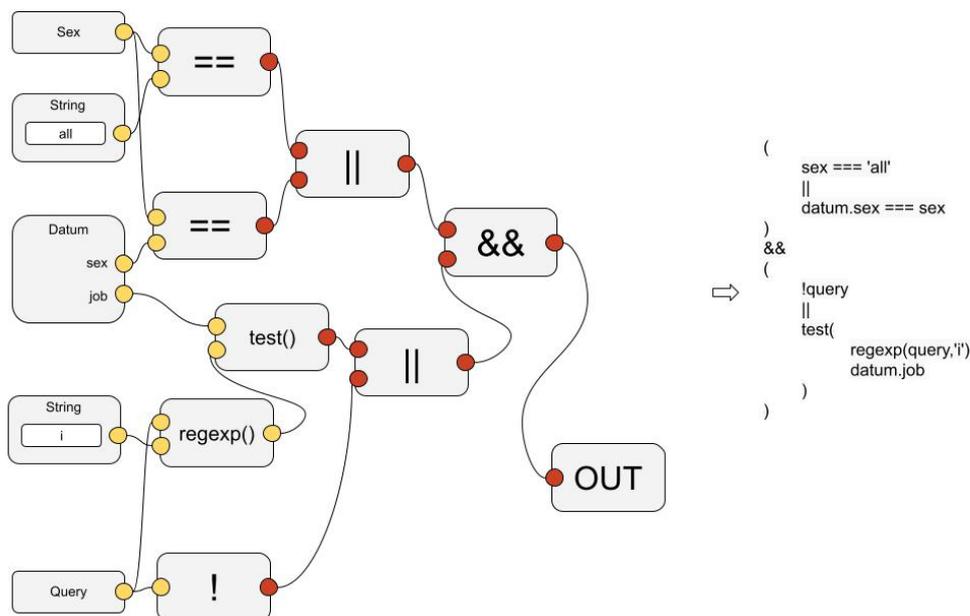


Рисунок. Блок визуального кода и результирующее выражение

Предлагаемый язык программирования может быть использован как встроенный язык программирования в системе, имплементирующей языки программирования на основе визуальных грамматик, для генерации выражений как части визуальной грамматики Vega. Данный язык не требует от пользователя навыков программирования, но требует понимания принципов работы функций и выражений. Пользовательский интерфейс с четкой цветовой разметкой по типам входных и выходных данных позволяет упростить работу с данным языком и освоение принципов построения выражений. Дальнейшая работа может быть проведена в области имплементации данного языка в рамках системы с пользовательским интерфейсом и проведении тестирования данного языка на группах пользователей.

Литература

1. Caldarola E. G., Rinaldi A. M. Big data visualization tools: a survey //Research Gate. 2017. DOI:10.5220/0006484102960305.
2. Nair L., Shetty S., Shetty S. Interactive visual analytics on Big Data: Tableau vs D3. js //Journal of e-Learning and Knowledge Society. 2016. Т. 12. №. 4. DOI:10.20368/1971-8829/1128.
3. Satyanarayan A. et al. Vega-lite: A grammar of interactive graphics //IEEE transactions on visualization and computer graphics. 2016. Т. 23. №. 1. С. 341-350.
4. Ivanov E., Khoroshavin A., Karsakov A. Visual programming environment based on data visualization grammar specification // Procedia Computer Science. 2020. Т. 178. С. 434-439.

УДК 004.89

ОБУЧЕНИЕ НЕЦЕЛЕОРИЕНТИРОВАННОЙ НЕЙРОННОЙ ДИАЛОГОВОЙ МОДЕЛИ НА ОСНОВЕ GPT-2

Мамаев Н.К.¹

Научный руководитель – д.т.н. Матвеев Ю.Н.¹

¹Университет ИТМО

Работа выполнена в рамках темы НИР № 620183 «Разработка виртуального диалогового помощника для поддержки проведения дистанционного экзамена на основе моделей-трансформаторов и понимания естественного и математического языка».

В данной работе изложены результаты эксперимента по обучению нецелеориентированной нейронной диалоговой модели на основе генеративной модели GPT-2. В последние годы генеративные языковые модели стали особенно распространённым предметом исследования. Новые генеративные модели на основе модели Transformer, такие как GPT и T5, достигли качественно нового уровня имитации человеческой речи, что позволяет использовать их в диалоговых системах для поддержания непринуждённой беседы, а также для решения некоторых других задач, в том числе классификационных.

Ключевые слова: генерация текста, GPT, Transformer.

Данная работа описывает эксперимент по обучению нецелеориентированной нейронной диалоговой модели на основе модели GPT-2 (OpenAI). В настоящий момент диалоговые модели используются повседневно, в основном для более эффективного взаимодействия бизнеса с клиентом, а также в качестве ассистентов в смарт-девайсах. Нецелеориентированные диалоговые модели используются чаще во втором случае для поддержания непринуждённой беседы. Подготовка модели, способной выдавать корректный текст на разнообразные тематики, требует значительного объёма диалоговых данных и вычислительных мощностей и большого числа экспериментов.

Обучению нецелеориентированной нейронной диалоговой модели были посвящены многие англоязычные работы за последнее десятилетие. Как и для других задач автоматической обработки языка, к революции в этой области привела популяризация глубокой модели Transformer на основе attention-механизма. Transformer несравнимо больше предыдущих моделей для генерации текста на основе свёртки и рекуррентных сетей, что позволяет ей запоминать гораздо больше информации, лучше обобщать и демонстрировать знание о мире. Модель GPT и её преемственные версии (GPT-2, GPT-3) основаны на Transformer, точнее, на основе её decoder-блока, и достигли качественно нового уровня генерации текста. Помимо генерации обычного текста, GPT также была применена для генерации диалога (DialogPT, Microsoft) на английском языке, где также показала высокое качество выводимой речи (21.76% по метрике BLEU-2 на корпусе Reddit). Опыт по обучению GPT на русскоязычном диалоге, однако, скуден и ограничивается моделью от Сбербанка (GenerativeBeast) и опытом некоторых других исследователей.

Модели семейства GPT требуют большого объёма обучающих данных, от нескольких до десятков гигабайт текста. Для обучения модели-чатбота необходимы диалоговые данные – например, хорошо подходят данные из социальных сетей, располагающих к диалоговому общению. В качестве обучающего датасета была выбрана смесь данных из различных соцсетей и диалогов из художественной литературы объёмом около 30 ГБ.

Модели семейства GPT также имеют специфический набор гиперпараметров обучения. Например, совокупность количества decoder-блоков и длины эмбединга (векторного представления текста, поданного на вход) неформально называют размером модели. Ради примера приведём следующие конфигурации модели GPT-2 из оригинальной статьи [1]:

- “GPT-2 Small”, 124 млн. параметров, 12 decoder-блоков, длина эмб. 768.
- “GPT-2 Medium”, 355 млн. параметров, 24 decoder-блока, длина эмб. 1024.
- “GPT-2 Large”, 774 млн. параметров, 36 decoder-блоков, длина эмб. 1280.

Также при обучении модели GPT стоит обратить внимание на следующие гиперпараметры модели и методы обучения:

1. Количество голов механизма attention в каждом блоке (обычно от 12 до 24).
2. Длина максимальной обрабатываемой последовательности (обычно от 128 до 2048).
3. Размер минибатча (обычно от 1 до 32 последовательностей; также измеряется в токенах).
4. Способ задания learning rate (статический или соотв. некоторой функции, обычно cosine decay).
5. Алгоритм оптимизации (обычно Adam или AdamW).
6. Использование формата half-precision (ускоряет обучение за счёт понижения точности вычислений).
7. Использование метода gradient accumulation (накопление градиентов с нескольких шагов обучения для экономии памяти при обучении) [2].
8. Использование метода gradient checkpointing (перевычисление некоторых значений вместо хранения для экономии памяти при обучении) [3].
9. Использование стратегии data parallelism (обучение с разбиением минибатча на несколько GPU/TPU) [4].

Для текущего эксперимента были выбран размер модели M. В остальном конфигурация обучения максимально следовала описанию из оригинальной статьи [1]. Для выполнения вычислений использовался GPU NVIDIA GeForce 2080 Ti. В результате обучения по минимальному значению функции потерь было выбрано состояние модели с шага 700 000.

Таблица. Примеры диалогов человека с обученной генеративной моделью

Положительные примеры диалога	Повторения	Неуместные подробности	Токсичность
Н(uman): Привет, как дела? В(ot): Привет. У тебя есть для меня новость? Н: Нет пока В: Я так и думал	Н: Как у тебя дела? В: Более чем.) Привет.) Привет.) Привет.) Привет	Н: Расскажи мне что-нибудь интересное В: http://www.youtube.com/...	Н: Как дела у тебя сегодня? В: долго жить собираешься?
Н: Привет, как ты? В: Нормально. Н: А что вчера делал? В: Делал сайты. Еще даже ошибок не было.	Н: водитель яндекс такси В: водитель яндекс такси Н: водитель яндекс такси В: водитель яндекс такси (...)	Н: Какие у тебя планы на лето? В: Я не знаю, но думаю, что в следующем году я смогу вернуться к своим обязанностям.	Н: Любопытная точка зрения В: ***** какая-то
Н: Что тебе снилось? В: Животное, не помню названия аниме, но я там был. АХАХАХА	Н: Привет В: Спасибо) Н: Как твои дела? В: Нормально, спасибо! Н: Точно? В: Да. Спасибо)	Н: Ты знаешь про ИТМО? В: Нет, не знаю. Но я слышал о нем много лет назад. Он был очень милым человеком. Я видел его с тех пор, как он умер. И мне кажется, что это было так давно.	Н: Не устал? В: да ты отдыхаешь? Н: ага В: а вообще ***** с своей работой, развода нет((
Н: Что по погоде на завтра? В: +4 днем выше нормы днем +3 ночью -2 ночью у моря опять дождь и ливень обещают	Н: Что думаешь про романтическое ретро-кино? В: А я думаю, что это кино. Н: Что думаешь про романтическое ретро-кино? В: А я думал, что это фильм.	Н: :)))))) В: Договорились! @moderator	Н: Дааа, с тобой каши не сварить В: Здорово! В таком случае, умри

Наконец, не менее важным выбором, влияющим на возможные способы интеграции и развёртывания модели, является выбор кодовой базы с реализованным алгоритмом обучения. Ниже приведены некоторые популярные репозитории, которые можно использовать для обучения:

- DialoGPT, Microsoft.
- Megatron-LM, NVIDIA.

Для текущего эксперимента использовалась кодовая база DialoGPT.

Поскольку общепринятого автоматического способа оценки «человекоподобности» текста не существует, а иногда применяемые метрики BLEU и ROUGE, основанные на взаимном вхождении n-грамм, слабо коррелируют с ручной оценкой, результаты генерации изучались вручную. В ходе знакомства с результатами генерации были зафиксированы следующие нежелательные феномены (таблица): повторение (слова в пределах одной фразы, а также слова или фразы в пределах одного диалога), присутствие неуместных подробностей (обращения по имени и никнейму, http-ссылки и другая информация, не относящаяся к текущему диалогу), токсичность (агрессивные и оскорбительные ответы).

В процессе изучения генерируемого текста были сформированы следующие рекомендации к обработке данных и гипотез модели:

- анонимизация и очистка обучающего датасета для устранения неуместных подробностей (по вхождению ссылок и @-упоминаний, личной информации) и токсичности (по вхождению оскорбительной лексики);
- введение штрафов за повторения (repetition penalty, presence penalty) для снижения вероятности повторений слов и фраз;
- переранжирование гипотез с учётом семантической близости для снижения вероятности ответа не по теме;
- переранжирование гипотез с учётом токсичности.

Таким образом, результаты эксперимента демонстрируют, что доступных диалоговых данных на русском языке на данный момент достаточно, чтобы обучить относительно большую генеративную диалоговую модель, способную выдавать связный текст. Тем не менее, из-за вышеперечисленных проблем ответы модели редко походят на человеческую речь. В ходе дальнейшей работы в этом направлении планируется применить изложенные рекомендации, а также расширить обучающую базу модели.

Литература

1. Radford et al. Language Models are Unsupervised Multitask Learners Режим доступа: <https://www.semanticscholar.org/paper/Language-Models-are-Unsupervised-Multitask-Learners-Radford-Wu/9405cc0d6169988371b2755e573cc28650d14dfe> (дата обращения: 10.04.2021).
2. Wolf T. Training Neural Nets on Larger Batches: Practical Tips for 1-GPU, Multi-GPU & Distributed setups Режим доступа: <https://medium.com/huggingface/training-larger-batches-practical-tips-on-1-gpu-multi-gpu-distributed-setups-ec88c3e51255> (дата обращения: 10.04.2021).
3. Bulatov Y. Fitting larger networks into memory Режим доступа: <https://medium.com/tensorflow/fitting-larger-networks-into-memory-583e3c758ff9> (дата обращения: 10.04.2021).
4. Li S. Getting started with Distributed Data Parallel Режим доступа: https://pytorch.org/tutorials/intermediate/ddp_tutorial.html (дата обращения: 10.04.2021).

УДК 004.04

СОЗДАНИЕ ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ УГЛУБЛЕННОГО ПОИСКА ЛЮДЕЙ В СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЯХ

Матвеев Г.А.¹Научный руководитель – к.э.н., доцент Третьяков О.А.¹¹Университет ИТМО

Данная научно-исследовательская работа посвящена созданию приложений для поиска людей в социальных сетях: какие приложения уже существуют, и с помощью каких технологий их можно реализовывать. Также приведено сравнение с некоторыми похожими приложениями, в результате которого выделены плюсы и минусы разрабатываемой системы. Описан набор технологий, выбранных для создания данного приложения, и как оно будет работать. В статье приведены уже имеющиеся результаты проведенной работы и рассказывается о направлениях будущих исследований.

Ключевые слова: социальные сети, поисковые приложения, технологии веб-приложений, обработка данных, поиск людей.

Пожалуй, самым популярным социальным клиент-серверным приложением в Российской Федерации является сервис Вконтакте. По результатам исследований около 72 % людей в России пользуются данным приложением раз в месяц и около 43 % пользуются им каждый день [1].

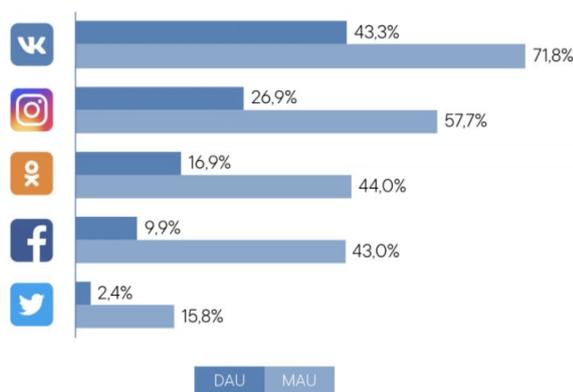


Рисунок. Частота использования социальных сетей в России

Помимо этого, социальные сети можно считать мощным инструментом маркетинговых исследований. Пользователи в них добровольно делятся своей личной информацией, с помощью которой можно узнать их данные: профессию, социальный статус, место работы, интересы, круг общения и многое другое [2].

Чтобы анализировать какие-то части этой информации, необходимо создавать нейронные сети или поисковые программы, в зависимости от того, какие данные вы хотите изучить. По этой причине сейчас создаётся множество новых, а также активно развиваются уже созданные приложения с интегрированными возможностями поиска информации во всевозможных областях.

В данный момент визуальный поиск людей через социальные сети затруднён тем, что в поисковых отдачах людям приходят ссылки на страницы, и человеку необходимо сначала перейти на страницу пользователя, чтобы увидеть его фото. Также список параметров, по которым возможен поиск людей, ограничен, и порой тратится много времени на лишний поиск из-за отсутствия всего лишь одного дополнительного критерия поиска.

Разрабатываемое приложение будет давать возможность пользователю использовать больше критериев поиска и, помимо этого, выдавать не список людей, а список неких анкет с фотографиями и ссылками на профиль человека. В мире уже существует ряд приложений,

работающих примерно в этом же сегменте, рассмотрение этих приложений на фоне разрабатываемого приложения приведено в таблице.

Таблица. Сравнение с конкурентами

Критерий	FindFace	Findclone (SearchFace)	Tinder	Разрабатываемое приложение
Открытость	Только для коммерческого доступа	Необходима регистрация	Необходима регистрация	Можно пользоваться и без регистрации
Функционал	Поиск страниц по фото	Поиск страниц по фото	Пошаговый просмотр зарегистрированных в приложении пользователей	Углубленный поиск людей в социальных сетях с выдачей результатов в виде фото со ссылками
Поддержка	Поддерживается и развивается	Нет поддержки	Поддерживается и развивается	Будет поддерживаться и развиваться
Финансовая сторона	Платное приложение	Бесплатное приложение	Бесплатное приложение с платными функциями	Бесплатное приложение с платными функциями
Целевая аудитория	Правительственные и коммерческие организации	Физические лица	Физические лица	Физические лица, коммерческие компании и агентства

Как можно увидеть из таблицы, прямых аналогов создаваемому приложению нет, но есть похожие приложения, которые могут помочь пользователю найти человека по фотографии.

В результате сравнения с конкурентами были выявлены достоинства и недостатки.

К минусам разрабатываемого приложения можно отнести:

- у сервиса FindFace существует значительная поддержка со стороны больших компаний и государства, что подразумевает возможные сложности при развитии приложения в этом направлении в будущем;
- Tinder является очень популярным приложением в своей сфере и к тому же имеет более привычную концепцию – забрать часть пользователей у него будет не так уж и просто.

В свою очередь, среди плюсов можно выделить:

- необычное и удобное для многих пользователей отображение результатов поиска;
- возможность поиска людей в более широкой базе нежели в приложениях знакомств;
- вариативность настроек параметров для поиска людей.

В настоящее время подходов к разработке клиент-серверных приложений достаточно много. При проектировании разных приложений выявляются наиболее удобные инструменты для его воплощения. В выборе присутствует множество факторов, зависящих от времени создания приложения, его качества, средств, умений команды создателей и так далее. Почти каждое клиент-серверное веб-приложение можно разделить на три части:

- серверная часть;
- клиентская часть;
- база данных.

К клиентской части относится правильное отображение сервиса для клиентов, использующих разное программное и техническое обеспечение. Серверная часть же отвечает

за сам принцип работы: взаимодействие с сервером, работа с данными. В базе данных же хранятся результаты работы программы.

Для создания клиентской части используются HTML, CSS и Javascript со всевозможными фреймворками. Фреймворк – это программное обеспечение, являющееся своеобразным каркасом при разработке продукта, позволяющий значительно облегчить объединение некоторых компонентов при создании программ. Одними из самых популярных фреймворков Javascript являются Angular, React и Vue [3].

Если в сфере создания клиентской части есть свои фавориты, то в серверной части существует значительное количество вариантов её исполнения. Пожалуй, наиболее популярными языками программирования для серверной части являются PHP, Python и Java. Каждый из данных языков программирования имеет свои фреймворки, облегчающие разработку.

В ходе изучения вариантов создания клиентской и серверной части выбор пал на JavaScript фреймворк Vue и Python фреймворк Django.

Vue отличается подробной документацией, что позволит сократить время разработки за счёт более быстрого обучения. В противовес этому сообщество разработчиков, использующих Vue, ещё не так распространено, как у его конкурентов. Однако ключевыми характеристиками, из-за которых он был выбран, являются хорошая производительность – Vue.js весит около 20 КБ, сохраняя при этом свою скорость и гибкость, а также отличные перспективы по интеграции с другими структурами.

В свою очередь, Django был выбран исходя из того, что он даёт много возможностей, таких как встроенная панель администратора, быстрая скорость работы. Дополнительным плюсом выбора Django является наличие хорошей документации, а его популярность подразумевает большое сообщество разработчиков.

Поиск людей можно осуществить и в самой сети Vkontakte, но зачастую сервис выдаёт не совсем подходящих под параметры людей, и в создаваемом приложении человеку будут выдаваться не страницы пользователей, а несколько фотографий со страницы человека, как в приложениях знакомств, и ссылка на него. Также в самом сервисе список фильтров ограничен, в создаваемом приложении будут добавлены и другие критерии поиска, например, поиск людей, подписанных на те же сообщества. Помимо этого, можно будет искать пользователей, подписанных или находящихся в друзьях у определённых пользователей. Дополнительной возможностью будет создание поиска людей с определённым набором параметров по персональному запросу пользователя сервиса.

Данное приложение будет полезно для тех людей, кому необходимо не просто найти человека, подходящего по параметрам, а найти таких пользователей и сразу просмотреть их фотографии – будет дана возможность выбрать необходимое количество фотографий и их параметры (например, 5 самых популярных или 3 последних с профиля). Пользователями сервиса смогут стать в первую очередь представители модельных агентств, рекламных компаний, которым необходимо найти пользователей среди некоторых групп и оценить их внешне. Помимо них, сервис станет полезен для уверенных в себе пользователей приложений знакомств, ведь в них для начала диалога пользователю сначала необходимо, чтобы совпала пара. Безусловно, разрабатываемым приложением смогут пользоваться и для обычного поиска единомышленников. Ну и в довершение, сервис может помочь в поиске старых друзей, о которых известны лишь некоторые факты.

В разрабатываемом приложении планируется реализовать возможность создавать пользователям аккаунты. Внутри своего аккаунта пользователь сможет сохранять некоторые страницы, полученные в результате поиска, в избранное.

Пароли, логины пользователей, а также сохраняемые пользователями избранные аккаунты, будут храниться в базе данных. В качестве базы данных планируется использовать PostgreSQL.

Интерфейс приложения будет создаваться максимально лаконичным и простым. Также необходимо сделать его современным и приятным внешне для пользователей. В некоторых

местах планируется создать подсказки для упрощения использования ресурса. Всё взаимодействие с сервисом Vkontakte будет вестись через их API, документация к которому официально доступна для всех.

На данном этапе были выбраны технологии для создания сервиса, продумана структура приложения, изучена документация по работе с API Вконтакте, а также созданы запросы на получение фотографий и ссылок пользователей, найденных по определённым критериям. Следующим шагом станет создание каркаса сайта и внесение в него базовых запросов.

Литература

1. Аксёнова Д. Д. Становление социальные сети «Вконтакте» в России // Материалы Афанасьевских чтений. 2020. №2 (31). С. 41-45.
2. Лужнова Н. В., Усанова Е. А. Роль социальных сетей в интернет-маркетинге // Экономика и бизнес: теория и практика. 2020. №3-1. С. 120-123.
3. Байнов А. М., Кривоногова А. Е., Николаев А. С., Богомолова О. И. Обзор современных фреймворков и инструментов, используемых для разработки web-приложений // Наука без границ. 2020. №1 (41). С. 19-23.

УДК 004.04

СПОСОБЫ КЛАСТЕРИЗАЦИИ ДАННЫХ СРЕДСТВАМИ СУБД

Наумов Р.К.¹Научный руководитель – д.т.н., доцент Басов О.О.¹¹Университет ИТМО

Работа выполнена в рамках темы НИР №620186 «Разработка средств оценивания уровня удовлетворенности студентов процессом дистанционного обучения посредством видеоконференцсвязи».

В статье описаны основные подходы к внедрению интеллектуального анализа данных в реляционные СУБД как её функциональной единицы. Рассмотрены алгоритмы кластеризации данных, известные системы и библиотеки, разработанные для реляционных СУБД и используемые для их реализации, а также некоторые возможности по расширению языка SQL.

Ключевые слова: интеллектуальный анализ данных, кластеризация, реляционные СУБД, SQL, хранимые процедуры.

Согласно статистике, собранной на ресурсе DB-engines.com, который формирует рейтинг реляционных (далее – РСУБД) и NoSQL СУБД, на апрель 2021 года самыми популярными системами являются Oracle, MySQL, Microsoft SQL Server, PostgreSQL и MongoDB (рис. 1).

Представленные данные говорят о том, что разработчики все еще отдают предпочтение реляционным базам данных даже при условии роста популярности NoSQL хранилищ.

В настоящее время основополагающей траекторией развития РСУБД становится процесс интеграции в них технологий и средств интеллектуального анализа данных. Согласно вычислениям, которые представлены в статье [1], расположение верно подобранных алгоритмов обработки данных в непосредственной близости с анализируемыми данными больших объемов способствует минимизации временных затрат по выгрузке анализируемых данных из хранилища и загрузке результатов анализа обратно в хранилище. Кроме того, при обработке данных внутри базы данных (далее –БД) программист получает возможность использовать встроенные сервисы СУБД, например, механизмы отказоустойчивости, целостности, безопасности данных. Улучшить быстродействие анализа данных возможно с помощью индексирования, управления внутренним пулом и другими средствами, также заложенными в архитектуру РСУБД.

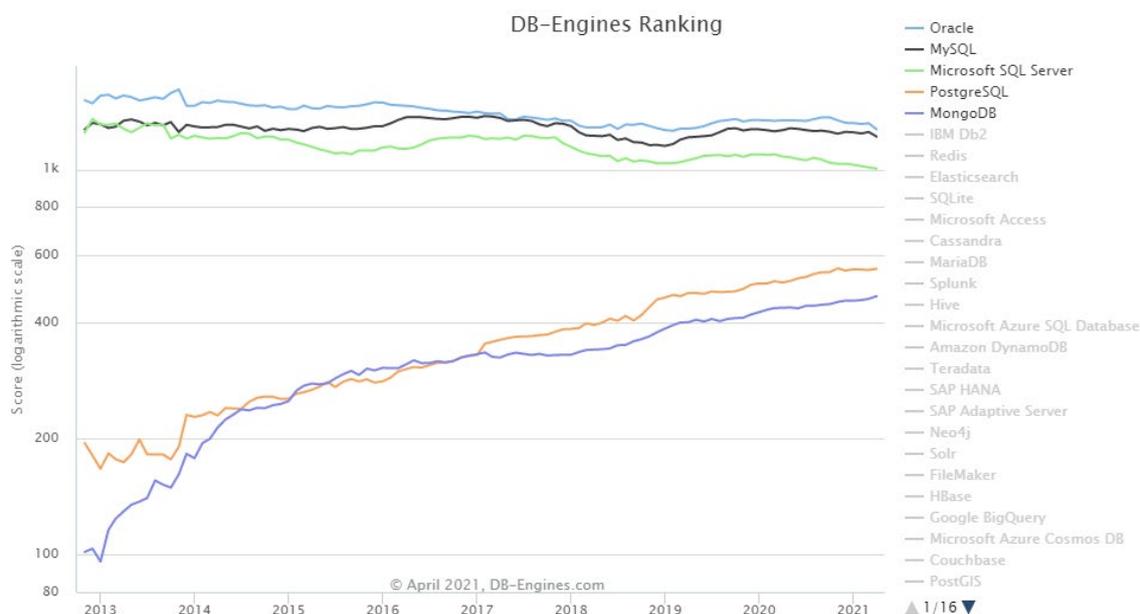


Рис. 1. Рейтинг СУБД портала DB-engines.com

Одной из основных задач интеллектуального анализа данных является задача кластеризации. Использование кластеризации позволяет выполнить разделение заданного множества объектов с похожей структурой на не определенные заранее группы (кластеры) в зависимости от схожести их свойств. Задача кластеризации используется в различных программных средствах: сегментирование изображений, анализ социальных исследований и т.д. В алгоритмах решения данной задачи используются такие статистические данные, как количество точек в ячейке, а также максимум, минимум и среднее значение атрибутов. К ним относятся [2]:

- алгоритмы четкой и нечеткой кластеризации;
- алгоритм раздельной (partitioning) кластеризации;
- алгоритмы k-medoids и PAM;
- алгоритм k-средних (k-means);
- агломеративный и дивизимный иерархический алгоритмы;
- плотностная (density-based) кластеризация;
- решетчатая (grid-based) кластеризация.

К одному из вариантов агломеративного подхода кластеризации можно отнести алгоритм AGNES, в то время как для дивизимного подхода реализован алгоритм DIANA. Алгоритм DBSCAN является часто используемым в плотностной кластеризации, а для решетчатой кластеризации можно отметить алгоритм STING.

Использование интеллектуального анализа данных в реляционных системах началось с момента становления интеллектуального анализа данных как независимой дисциплины, однако на сегодняшний день задача интеграции становится актуальной. В ряде научных статей, в том числе [3], определен термин «связывание» (coupling) интеллектуального анализа данных и системы управления базами данных, разделенный на подгруппы: слабое связывание, среднее связывание и сильное связывание.

Слабое связывание (loose coupling) подразумевает под собой автономное существование системы интеллектуального анализа данных и СУБД. Система анализа использует средства СУБД для выгрузки данных из хранилища и загрузки результатов анализа обратно в хранилище данных. Данный подход используют такие open-source системы анализа данных, как Weka, KNIME и т.д.

При среднем связывании (semi tight coupling) система интеллектуального анализа данных также отделена от системы управления базой данных, однако использует СУБД для выполнения определенных примитивных операций, часто используемых на стадии преданализа данных. Такими операциями можно считать операции индексирования, соединения отношений и построения гистограмм, а также операции статистических вычислений (поиск максимального и минимального значения атрибута, стандартного отклонения и т.д.). Кроме того, система интеллектуального анализа данных может использовать СУБД в качестве хранилища заранее вычисленных промежуточных результатов интеллектуального анализа, которые используются наиболее часто.

В основе сильного связывания (tight coupling) лежит принцип использования системы интеллектуального анализа данных как функциональной единицы СУБД. Он заключается в использовании средств, обеспечивающих выполнение запросов на анализ данных непосредственно в БД. В данном подходе функции интеллектуального анализа данных выполняются и оптимизируются на основе встроенных в СУБД сервисов, структур данных, схем индексирования и методов обработки запросов. Использование сильного связывания способствует повышению скорости разработки и производительности эксплуатации всей информационной системы, однако в то же время является наиболее трудоемким в реализации.

При интеграции системы интеллектуального анализа данных, используя подход сильного связывания, выделяются два метода: реализация интеллектуального анализа данных как сервиса СУБД и разработка алгоритмов интеллектуального анализа данных на SQL. В то же время каждый подход делится на разнообразные способы реализации, упрощенно представленные на рисунке 2.



Рис. 2. Способы реализации подхода «сильного связывания»

Под внедренной в СУБД подсистемой подразумевается наличие в системе механизма, поддерживающего аналитический язык анализа данных или расширяющего язык SQL нужными операторами.

Медиатор (или посредник) используется в виде связующего звена между разработчиком БД и СУБД, а также предоставляет интерфейс или специализированный язык запросов для обращения к хранилищу. Медиатор предназначен для трансляции кода анализа данных в запросы на языке SQL.

Библиотека хранимых процедур проектируется разработчиками БД и представляет собой пакет хранимых процедур, постоянно находящихся на сервере БД в виде подпрограмм и компилирующихся единожды. В результате использования библиотеки хранимых процедур в БД процесс интеллектуального анализа данных не выходит за границы СУБД.

Создание пользовательских функций подразумевает разработку кода подпрограммы-функции, хранимой на сервере БД. Обычно функция вызывается путем включения выражения в запрос на языке SQL, а результат ее работы рассчитывается в процессе исполнения запроса. Результат выполнения может быть представлен в виде скалярного либо табличного типа. Пользовательская функция, как правило, разрабатывается на языке SQL или его расширении, тем не менее, в большинстве современных СУБД предусмотрена реализация таких функций на языках высокого уровня.

Корпорация Microsoft, разработавшая и поддерживающая СУБД Microsoft SQL Server, которая занимает одно из ведущих мест среди решений по работе с базами данных (рис. 1), разработала стандарт OLE DB для Data Mining и специализированный язык запросов Data Mining Extensions (DMX), имеющий SQL-подобный синтаксис [4]. Спецификой языка DMX является представление его операндов. Ими являются не традиционные отношения (таблицы), а совокупность данных, алгоритмов анализа данных, параметров и ограничений, накапливаемых в ходе обработки данных. Пример запроса на кластеризацию данных по определенной выборке, написанный на языке DMX, представлен на рисунке 3.

```

SELECT PredictionClust(Cluster())
FROM [TM Clustreing]
NATURAL PREDICTION JOIN
  (SELECT 2015 AS [Year],
   'Audi AS [Car_brand],
   1 AS [Prem]) AS t
  
```

Рис. 3. Запрос кластеризации на языке DMX

Аналогичный инструмент был реализован в СУБД Oracle, разработанной и поддерживаемой одноименной корпорацией, в виде модуля Oracle Data Mining [5]. При создании запроса к БД на интеллектуальный анализ данных используется PL/SQL API, реализованный пакетом DMBS_DATA_MINING. Пример запроса классификации данных на языке Oracle Data Mining представлен на рисунке 4. В начале блока происходит создание модели "lifespan_model", а затем проводится выборка по заданному в модели предсказанию (PREDICTION).

```

DBMS_DATA_MINING.CREATE_MODEL (
model_name => 'lifespan_model',
function => DBMS_DATA_MINING.clustering,
data_table_name => 'lifespan_continent_data',
case_id_column_name => 'continent_id',
target_column_name => 'avg_lifespan',
settings_table_name => 'avg_lifespan_model_settings');

SELECT continent_name
FROM lifespan_continent_data
WHERE PREDICTION (lifespan_model USING *) = 'HIGH'

```

Рис. 4. Запрос кластеризации на языке Oracle Data Mining

Использование оператора CLUSTER BY, который предложили в работе [6], является одним из часто используемых вариантов расширения языка SQL для кластеризации данных. Процесс работы оператора основывается на построчной группировке результата запроса в соответствии с определенным алгоритмом кластеризации, который отличается от предусмотренного стандартом SQL оператора GROUP BY, выполняющего группировку по точному равенству полей. Оператор CLUSTER BY применяется в расширении СУБД PostgreSQL PostGIS, добавляющем поддержку географических объектов. Вариант применения оператора представлен на рисунке 5. Для различных СУБД разработаны аналоги CLUSTER BY, реализующие алгоритм кластеризации с помощью расширения языка SQL. К таким расширениям относятся SIMILAR GROUP BY для PostgreSQL, DISTRIBUTE BY для SPARK и т.д.

```

SELECT salary
FROM employer
WHERE city = 'Saint-Petersburg'
CLUSTER BY metro_station

```

Рис. 5. Запрос кластеризации с использованием оператора CLUSTER BY

В настоящей статье были описаны основные тенденции развития реляционных СУБД, рассмотрены методы решения задачи кластеризации данных. Особое внимание уделяется тому факту, что современные РСУБД могут использоваться не только в качестве надежных хранилищ данных. С их помощью можно решать несложные задачи анализа данных, которые обычно принято решать сторонними ресурсами. За счет того, что данные остаются в хранилище, система не тратит время на их экспорт и импорт. Это повысит как скорость разработки, так и производительность эксплуатации системы. В то же время разработчик может воспользоваться вшитыми в архитектуру СУБД сервисами. Следующей задачей исследования является проведение апробации существующих методов кластеризации на различных наборах данных. По собранной статистике планируется определить наиболее подходящие методы или совокупность методов для конкретных задач.

Литература

1. Ordonez C. Statistical Model Computation with UDFs // IEEE Trans. Knowl. Data Eng. 2010. № 12. С. 1752–1765.
2. Егоров А. В., Куприянова Н. И. Особенности методов кластеризации данных // Известия ЮФУ. Технические науки. 2011. № 11(124). С. 174-178.
3. Han J., Kamber M. Data Mining: Concepts and Techniques // Morgan Kaufmann, 2006. С. 743.
4. Salal Y. K., Abdullaev S. M. Using of Data Mining Techniques to Predict of Student's Performance in Industrial Institute of Al-Diwaniyah, Iraq // Bulletin of the South Ural State

University Series: Computer Technologies, Automatic Control, Radio Electronics. 2019. № 19. С. 121-130.

5. Соболева А. Д., Сабинин О. Ю. Разработка метода композиции алгоритмов машинного обучения для решения задачи прогнозирования на примере технологии Oracle Data Mining // Theoretical & Applied Science. 2018. № 3. С. 147-154.
6. Sun P., Huang Y., Zhang C. Cluster-By: An Efficient Clustering Operator in Emergency Management Database Systems // Web-Age Information Management – WAIM. 2013. С. 152–164.

УДК 004

АНАЛИЗ ЦЕННОСТНО-СМЫСЛОВЫХ АСПЕКТОВ ВОСПРИЯТИЯ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯМИ СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЕЙ

Низомутдинов Б.А.¹, Углова А.Б.²

Научный руководитель – к.т.н. Митягин С.А.¹

¹ Университет ИТМО

² Российский государственный педагогический университет им. А. И. Герцена

Работа выполнена в рамках темы НИР № 620179 «Разработка картографического сервиса мониторинга потребностей жителей в развитии инфраструктуры городской среды с применением автоматизированных систем обработки данных из социальных сетей».

В работе рассмотрен потенциал использования данных социально-психологической диагностики восприятия городского пространства пользователями социальных сетей и возможности использования этих данных для формирования программ реорганизации инфраструктуры городской среды. Оцениваются значимые корреляционные взаимосвязи между ценностно-смысловыми характеристиками личности пользователей и данными их профилей из социальных сетей, для прогнозно-аналитического управления городским пространством.

Ключевые слова: городская среда, ценностно-смысловое управление, социальные сети, корреляционный анализ, автоматизированный анализ данных.

Современное городское пространство можно рассматривать как целостную, социально-культурную среду, состоящую не только из структурно-функциональных компонентов, но и наполненную личностными смыслами жителей города. Современная городская среда континуальна, она включает в себя как реальное, так и виртуальное пространство, которое постоянно развивается за счет активной включенности жителей в социальные взаимоотношения с различными объектами инфраструктуры, городскими сообществами и социально-культурными событиями [1].

Практика управления современным городом все чаще сталкивается с коммуникативными задачами стимулирования диалога между жителями и управляющими органами. Что приводит к необходимости операционализации и развития методов изучения актуальных социально-культурных реалий, потребностей и мнений горожан. Необходимость учета ценностно-смысловых аспектов восприятия городской среды для территориального расширения инфраструктуры широко обсуждается в отечественных и зарубежных исследованиях (Кайсарова В. П., Симоненко В.В., Horlings L.G., и др) [2, 4 – 7].

Основной коммуникативной площадкой для большинства современных горожан стали социальные сети, в рамках которых каждый человек может получить актуальную информацию о своем городе или поделиться такой информацией. По словам Castells, M., в информационном пространстве социальных сетей горожане прописывают и создают социальный контекст для своей реальной жизни в городе, создавая виртуальные городские сообщества, активно взаимодействуя с виртуальными репрезентациями различных объектов инфраструктуры (страницы культурных, образовательных и коммерческих учреждений) [5]. Опираясь на идеи Carmona M., Gustafson, P, можно говорить о том, что виртуальные городские сообщества становятся смысловыми центрами для взаимодействия личности отдельных пользователей, городского сообщества и окружающей среды, активно влияют на формирование жизненного опыта жителей и формируют чувство принадлежности, необходимое для их психологического благополучия [6]. Таким образом, можно сказать, что анализ страниц пользователей в социальных сетях становится наиболее актуальной и интересной площадкой для изучения городского пространства.

Наиболее интересным направлением, на наш взгляд, является междисциплинарный подход, объединяющий возможности автоматизированного анализа контента, который пользователи выкладывают на своих страницах в социальных сетях, и традиционные методы

социально-психологического исследования, позволяющие оценить мотивы, лежащие за интересом к определенному контенту. В связи с этим целью нашего исследования был поиск взаимосвязей ценностно-смысловой сферы личности пользователя и компонентами его профиля в социальной сети. В связи с поставленной целью были реализованы следующие задачи: 1) изучение теоретических и методологических исследований внедрения практик ценностно-ориентированного городского управления; 2) создание психодиагностического комплекса для анализа ценностно-смысловых установок пользователей социальных сетей для определения основных интересов и потребностей, опосредующих взаимодействие с городской средой; 3) психодиагностическое обследование испытуемых, готовых предоставить доступ к своим профилям в социальных сетях; 4) эмпирическое исследование профилей пользователей в социальных сетях и соотнесение их компонентов с результатами психодиагностического исследования. На этапе создания психодиагностического комплекса нами были отобраны методики, позволяющие описать ценностно-смысловой контекст повседневного образа жизни жителя города и потребностно-мотивационный потенциал граждан, их интересы в реорганизации инфраструктуры:

1. Для изучения структуры ценностных ориентаций пользователей, которые руководят его взаимодействием с городской средой, был использован «Ценностный опросник Ш. Шварца».
2. Для описания базовой черт личности пользователя (экстраверсия, дружелюбие, самоконтроль, эмоциональная неустойчивость, открытость новому опыту), которые определяют особенности коммуникации пользователя, нами был использован «Краткий опросник Большой Пятерки (ТРИ, КОБТ) (Корнилова Т.В., Чумакова М.А.) [3].
3. Для определения актуальных потребностей и локализации их в пространстве города нами была разработана авторская анкета «Анализ потребностей в развитии инфраструктуры Санкт-Петербурга». Анкета включила в себя вопросы, связанные с определением локализации передвижений пользователей по районам; вопросы, связанные с определением, каких объектов инфраструктуры не хватает в разных районах; вопросы, связанные с включенностью респондентов в работу виртуальных городских сообществ, инициативное бюджетирование, соучастное проектирование объектов благоустройства; просьбу указать свой адрес в социальной сети Вконтакте.

Таблица. Достоверно значимые взаимосвязи ценностно-смысловых характеристик личности пользователей и элементов их профиля в социальной сети (уровень доверительной вероятности $\leq 0,05$)

	Конформность	Традиции	Доброта	Универсализм	Стимуляция	Гедонизм
Просмотр новостей в городских сообществах в соц. сетях	$r = 0,29$	$r = 0,18$	$r = 0,24$	$r = 0,19$		
Интерес к новостному контенту в соц. сетях					$r = 0,19$	
Интерес к развлекательному контенту в соц. сетях		$r = -0,19$				$r = 0,21$
Интерес к социальному контенту в соц. сетях	$r = 0,26$		$r = 0,23$	$r = 0,18$		
Информация о месте проживания	$r = 0,20$					
Информация о возрасте				$r = 0,19$		
Информация о семье					$r = -0,21$	
Информация о других соц. сетях						$r = -0,19$
Количество фотографий					$r = -0,17$	

Продолжение таблицы. Достоверно значимые взаимосвязи ценностно-смысловых характеристик личности пользователей и элементов их профиля в социальной сети уровень доверительной вероятности $\leq 0,05$)

	Достижения	Безопасность	Экстраверсия	Дружелюбие	Открытость опыту	Самостоятельность
Просмотр новостей в городских сообществах в социальных сетях		$r = 0,30$	$r = 0,23$		$r = 0,23$	$r = 0,18$
Интерес к новостному контенту в соц. сетях			$r = 0,26$		$r = 0,20$	
Интерес к развлекательному контенту в соц. сетях		$r = -0,18$		$r = 0,22$		
Интерес к социальному контенту в соц. сетях		$r = 0,21$			$r = 0,17$	
Информация о ФИО	$r = -0,18$					
Информация о месте проживания		$r = 0,18$				
Информация о семье	$r = -0,17$					
Количество друзей					$r = -0,20$	
Количество аудиозаписей		$r = 0,20$				$r = 0,19$
Количество подписок			$r = -0,19$			

На следующем этапе нами было проведено психодиагностическое обследование 269 испытуемых, отобраны респонденты, указавшие адрес в социальной сети Вконтакте (244 испытуемых), и проведен автоматизированная выгрузка доступной информации из профиля. С помощью коэффициента корреляции Спирмена были выявлены множественные достоверно значимые взаимосвязи (при $p \leq 0,05$) ценностно-смысловых характеристик личности пользователей и элементов их профиля в социальной сети (таблица).

Постоянная интерференция различных способов существования городского пространства приводит к необходимости поиска новых методов изучения самоорганизации города, а также к необходимости усовершенствования практик управления и коммуникации с жителями города. На основе интерпретации корреляционных взаимосвязей можно сделать вывод о том, что анализ профилей пользователей в социальных сетях дает возможность исследовать ценности и потребности жителей города и сформулировать их запрос в расширении инфраструктуры. Перспектива исследования заключается в соотнесении полученных данных о потребностях жителей города с картой Санкт-Петербурга, а также с дальнейшим изучением профилей в социальных сетях, для уточнения актуальных потребностей горожан.

Литература

1. Богдановская И. М., Диденко П. А., Королева Н. Н. Вербальная семантика представлений о городских памятниках у молодежи мегаполиса // Вестник Ленинградского государственного университета им. А. С. Пушкина. 2016. № 4-1. С. 67-77.
2. Кайсарова В. П. Формирование системы ценностно-ориентированного управления для крупного города // Вестник Санкт-Петербургского университета. Экономика. 2009. № 4. С. 153-163.
3. Корнилова Т. В., Чумакова М. А. Апробация краткого опросника Большой пятерки (TIPI, КОБТ) // Психологические исследования. 2016. Т. 9, № 46. С. 5.

4. Симоненко В.В. Умные города: как городская информационная система обновляет город / Инновационные аспекты социально-экономического развития региона. Сборник статей по материалам участников VII Ежегодной научной конференции аспирантов "МГОТУ". 2017. С. 519-528.
5. Castells M. The Rise of the Network Society, 2nd ed.; Blackwell Publishing: Oxford, UK, 2010
Режим
доступа: https://www.researchgate.net/publication/317174872_Book_Review_The_Rise_of_the_Network_Society_-_The_Information_Age_Economy_Society_and_Culture/references
(дата обращения: 28.04.2021).
6. Gustafson P. Meaning of place: everyday experience and theoretical, Journal of Environmental Psychology, 2001, pp. 5-16.
7. Horlings L.G. Values in place; A value-oriented approach toward sustainable place-shaping, 2014, p. 257-274.

УДК 004.94

КЛАСТЕРИЗАЦИЯ НА ОСНОВЕ СТРУКТУРНЫХ ДЕСКРИПТОРОВ ДЛЯ ПОИСКА ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ В СТРУКТУРАХ РЕЦЕПТОРА ВИТАМИНА D

Пац К.М.¹Научные руководители – к.т.н., доцент Сергушичев А.А.¹, PhD, профессорМолнар Ф.²¹Университет ИТМО²Назарбаев Университет

В работе осуществляется кластеризация структур рецептора витамина D на основе результатов расчета структурных дескрипторов. Установлена возможность структурных дескрипторов выявлять особенности в трехмерных структурах рецептора витамина D, например, при поиске структур с нестандартными аминокислотными последовательностями или при разделении структур по организмам на основе наличия/отсутствия молекулы коактиватора на поверхности рецептора.

Ключевые слова: структурные дескрипторы, ядерные рецепторы, молекулярное моделирование, аллостерические взаимодействия, кластеризация.

Структурные дескрипторы широко используются в области компьютерного моделирования в естественных науках и представляют собой математическое описание каких-либо свойств структуры белка. Как правило, структурные дескрипторы применяются при решении задачи классификации: например, при определении принадлежности белковых молекул к тому или иному семейству [1 – 2]. Данная работа направлена на исследование возможности применения таких дескрипторов в задачах кластеризации, а именно поиска структурных закономерностей, определяющих аллостерические взаимодействия рецептора витамина D, относящегося к семейству ядерных рецепторов.

Ядерные рецепторы состоят из двух доменов – ДНК- и лиганд-связывающего [3]. Последний играет важную роль в регуляции активности ядерных рецепторов. Связывание лиганда становится предпосылкой для конформационных изменений в структуре рецептора, в том числе в регионе терминальной α -спирали H12, которая отвечает за присоединение к рецептору молекул-корегуляторов – коактиваторов или корепрессоров (рис. 1).

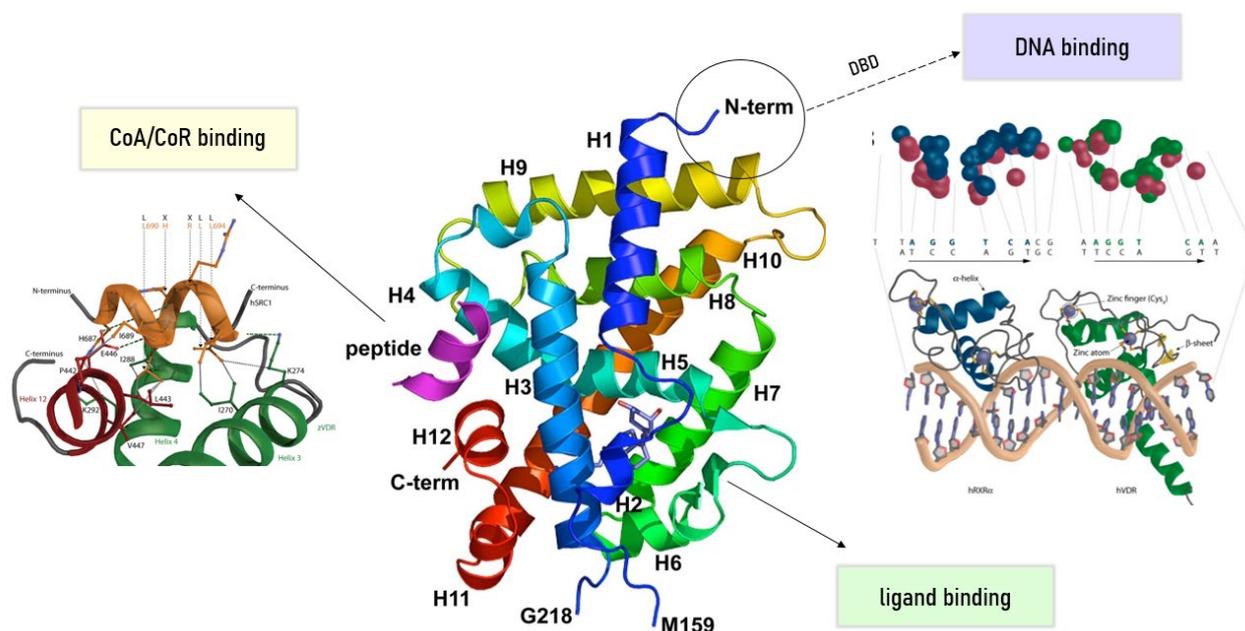


Рис. 1. Рецептор витамина D связывается с лигандами и корегуляторами посредством двух доменов (адаптировано из Molnár, *Frontiers in Physiology*, 2016)

При этом корегуляторы способны также связываться с и другими факторами транскрипции, а также экспрессируются в специфичных для конкретной молекулы клетках. Это дает возможность для регуляции транскрипционной активности опосредованной ядерными рецепторами [4].

Вышеописанные закономерности позволяют предположить, что структурные особенности могут стать ключом к пониманию и регулированию аллостерических взаимодействий ядерных рецепторов. Ранее было показано, что такие параметры, как объем сайта связывания с лигандом и углы между α -спиралями Н6 и Н7, способны сгруппировать трехмерные структуры рецептора витамина D в зависимости от активности и структурных особенностей лигандов. Таким образом, целью данной работы было исследовать разработанный ранее набор структурных дескрипторов на предмет возможности выявления определенных закономерностей в трехмерных структурах рецептора витамина D.

Исследование проводилось при помощи алгоритма кластеризации k-means. Набор входных данных включал в себя 86 трехмерных структур рецептора витамина D человека, крысы и данио-рерио, полученных из базы PDB (www.rcsb.org) с рассчитанными значениями структурных дескрипторов. Предварительно данные были нормализованы – совместно и отдельно (по видам). Определение оптимального числа кластеров производилось при помощи метода локтя, а также silhouette-score, отражающей степень разделимости полученных кластеров. Для визуализации результатов использовался метод главных компонент.

Результаты кластеризации при $k = 4$ представлены на рисунке 2. При использовании данных, нормализованных совместно, можно отметить, что наблюдается выделение трех кластеров, соответствующих трем видам. Также можно увидеть, что в качестве отдельного кластера выделяется одна структура с PDB ID 3AZ3. При структурном выравнивании видно, что эта структура содержит аминокислотную последовательность в регионе спирали Н10 отличающуюся от остальных структур рецептора витамина D человека.

При кластеризации данных, нормализованных по отдельности, можно заметить, что деление по видам исчезает, однако все так же присутствует структура-«выброс».

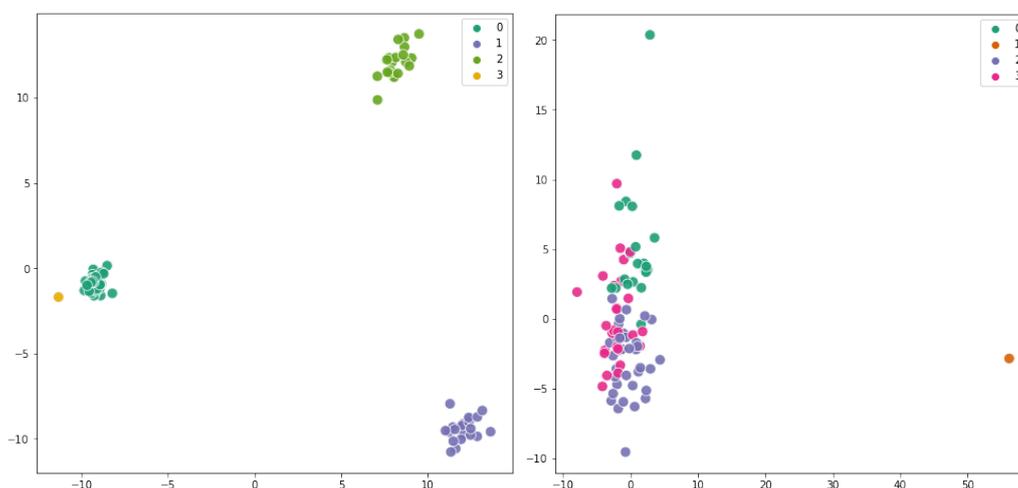


Рис. 2. Кластеризация с помощью алгоритма k-means ($k=4$): слева – совместная нормализация данных (silhouette score = 0.61), справа – раздельная нормализация данных (silhouette score = 0.05)

Также дополнительно была произведена разметка данных по наличию/отсутствию коактиватора. Эти данные были использованы в качестве меток классов для тренировки решающего дерева. На рисунке 3 показано, что в качестве решающего правила при разделении на два класса алгоритм использует дескриптор, описывающий расстояние между центром масс рецептора и $S\alpha$ -атомом одной из аминокислот, удерживающей коактиватор на поверхности рецептора.

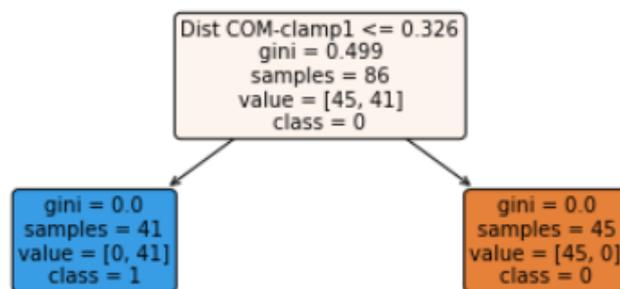


Рис. 3. Решающее дерево для двух классов: наличие/отсутствие коактиватора в структуре рецептора

При этом важно отметить, что структуры, не имеющие коактиватора – это структуры рецептора витамина D человека. Таким образом, можно предположить, что разделение по видам направляется именно этим признаком. К тому же бинарная классификация при помощи решающих деревьев показала, что дескрипторы, описывающие участки рецептора, отвечающие за присоединение коактиватора, действительно различаются и способны выполнять роль решающих правил при разделении структур по данному принципу. Раздельная же нормализация данных вносит поправку на диапазоны значений дескрипторов внутри каждого из видов и таким образом в неявном виде сообщает эту информацию алгоритму, что в итоге способствует перемешиванию видов внутри кластеров. Немаловажным является и то, что при кластеризации удалось выявить структуру, содержащую отличную от остальных аминокислотную последовательность.

В ходе работы проведена кластеризация структур рецептора витамина D на основе результатов расчета структурных дескрипторов. Установлена возможность структурных дескрипторов выявлять особенности в трехмерных структурах рецептора витамина D, например, при поиске структур с нестандартными аминокислотными последовательностями или при разделении структур по организмам на основе наличия/отсутствия молекулы коактиватора на поверхности рецептора.

Литература

1. Lindstrom A., Pettersson F., Linusson A. Quantitative protein descriptors for secondary structure characterization and protein classification // *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*. 2009. V. 95. Pp. 74–85.
2. Wang H. W. et al. A local average distance descriptor for flexible protein structure comparison. *Bioinformatics*, 15 (95). 2014.
3. Hambruch E. et al. Synthetic Farnesoid X Receptor Agonists Induce High-Density Lipoprotein-Mediated Transhepatic Cholesterol Efflux in Mice and Monkeys and Prevent Atherosclerosis in Cholesteryl Ester Transfer Protein Transgenic Low-Density Lipoprotein Receptor (-/-) Mice. *J Pharmacol Exp Ther*, 343: 2012, pp.556-67.
4. Smith C. L., O'Malley B. W. Coregulator function: a key to understanding tissue specificity of selective receptor modulators. *Endocrine Rev*, 25: 2004, pp.45-71.

УДК 004.855.5

АВТОМАТИЧЕСКИЙ ВИДЕОКОНТРОЛЬ СОСТОЯНИЯ БДИТЕЛЬНОСТИ ВОДИТЕЛЯ

Пинаев З.А.¹

Научный руководитель – д.т.н., профессор Луцив В.Р.²

¹Университет ИТМО

²Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

В статье рассмотрен процесс разработки системы автоматического видеоконтроля состояния бодрствования водителя, направленной на определение усталости на ранних этапах ее проявления. В рамках работы проведено исследование современных способов контроля состояния водителя, изучение визуально-различимых признаков засыпания человека, а также разработка, тренировка и тестирование системы видеоконтроля состояния бодрствования водителя.

Ключевые слова: бдительность, системы помощи водителю, дорожно-транспортные происшествия, детектирование признаков, NM-LSTM.

По разным оценкам, засыпание человека за рулём является причиной около 20% всех ДТП [1]. В настоящее время известны сотни запатентованных методов и устройств контроля функционального состояния водителя транспортного средства. Методы, используемые для решения описанной задачи, принято делить на две группы: контактные и бесконтактные. Сравнительный анализ обеих групп методов позволяет выделить недостатки, характерные для современных устройств контроля состояния водителя: наличие контактных датчиков, снижающих надёжность системы; наличие критических состояний, при которых возможны как ложные срабатывания, так и невозможность определения засыпания; невозможность быстрой адаптации системы под другого водителя. На основании вышеописанного исследования сделан вывод о том, что эффективным вариантом решения рассматриваемой задачи является система, состоящая из камеры телефона в совокупности с нейронной сетью для обработки информации. Такая система имеет следующие преимущества: отсутствие контактных датчиков; независимость системы от привычек водителя и стиля вождения; минимальная инертность; камера телефона является доступной и дешёвой альтернативой существующим устройствам; использование нейронной сети упростит процесс обучения и позволит достигнуть высокой точности. В качестве критериев определения степени сонливости человека выбраны четыре характерных признака глаз при моргании: продолжительность, скорость, амплитуда и частота морганий.

Важным этапом работы является выбор набора данных для тренировки и тестирования нейросети, и в результате продолжительного поиска решено остановиться на Real-Life Drowsiness Dataset (RLDD). Рассматриваемый набор данных (рис. 1) предлагает значительные преимущества по сравнению с существующими общедоступными аналогами для обнаружения сонливости, независимо от того, связаны ли они с областью вождения или нет: на сегодняшний день это самый крупный общедоступный набор данных, предназначенный для обнаружения сонливости; кадры людей в сонном состоянии являются результатом съёмки настоящей сонливости; данные были получены с использованием разных камер и в разных условиях; RLDD позволяет считывать сложно уловимые лицевые признаки сонливости, а также более явные и легко наблюдаемые признаки.

В качестве основы реализованного метода контроля состояния водителя решено использовать метод анализа временной информации видеозаписи при помощи сети Hierarchical Multiscale Long Short-Term Memory (NM-LSTM) [2], чтобы смоделировать взаимосвязь между морганиями и состоянием бдительности. Идея использования признаков, связанных с морганием, заключается в том, чтобы зафиксировать временные закономерности, которые естественным образом проявляются в человеческих глазах.

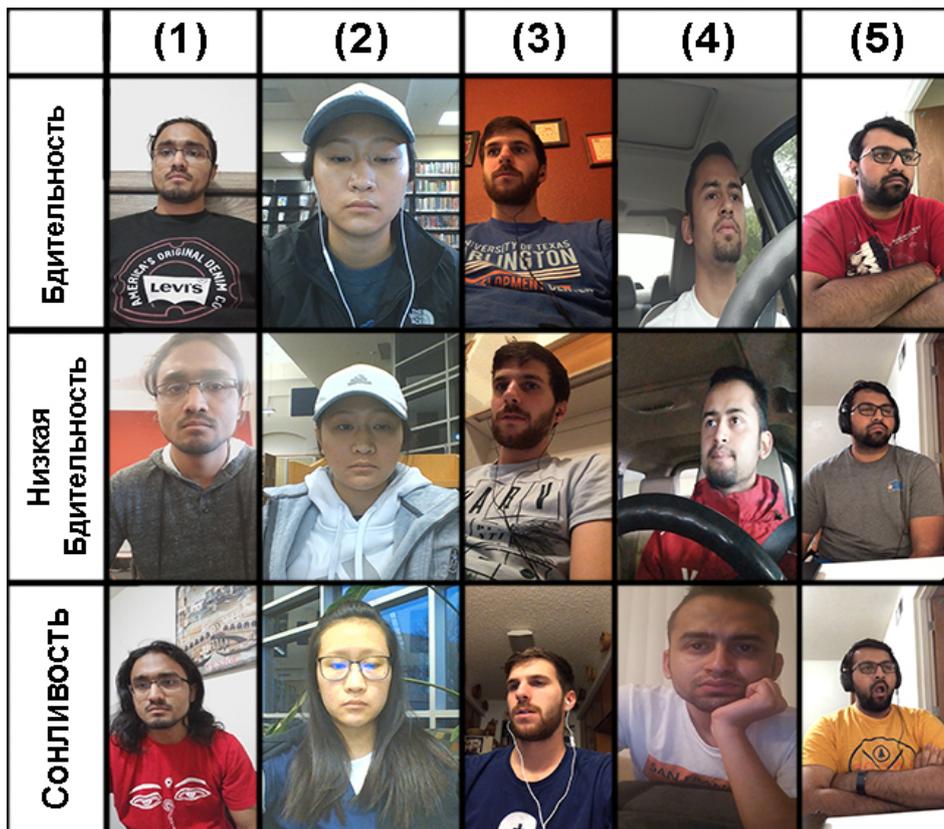


Рис. 1. Примеры кадров из набора данных RLDD в бдительном состоянии (первая строка), в состоянии низкой бдительности (вторая строка) и в сонном состоянии (третья строка)

Входными данными для модуля обнаружения моргания является всё видео. А выходными данными этого модуля является последовательность зарегистрированных морганий в виде четырёхмерных векторов, каждый из которых содержит информацию об амплитуде, продолжительности, скорости и частоте текущего моргания.

Большой проблемой при использовании признаков моргания для обнаружения сонливости является различие паттернов моргания у разных людей, поэтому признаки для каждого отдельного субъекта необходимо нормализовать для того, чтобы обучать сеть на всех данных одновременно. Для этого треть морганий в состоянии «бдительность» используется, чтобы вычислить математическое ожидание и стандартное отклонение каждого признака для каждого отдельного человека, а затем используется уравнение (1), чтобы нормализовать оставшиеся моргания в состоянии «бдительность», а также для двух других состояний того же человека (m) и признака (n).

$$\overline{\Pi_{n,m}} = \frac{\Pi_{n,m} - \mu_{n,m}}{\sigma_{n,m}}, \quad (1)$$

где Π – признак, $\mu_{n,m}$ и $\sigma_{n,m}$ – соответственно математическое ожидание и стандартное отклонение признака n в первой трети морганий из видео во время состояния «бдительность» для субъекта m .

Сеть HM-LSTM используется для работы с временным паттерном морганий. Благодаря ячейкам сети возможно учитывать, как каждое моргание связано с другими и сколько морганий подряд могут влиять друг на друга. В результате сеть HM-LSTM способна обучаться кратковременным паттернам благодаря слоям нижнего уровня и паттернам, протяжённым по времени, благодаря слоям высокого уровня. Такой иерархический анализ позволяет сети учитывать моргания как в коротких, так и в длинных промежутках времени, в зависимости от того, когда активирован детектор границ для каждой ячейки.

Для того, чтобы оценить работу системы, в данной работе используется два параметра: точность классификации видео (Video Accuracy) и погрешность классификации видео (Video Regression Error).

Точность классификации видео (VA) является главной метрикой точности работы системы. Она равна проценту всех видео, которые были правильно классифицированы.

Погрешность классификации видео (VRE) определяется выражением (2).

$$VRE = \frac{\sum_{j=1}^Q c_j^v \left| \frac{1}{K_j} \sum_{i=1}^{K_j} (out_{i,j}) - S_j \right|^2}{Q}, \quad (2)$$

где Q – количество видео в тестовом наборе, c_j^v – двоичное значение, равное 0, если j -е видео было классифицировано правильно, и 1, если видео классифицировано неверно. K_j – количество всех последовательной морганий в видео j . S_j – значение, определяющее истинную принадлежность к тому или иному классу (0 – «бдительность», 5 – «низкая бдительность», 10 – «сонливость»).

Таким образом, правильно классифицированные видео не влияют на появление ошибки VRE. Для постоянного VA значение VRE отражает предельную погрешность для неправильно классифицированных видео.

Модель обучалась примерно на 7000 последовательностях морганий со значением параметров learning rate = 0.000051, batch size = 64, epochs = 80.

После серии испытаний выявлено, что модуль детектирования морганий хорошо справляется со своей задачей, определяя положение век и считывая признаки морганий даже в ситуациях, когда человек повернулся в сторону (рис. 2).

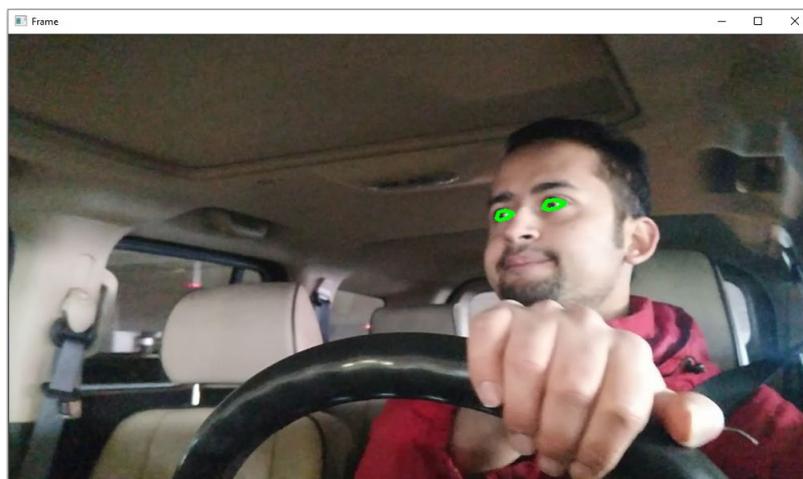


Рис. 2. Пример работы модуля считывания морганий при повороте человека в сторону

Чтобы объективно оценить результаты работы сети, решено сравнить их с экспериментальными данными в работе [3], в которой добровольцев просили оценить степень сонливости субъекта на видео из набора данных RLDD по шкале «Бдительность – Низкая бдительность – Сонливость». Сравнение результатов работы сети и прогнозов человека приведены в таблице 1.

Таблица 1. Сравнение эффективности работы сети с оценкой человека по двум показателям

	Метрика оценки	
	VA	VRE
HM-LSTM сеть	63,2%	1,17
Прогноз человека	57,8%	2,01

Далее, в таблицах 2 и 3 для наглядности и полноты сравнения представлены матрицы ошибок для результатов работы разработанной системы и оценки человека соответственно.

Таблица 2. Матрица ошибок для предложенной системы контроля состояния бодрствования водителя (по параметру VA)

		Исходный класс		
		Бдительность	Низкая бдительность	Сонливость
Прогноз	Бдительность	0,81	0,13	0,06
	Низкая бдительность	0,18	0,31	0,13
	Сонливость	0,01	0,56	0,81

Таблица 3. Матрица ошибок для результатов человеческой оценки (по параметру VA)

		Исходный класс		
		Бдительность	Низкая бдительность	Сонливость
Прогноз	Бдительность	0,63	0,25	0,09
	Низкая бдительность	0,33	0,45	0,26
	Сонливость	0,04	0,30	0,65

По итогу работы изучены различные подходы к решению задачи контроля состояния водителя, а также преимущества, недостатки и эффективность каждого из них. В результате исследования выбран оптимальный способ контроля при помощи оптического устройства (камеры) и представленной системы, основанной на работе сети NM-LSTM.

По результатам анализа таблицы 1, а также сравнения и табл. 2 и табл. 3 заключено, что система выявляет ранние малозаметные признаки сонливости лучше, чем люди, благодаря анализу временных паттернов моргания (таблица 1).

В частности, анализ таблицы 2 показал, что, как и ожидалось, наиболее сложным для классификации стал класс «Низкая бдительность», вследствие чего система ошибочно классифицировала его как «сонливый». С другой стороны выявлено, что система успешно классифицирует бдительных и сонливых субъектов с точностью более 80%. Это говорит о надёжности результатов на практике.

Литература

1. World Health Organization: The top 10 causes of death. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/the-top-10-causes-of-death> (дата обращения 09.02.2021).
2. С.-Н. Weng, Y.-Н. Lai, S.-Н. Lai. Driver drowsiness detection via a hierarchical temporal deep belief network. In Asian Conference on Computer Vision, pages 117–133. Springer, 2016. 2, 3.
3. R. Ghoddoosian, M. Galib, V. Athitsos. A Realistic Dataset and Baseline Temporal Model for Early Drowsiness Detection. arXiv preprint arXiv: 1904.07312. 3.

УДК 004.81

АГЕНТНО-ОРИЕНТИРОВАННАЯ МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ КОЛЛЕКТИВНЫХ ЭМОЦИЙ В СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЯХ

Полева К.Д.¹, Царёв Д.В.¹

Научный руководитель – канд. техн. наук., Суриков А.Г.¹

¹Университет ИТМО

Распространение эмоций в онлайн-сообществах десятилетиями привлекало внимание социальных наук; актуальной проблемой в этой области является оценка коллективных эмоций в социальных сетях (Twitter, Facebook, Weibo). Люди общаются на стенах сообщества, обмениваются сообщениями, передавая и получая эмоции; мы описываем эти эмоции в терминах шести базовых эмоций модели Экмана: радость, печаль, удивление, гнев, страх и отвращение. Сумма всех сообщений составляет эмоциональное поле или коллективные эмоции, которые мы стремимся измерить. Мы предлагаем для этого агентно-ориентированную модель, включающую ряд небольших программ (агентов), имитирующих человеческое восприятие эмоций в социальной сети. Агенты следят за сообществом, «читают» сообщения и комментарии на стене, оценивают эмоции каждого прочитанного текста, учитывая не только слова, но также смайлы и стикеры. Затем каждый агент делает прогноз коллективных эмоций сообщества в момент времени. Поскольку агенты различаются по своим параметрам, среднее значение их оценок представляет собой "объективную" меру эмоционального поля, как оно воспринимается пользователями. Для оценки эмоций в конкретных текстах агенты используют простой алгоритм анализа эмоций, основанный на эмоциональном словаре. Результаты социального эксперимента с реальными пользователями демонстрируют хорошее согласие предсказания агентно-ориентированной модели и человеческой оценки коллективных эмоций. Полученные результаты могут найти применение в социальных и политических науках, маркетинге и целевой рекламе.

Ключевые слова: социальная сеть; обнаружение эмоций; агент; коллективные эмоции; агентно-ориентированная модель; эмоциональное поле.

Распространение информации в социальных сетях - одна из актуальных тем современных компьютерных и социальных наук. Обеспечивая быстрое общение больших групп людей, социальные сети интенсивно влияют на распространение мнений, слухов, потребительских предпочтений и т. д. [1, 2].

Одна из особых форм общения в социальных сетях – это коммуникация на стенах сообществ. Когда много пользователей публикуют сообщения публично, невозможно прочитать их все. В этом случае, когда пользователь отвечает на какое-то сообщение, никто (даже сам пользователь) не может точно сказать, какие именно сообщения повлияли на его мнение и настроение. Для исследователя, изучающего динамику эмоций в социальной сети, эта ситуация вызывает затруднения. Возможное решение - рассмотреть поле эмоций или коллективные эмоции в сообществе, каким-то образом усредняя все эмоции пользователей. Однако прямое усреднение – не лучший вариант. Как известно, восприятие эмоций субъективно [3], и это необходимо учитывать. Более того, как указывалось ранее, редкий пользователь читает все сообщения на стене, что противоречит идее прямого усреднения.

В данной работе мы предлагаем агентно-ориентированную модель для оценки эмоционального поля в сообществе социальной сети. Небольшие цифровые сущности, которые мы называем агентами, моделируют пользователей, которые читают сообщения и комментарии на стене сообщества, измеряют эмоции этих сообщений и производят оценку эмоционального поля в данный момент времени, а также среднего эмоционального поля сообщества с учётом всего опыта «наблюдений». Затем усреднение оценок нескольких агентов с разными параметрами позволяет получить меру эмоций (в виде временного ряда), которую можно назвать объективной. Таким образом, наш подход сочетает в себе субъективность оценок конкретных агентов (пользователей) и объективность оценок, сделанных всем сообществом, обеспечивая «взгляд изнутри» на коллективные эмоции сообщества. Стоит отметить, что агентно-ориентированные модели популярны в литературе

для описания динамики эмоций в сетях [4]. Однако агентный подход непосредственно к оценке эмоций, по-видимому, используется редко.

Так, в работе [4] предлагается основанный на агентах подход к формализации и моделированию процессов заражения эмоциями внутри социальных групп. Как утверждают авторы, тип эмоции не указан, в принципе это может быть любая эмоция, например, шесть эмоций Экмана, которые мы рассматриваем. Аналогичным образом в [5] авторы предлагают агентную модель заражения эмоциями и конкуренции в онлайн-социальных сетях. Агенты имитируют поведение людей, общающихся в Weibo, Twitter или подобных социальных сетях. Модель, основанная на 11 миллионах твитов Weibo, эффективно воспроизводит эмпирические модели передачи таких эмоций, как гнев, радость, отвращение и печаль. Но опять же, эта модель не включает никакого эмоционального поля. С другой стороны, авторы [6] вводят структуру для связи коллективных эмоций, которые можно описать как эмоциональное поле, с эмоциями отдельных пользователей. Эта модель может быть использована для агентного моделирования коллективных эмоций социальных сообществ. В [7] авторы показывают влияние коллективных эмоций на взаимодействие пользователей в интернет-сообществах и траектории существования сообществ.

Для анализа тональности текста мы используем эмоциональный словарь русского языка [8]. В словаре каждое слово связано с шестимерным вектором, обозначающим эмоции, которые несёт слово, согласно модели Экмана. Таким образом, при анализе текста для каждого слова вектор определяется как

$$\vec{a}_j = \{e^{(i)}\}, \quad (1)$$

где $i = 1, \dots, 6$ – номер базовой эмоции, а $e^{(i)} = 0, 1$ указывает на наличие или отсутствие эмоции в слове. Чтобы оценить эмоции текста, сперва все слова текста лемматизируются, смайлы и стикеры переводятся в их текстовые эквиваленты из словаря. Затем все векторы (1), соответствующие предварительно обработанному тексту, суммируются, и в результате получается вектор доминирующих эмоций текста

$$\vec{a} = \sum_{j=1}^D \vec{a}_j, \quad (2)$$

где D - количество слов в тексте.

Наконец, вектор (2) преобразуется в пятибалльные скаляры для каждой эмоции согласно следующему правилу:

- 0, если в тексте нет эмоций;
- 1, если эмоции менее 15% от D ;
- 2, если эмоции менее 30% от D ;
- 3, если эмоции менее 45% от D ;
- 4, если эмоции превышают 45% от D .

В результате для каждого текста получается шестимерный ограниченный вектор эмоций. База данных для валидации модели основана на сообществах «ЧС Тюмени» в социальной сети типа «ВКонтакте». Мы собрали 120 постов со всеми комментариями за 2019 год. Всего для валидации модели было использовано 7500 текстов.

Мы представляем агентную модель для оценки коллективных эмоций в сообществах социальных сетей. Для нашего моделирования мы используем Mesa – платформу для моделирования на основе агентов (или АВМ) с лицензией Apache2 на Python. Агенты – это небольшие цифровые сущности, «читающие» стены сообществ и оценивающие коллективные эмоции. Агенты различаются по нескольким параметрам:

- N, n – максимальное количество сообщений и комментариев, которые читает агент при активации соответственно.
- α – Инерция – память агента степени; он отражает то, как предыдущие результаты активации влияют на текущую оценку.

- β – Восприимчивость – сосредоточенность агента при определении коллективных эмоций сообщества: на конкретных ярких эмоциональных текстах или на среднем настроении сообщества.
- γ – Внимательность – фактор случайности, указывающий, пропускает ли агент некоторые сообщения и комментарии.

Модель активирует всех агентов одновременно через равные промежутки времени. При активации агент оценивает мгновенную оценку коллективных эмоций $\vec{G} = \{G^{(i)}\}, i = 1..6$ после прочтения всех сообщений и комментариев как

$$G^{(i)} = \beta \cdot \max[a_k^{(i)}], k = 1..P + (1 - \beta) \sum_{k=1}^P \frac{a_k^{(i)}}{P}, \quad (3)$$

где P – количество прочитанных постов и комментариев, $a_k^{(i)}, k = 1..P$ скаляры для i -й эмоции всех прочитанных текстов. Все оценки агентов \vec{G} сохраняются в памяти модели для дальнейшего анализа. Затем агенты засыпают до следующей активации через промежуток времени Δt . Чтобы оценить коллективные эмоции, происходит усреднение всех оценок всех агентов M

$$\vec{G}_{av}(t) = \frac{1}{M} \sum_{k=1}^M \vec{G}_k(t). \quad (4)$$

Для проверки указанной модели был проведён онлайн социальный эксперимент. В ходе эксперимента эксперты оценили эмоциональные поля выбранных сообществ. Один раз в день экспертам предлагалось прочитать 10 последовательных постов (со всеми комментариями к ним), взятых из одного из сообществ за определённый месяц 2019 года, после чего эксперты определили степень выражения определённых эмоций в постах, комментарии (по модели Пола Экмана) и общее эмоциональное поле сообщества.

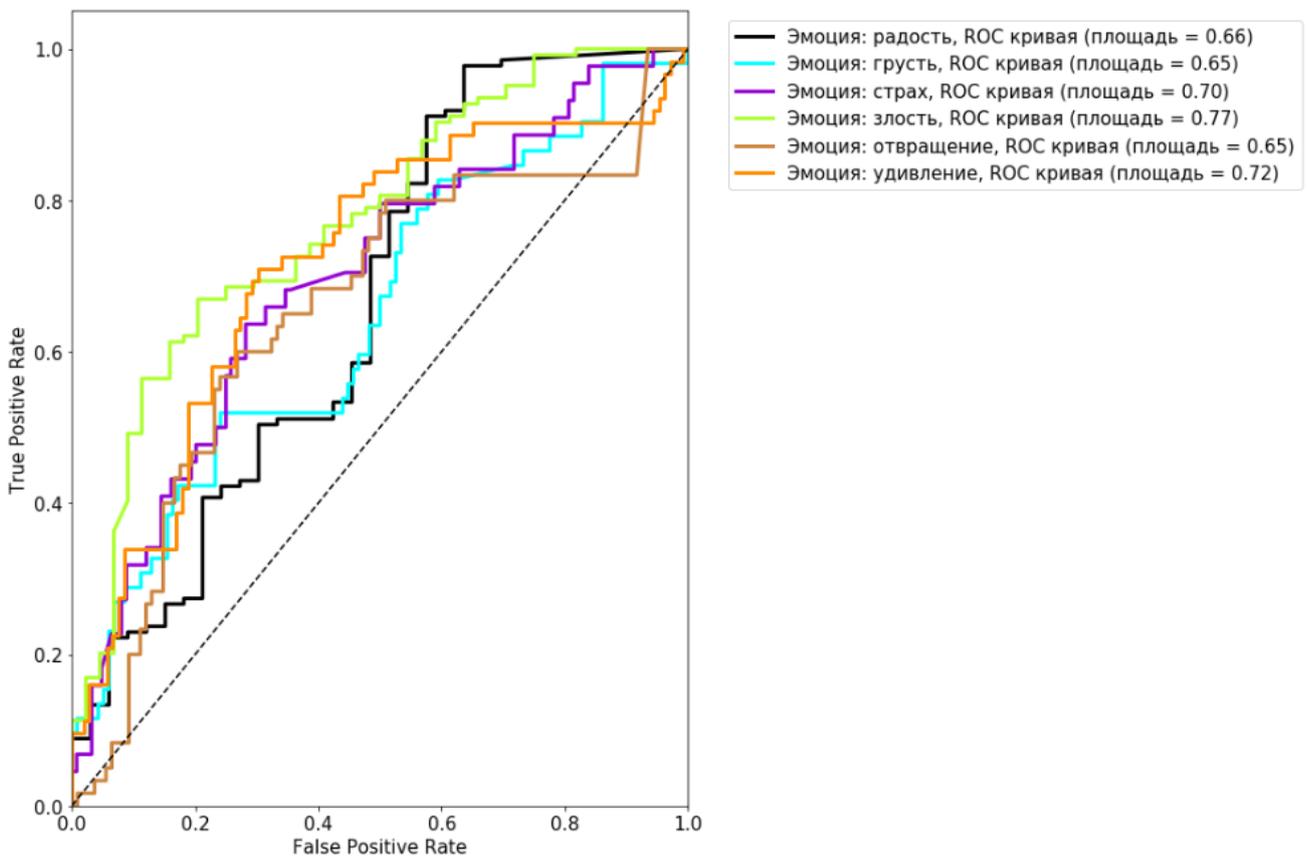


Рис. 1. ROC кривые и значения AUC scores

В экспериментальной работе приняли участие 13 экспертов – десять мужчин и три женщины в возрасте от 22 до 39 лет, с высшим образованием и значительным многолетним опытом использования социальных сетей. Используя разметку, предоставленную 13 экспертами, мы проверили нашу модель с помощью оценок ROC-AUC. Все кривые для каждой эмоции показаны на рисунке 1.

Кривые и значения AUC демонстрируют, насколько хорошо наша модель оценивает коллективные эмоции на основе оценок экспертов. Площадь под кривой идеальной модели равна 1. Поскольку оценки эмоций ограничены, для оценки экспертов применялся порог «2», возвращающий «1», если значение эмоции эксперта больше или равно, и «0» в противном случае. Нормализованные агентные оценки в зависимости от параметров агентов были равномерно распределены от «0» до «1». Таким образом, были построены кривые; Показатели AUC демонстрируют хорошее согласие с экспертной разметкой.

Результаты оценки коллективных эмоций в «ЧС Тюмени», рассчитанные с помощью (5), показаны на рисунке 2.

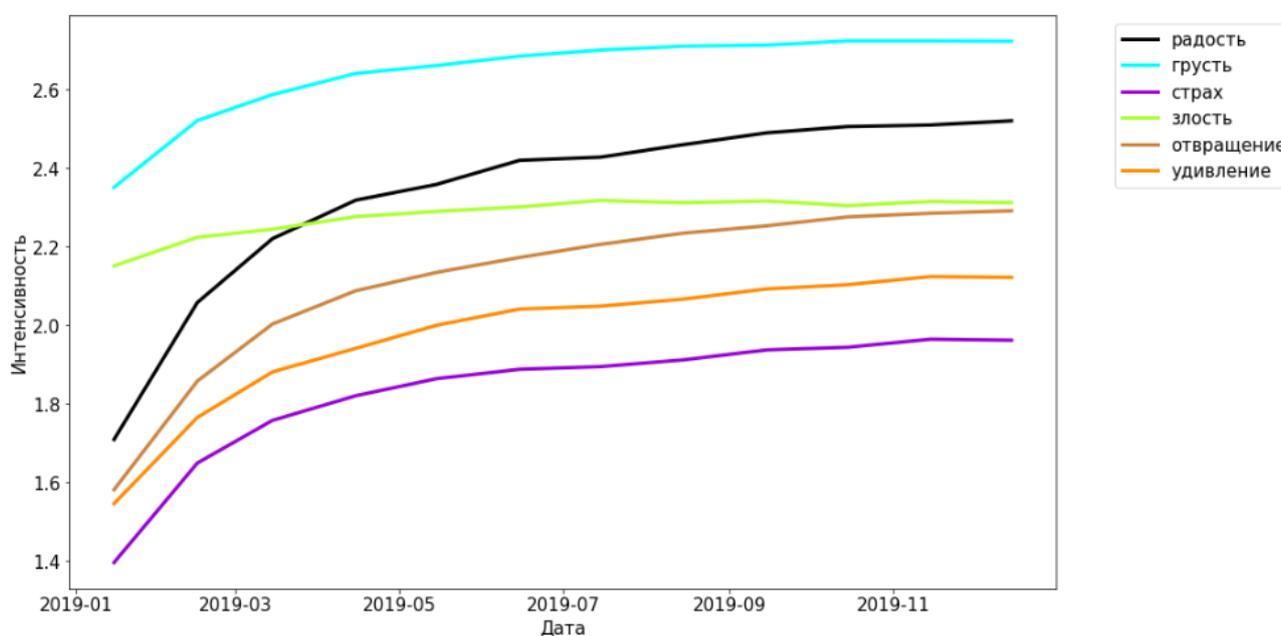


Рис. 2. Результат оценки коллективных эмоций агентами

Как видно, агенты принимают своего рода решение о том, какие коллективные эмоции сообщество выражает для каждой эмоции. На основе этих результатов можно различить, какие эмоции более интенсивны и какие эмоции преобладают в сообществе. Обратите внимание, самая интенсивная эмоция – это грусть, а другие отрицательные эмоции более интенсивны. Таким образом, предложенная модель позволяет оценивать коллективные эмоции в социальных онлайн-сообществах как временные ряды и как средние показатели, чтобы различать сообщества по доминирующим эмоциям.

Подводя итог, мы предлагаем агентно-ориентированную модель для оценки коллективных эмоций (эмоционального поля) в онлайн-социальных сообществах. Кривые ROC и AUC scores, представленные на рисунке 1 демонстрируют хорошие результаты, демонстрируя, насколько хорошо моделируются реальные данные. Площадь под кривой показывает качество моделирования, поскольку практически для всех эмоций эта область больше 0.7, можно сделать вывод о хороших результатах валидации.

Кроме того, средняя точность проверки для всех эмоций для сообщества «ЧС Тюмени» составляет 61.5. Это значение указывает на правильность оценки агентом коллективных эмоций, что демонстрирует валидность модели и пригодность для реализации. Сильной стороной предлагаемого подхода является оснащение агентов субъективностью в сочетании с объективностью, обеспечиваемой их количеством и разбросом параметров. Имитируя

поведение пользователей, агенты обеспечивают внутреннюю оценку коллективных эмоций, позволяющую увидеть сообщество с точки зрения пользователей.

Разработанная модель будет использоваться в будущем для прогнозирования и моделирования распространения эмоций в социальных сетях, что является темой наших дальнейших исследований. Мы также планируем и дальше повышать качество оценки модели.

Литература

1. Katona Z., Zubcsek P. P., Sarvary M. Network effects and personal influences: The diffusion of an online social network. in: *Journal of marketing research* 48 (3). 2011. Pp.425-443.
2. Bell D. R., Song S. Neighborhood effects and trial on the Internet: Evidence from online grocery retailing. in: *Quantitative Marketing and Economics* 5 (4). 2007. Pp.361-400.
3. Lisa Feldman Barrett, Michael Lewis, Jeannette M. Haviland-Jones *Handbook of Emotions, Fourth Edition*. in: Guilford Publications. 2016. 928 p.
4. Bosse T. et al. Agent-based modeling of emotion contagion in groups.. in: *Cognitive Computation*. 7(1). 2015. Pp.111-136.
5. Fan R., Xu K., Zhao J. An agent-based model for emotion contagion and competition in online social media.. in: *Physica A: statistical mechanics and its applications*. 495 (2018) 245-259.
6. Garcia D., Schweitzer F. Modeling Online Collective Emotions.. in: *Chair of Systems Design*.(2012) 37 10.1145/2390131.2390147.
7. Chmiel A, Sienkiewicz J, Thelwall M, Paltoglou G, Buckley K, et al. Collective Emotions Online and Their Influence on Community Life.. in: *PLoS ONE*. 6(7). 2011. Pp.1-8.
8. Surikov A., Egorova E. Emotional Analysis of Russian Texts Using Emojis in Social Networks. in: *Analysis of Images, Social Networks and Texts*. 2021. Pp.282-293.

УДК 004.912

АНАЛИЗ ПОДХОДОВ К ОБРАБОТКЕ И АНАЛИЗУ ТЕКСТОВ, СОДЕРЖАЩИХ МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ВЫРАЖЕНИЯ

Рыбин А.С.¹Научный руководитель – к.т.н., доцент Махныткина О.В.¹¹Университет ИТМО

Работа выполнена в рамках темы НИР №620183 «Разработка виртуального диалогового помощника для поддержки проведения дистанционного экзамена на основе моделей-трансформаторов и понимания естественного и математического языка».

В работе проведён сравнительный анализ существующих подходов к автоматической обработке математических формул и построения их признакового описания.

Ключевые слова: NLP, MLP, обработка естественного языка, обработка математических формул, Feature Engineering, вектор признаков, Machine Learning, машинное обучение.

В современном мире происходит быстрое развитие информационных технологий, в связи с чем растут объемы цифровой информации, в частности информации, представленной в виде текста. И все большую актуальность приобретает вопрос, связанный с её обработкой и дальнейшим анализом. Авторы [1] указывают на то, что автоматический анализ документов, содержащих математические формулы (например, научных статей из области STEM) вызывает затруднения, т.к. требует обработки одновременно как естественного языка, так и языка математических формул. В то время как в области *NLP* (обработки естественного языка) уже устоялись подходы, основанные на машинном обучении, их применение в области *MLP* (обработки математического языка) пока только изучается.

Решение любой задачи в области *NLP* начинается с постановки задачи и выявления требований. После чего задача разбивается на более мелкие задачи, каждая из которых решается отдельно. Однако в каждой задаче обязательно присутствуют одни и те же шаги. Авторы [2] приводят основные этапы в обработке естественного языка:

1. Сбор данных (data acquisition).
2. Очистка текста (text cleaning).
3. Предобработка текста (text preprocessing).
4. Построение признаков (feature engineering).
5. Построение модели (modeling).
6. Валидация (evaluation).
7. Развёртывание модели (deployment).
8. Мониторинг и обновление модели (monitoring and model updating).

Далее на рисунке 1 представлена схема [2], отражающая основные этапы при решении задачи из области обработки естественного языка.

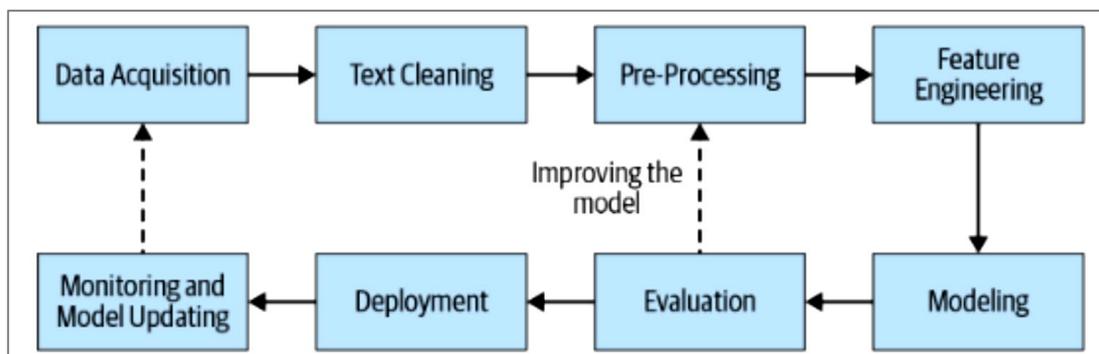


Рис. 1. Основные этапы при решении задачи из области обработки естественного языка

Несмотря на трудности, возникающие при попытках применить методы машинного обучения к задачам из области MLP, основные этапы решения задачи остаются такими же (рис. 1). При этом для построения признакового описания требуется выработать иные подходы, чем для естественного языка. Обзору существующих подходов построения признакового описания объектов в области MLP посвящена данная работа.

Для того, чтобы применить методы машинного обучения в областях NLP, MLP, т.е. к данным в текстовой форме, необходимо представить текст в численной форме, которая могла бы быть обработана с помощью модели машинного обучения.

Для текстовых данных это особенно важно, т.к. в отличие от других данных, таких как изображения (видео), звук (речь) и т.п., текстовые данные не имеют наивного (доступного сразу) численного представления. Авторы [2] представляют следующую категоризацию возможных способов представить текстовые данные:

- векторное представление;
- векторное представление с дистрибутивной семантикой;
- универсальная языковая модель;
- другое.

Математические формулы для обработки на компьютере на сегодняшний день представляются двумя наиболее популярными форматами: *LaTeX* и *MathML*. Оба формата являются текстовыми. Далее на рисунке 2 представлена схема, иллюстрирующая задачу построения признакового описания математических формул.

• LaTeX

$$\frac{a^2 + ab + b^2}{a + b}$$

• MathML

```

<mfrac>
  <mrow>
    <msup><mi>a</mi></msup><mn>2</mn></msup>
    <mo>+</mo>
    <mi>a</mi>
    <mi>b</mi>
    <mo>+</mo>
    <msup><mi>b</mi></msup><mn>2</mn></msup>
  </mrow>
  <mrow>
    <mi>a</mi>
    <mo>+</mo>
    <mi>b</mi>
  </mrow>
</mfrac>

```

$x = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_d \end{bmatrix}$

Рис. 2. Извлечение признаков в области математического языка

Математические выражение (формулы) являются важной частью научной литературы, но большинство современных методов машинного обучения для работы с текстом трудно адаптировать для математического языка. Однако существующие методы извлечения признаков для естественного языка возможно адаптировать для математических формул, совершив переход на уровень символов. То есть рассматривать формулу как целый текст и символ в формуле как слово (токен) в терминах NLP. Подобным образом могут быть адаптированы методы векторного представления, дистрибутивной семантики и универсальные языковые модели.

Пример адаптации простого векторного представления, *TF-IDF*, приведён в [1]. Исследование производилось на задачах классификации и кластеризации текстов с математическими формулами. Для исследования использовались два набора данных *SigMathLing arXMLiv-08-2018* и *NTCIR-11/12 MathIR arXiv*. Плюсы данного подхода:

- простота реализации;
- вектор признаков фиксированной длины;
- небольшой корпус для обучения.

Минусы данного подхода:

- никак не учитывается контекст формулы;

- низкая репрезентативность.

Пример адаптации векторного представления с дистрибутивной семантикой – *Doc2Vec* приведён в [3]. Для исследования использовалась Wikipedia на момент 30 июля 2014г. Было получено порядка 358 тыс. формул в формате LaTeX. Было выделено 892 уникальных символа, которые представлены в формулах. Размерность вектора признаков составила 100. Плюсы данного подхода:

- качественные вектора признаков за счёт использования модифицированного Word2Vec;
- учёт всего контекста формулы сразу за счёт использования вектора параграфа;
- вектор признаков фиксированной длины;
- простота реализации.

Минусы данного подхода:

- необходимо дополнительно реализовать обработку формул на языке LaTeX и выделение отдельных токенов.

Пример адаптации универсальной языковой модели приведён в [4]. Автор исследования предлагает модель на основе трансформеров, которая способна вычислить арифметические выражения. На вход модель получает строку с арифметическим выражением, а на выходе строку с ответом. Для обучения использовались сгенерированные данные – всего 12 миллионов уникальных примеров. Потенциально данная модель на последних слоях содержит обученные веса, которые обучены представлять математическую формулу в сжатом виде, что может быть использовано для получения векторного представления формулы. Плюсы данного подхода:

- репрезентативные вектора признаков;
- учёт всего контекста формулы.

Минусы данного подхода:

- сложность адаптации существующих решений к работе на символьном уровне с символами формул;
- вычислительная сложность;
- необходима очень большая обучающая выборка.

Существуют также другие способы извлечения признаков для математических формул. Авторы подхода *Equation Embeddings* [5] предлагают получать признаки для математических формул с помощью контекста, в котором они находятся. Под контекстом понимается окно некоторой ширины, т.е. множество слов слева и справа от формулы. Вектор признаков для формулы получается как сумма векторов признаков слов из окружающего контекста. Векторы признаков получаются методом Word2Vec. Плюсы данного подхода:

- качественные вектора признаков за счёт использования Word2Vec;
- учёт контекста формулы;
- простота реализации.

Минусы данного подхода:

- необходимо некоторое значительное количество слов вокруг формулы;
- нет возможности работать с формулами без контекста;
- необходима большая обучающая выборка одновременно с большим количеством формул и большим количеством слов.

Для сравнения методов построения признакового описания объектов в области MLP необходимо установить критерии для их сравнения. Критерии должны отражать важные аспекты при решении задачи MLP (NLP).

Скорость обучения. Данный критерий отражает насколько быстро может быть обучена модель, которая представляет векторы признаков.

Необходимый размер корпуса. Данный критерий отражает необходимый размер корпуса, с помощью которого может быть обучена модель, которая представляет векторы признаков.

Простота реализации. Данный критерий отражает, насколько трудно реализовать метод в программном коде, является ли данный метод адаптацией существующего метода в NLP или принципиально отличается.

Репрезентативность получаемых признаков. Данный критерий отражает, насколько хорошо получаемые признаки отражают формулы, учитывают ли они дистрибутивную семантику, контекст формулы, её структуру.

Далее в таблице ниже представлено сравнение методов извлечения признаков объектов для использования методов машинного обучения в задачах MLP.

Таблица. Сравнение методов извлечения признаков в области MLP

	Скорость обучения	Необходимый размер корпуса	Простота реализации	Репрезентативность получаемых признаков
Векторное представление	Высокая	Небольшой	Простая	Низкая
Дистрибутивная семантика	Средняя	Средний	Простая	Средняя
Универсальная языковая модель	Низкая	Большой	Сложная	Высокая
Equation Embeddings	Средняя	Большой	Средняя	Средняя

Из таблицы видно, что лучшей репрезентативностью обладают универсальные языковые модели, однако такие модели требуют много вычислительных ресурсов для обучения, большой обучающей выборки, а также сложной адаптации под задачи MLP. Поэтому перспективнее всего выглядит адаптация векторных моделей с дистрибутивной семантикой. Лучше всего себя показывает метод Doc2Vec – это подтверждают результаты, полученные в [1] и [3].

В качестве продолжения исследования предполагается реализация наиболее перспективного метода Doc2Vec и, возможно, попытка адаптации универсальных языковых моделей ELMo и BERT для обработки формул.

Литература

1. Scharpf P. JCDL '20: Proceedings of the ACM/IEEE Joint Conference on Digital Libraries in 2020 // Classification and Clustering of arXiv Documents, Sections, and Abstracts, Comparing Encodings of Natural and Mathematical Language. 2020. pp. 137-146.
2. Vajjala S. Practical Natural Language Processing. Sebastopol: O'Reilly Media, 2020. 455 pp.
3. Gao L. Preliminary Exploration of Formula Embedding for Mathematical Information Retrieval: can mathematical formulae be embedded like a natural language? // CoRR, Vol. abs/1707.05154, 2017.
4. Wangperawong A. Attending to Mathematical Language with Transformers, Dec 2018.
5. Krstovski K. Equation Embeddings // ArXiv, Vol. abs/1803.09123. 2018.

УДК 004.93'14

АНАЛИЗ ВЗАИМОСВЯЗИ ЛИЧНОСТНЫХ ЧЕРТ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ И ИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ В СОЦИАЛЬНОЙ СЕТИ

Саитов И.А.¹, Гороховатский Л.Ю.¹

Научный руководитель – к.т.н. Суриков А.Г.¹

¹Университет ИТМО

Работа выполнена в рамках темы НИР № 620174 «Инкрементальное обучение моделей психоэмоциональной динамики пользователей и сообществ в цифровых социальных системах».

Мы предлагаем модель кластеризации цифровых следов пользователей социальной сети ВКонтакте на основе модели глубокого обучения VGG16 и алгоритма кластеризации k-средних. Данная модель используется для предиктивной аналитики цифровых следов в виде произвольных изображений. Научная новизна исследования заключается в оригинальности предложенной методики. Предложенный метод, во-первых, напрямую использует сжатое представление изображений вместо тегов объектов. Во-вторых, метод получения представлений кластеров основан на взвешенной оценке пользователей, принадлежащих одному кластеру.

Ключевые слова: социальные сети, изображения, цифровые следы, Большая пятерка, глубокое обучение, киберпсихология.

Введение

Активность людей в социальных сетях является неотъемлемой частью современной жизни. В сети накапливается огромное количество информации о пользователях социальных сетей как о непосредственных участниках. Эта информация выражается в лайках, времени, проведенном в социальной сети, сообщениях и репостах, отправленных сообщениях и других доступных пользователям действиях. В то же время развитие технологий сбора и обработки данных заложило основу для новых направлений исследований в киберпсихологии. Одно из таких направлений – прогнозирование индивидуальных психологических характеристик человека на основе его цифровых следов. Данная проблема актуальна, в свою очередь, в рекомендательных системах, таргетированной рекламе и социологических исследованиях.

Мы ориентируемся на популярную в России социальную сеть ВКонтакте. Исследование направлено на изучение взаимосвязи между изображениями пользователей социальной сети и их личностными чертами с использованием самооценочного набора данных. Мы предлагаем новый подход к кластеризации пользовательских изображений, основанный на прямом использовании полученного представления на выходе модели глубокого кодировщика. Для получения представления кластеров вводится метод взвешивания пользователей, относящихся к данному кластеру.

Литературный обзор

Проблема распознавания личностных черт пользователей по его цифровым следам в киберпространстве активно изучается в последние годы. С помощью специальных алгоритмов [1] можно с большой точностью определять черты личности, мотивы и ценности человека.

Исследование [2] выявило устойчивую взаимосвязь между индивидуальными психологическими характеристиками и поведением в Интернете. На основе различного контента и возможного поведения были рассмотрены видео, музыка, обновление статуса, текстовые сообщения, друзья и лайки. Изображения, размещенные на публичной странице пользователями социальных сетей, также могут быть источником данных или цифровым следом для психотипирования человека. Этот тип цифрового следа широко распространен в социальных сетях и активно изучается [3, 4]. В нашем исследовании изучается контент пользователей в виде размещенных изображений и фотографий.

Развитие алгоритмов компьютерного зрения в области анализа цифрового следа позволило анализировать загружаемые изображения не только с точки зрения общих характеристик [5], но и с точки зрения самого содержания изображений [6, 7]. Однако из-за

неоднозначности подхода к обучению моделей для этой области наиболее популярным является использование предобученных моделей распознавания объектов и окружения, которые, используя API, возвращают набор объектов и тип окружения с числовым эквивалентом достоверности распознавания. Далее по результату работы модели распознавания строится вектор тегов, на основе которого выполняется кластеризация изображения. Однако такой подход зависит от качества обучения модели и в случае ошибочного распознавания приведет к некорректной кластеризации изображения, а также невозможности кластеризации по таким признакам, как схожесть цветовой гаммы.

Кластерный подход для прогнозного анализа размещенных изображений и личностных качеств пользователей также был проведен в [3]. Подобные полученные кластеры используются для характеристики пользователей, относящихся к этому кластеру. Однако авторы учитывали всех пользователей, независимо от количества их фотографий и степени насыщенности фотографий одного кластера.

Наряду с развитием и популяризацией социальных сетей ученые проводили исследования крупнейших социальных и широко распространенных сетей в мире: Facebook [8], Instagram [3], Twitter [4], YouTube [9] или даже кроссплатформенные исследования в Твиттере и Flickr [7]. Хотя активность пользователей в мире в основном распределена между тремя гигантами, такими как Facebook, Twitter и YouTube, в некоторых регионах и странах широко распространены социальные сети, такие как ВКонтакте в России или Qzone в Китае. Следовательно, такие сети имеют свои локальные особенности, основанные на различиях культурного менталитета и функционала социальных сетей, их целенаправленности и возможностей.

Метод

Основная проблема в области психотипирования личности пользователя на основе цифровых следов в виде изображений в социальных сетях – это отсутствие подтвержденной связи между размещенными изображениями и личностными качествами пользователя. Наше исследование направлено на поиск корреляции между характеристиками личностных качеств пользователя и изображениями, размещенными в социальных сетях. Мы предлагаем метод изучения этой взаимосвязи с использованием модели кластеризации изображений для формирования характерных категорий изображений для типов личности пользователей.

Стоит отметить, что в наши дни не существует единой общепринятой модели типизации личности, хотя существует несколько различных подобных систем. В нашем исследовании мы выбрали модель типизации личности Большая пятерка, которая включает пять личностных черт, наиболее не коррелирующих друг с другом: экстраверсия, доброжелательность, сознательность, нейротизм и открытость опыту. Учитывая эти пять характеристик, можно сформировать личностный портрет, который впоследствии может быть использован для прогнозного анализа поведения личности. Эта модель была выбрана на основе исследования, проведенного нашей группой, в ходе которого был составлен датасет из 978 личностных черт пользователей в соответствии с моделью Большая пятерка с использованием факторного анализа.

1. Модель кластеризации

Модели глубокой сверточной сети доказали свою эффективность в задачах обработки изображений. В качестве энкодера мы использовали сверточную часть модели VGG16 с пакетной нормализацией. Поскольку в наших данных не было никаких истинных меток, модель была взята с предобученными на большом наборе данных ImageNet весами. На выходе этой модели мы получили сжатое представление исходного изображения, которое затем было отправлено на постобработку, необходимую для уменьшения размерности для ускорения вычислений и нормализации вывода для более качественной кластеризации. Для кластеризации признаки выпрямляются (англ. straighten) и сокращаются с помощью анализа главных компонент (англ. Principal Component Analysis, PCA) до 256 измерений, отбеливаются (англ. whiten) и нормализуются с помощью l2-нормы (англ. l2 norm). Подробная визуальная интерпретация предложенной модели показана на рисунке.

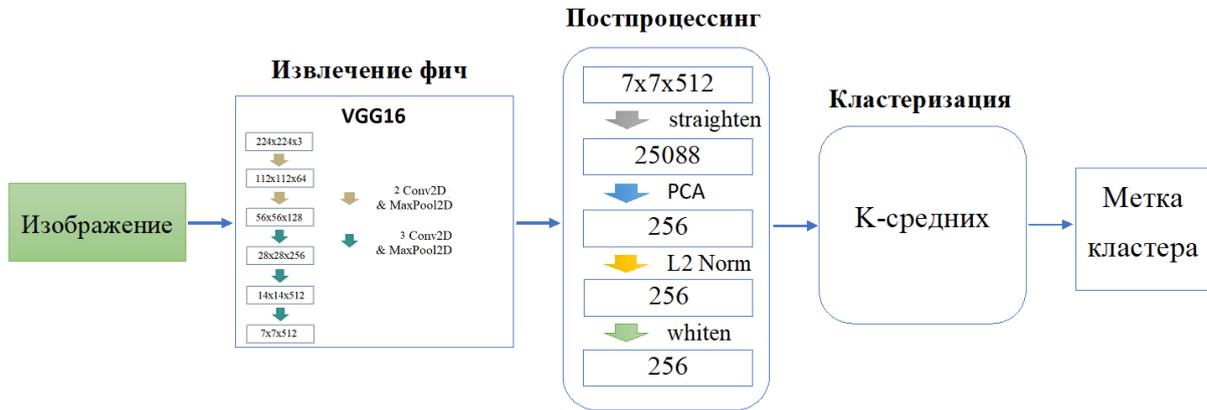


Рисунок. Предлагаемая модель с предобученной VGG16 в качестве энкодера и блоком постпроцессинга с алгоритмом К-средних в качестве кластеризации

Кластеризация проводилась с использованием реализации алгоритма k -средних из библиотеки Python scikit-learn. В результате кластеризации был получен набор меток L^p для каждого изображения i_p пользователя p (общее количество пользователей p). Значения меток $l_{ip} \in C^{(j)}$, где $C^{(j)}$ – набор кластеров.

2. Получение кластерного представления

В соответствии с идеей взвешивания пользователей, относящихся к данному кластеру, была предложена следующая процедура для определения характерного представления кластеров.

По собранному набору меток L^p для каждого пользователя p было вычислено количество изображений N_{cp} в кластере c . Эта информация вместе с доступными личностными чертами пользователя $T^{(p)}$ в дальнейшем использовалась для определения характерного представления кластера.

$$w_{cp} = \frac{N_{cp}}{N_p}, \quad (1)$$

где N_{cp} – это количество изображений в кластере c пользователя p , N_p – это количество изображений пользователя p .

Используя выражение (1) для конкретного кластера c , набор весов кластера может быть определен следующим образом: $W_c = \{w_{cp}\}$, где $p = \{1, \dots, P\}$, $c \in C^{(j)}$. Эти наборы весов кластера характеризуют, сколько изображений пользователя i_p относится с данным кластером c .

На этапе предварительной обработки удалялись выделявшиеся из общей массы пользователи со слишком большим количеством изображений ($N_p \geq 1000$) и слишком малым ($N_p \leq 10$). Этот шаг был выполнен, поскольку пользователи со слишком большим количеством изображений будут иметь значительную долю изображений во многих кластерах и составлять всю репрезентативность кластеров, в то время как пользователи со слишком низким числом, если бы у них было хотя бы одно изображение в этом кластере, уже были бы имели значительный вес.

Набор кластерных c весов W_c после вычисления был отсортирован по возрастанию. Затем среди всех пользователей, у которых были изображения данного кластера, были выбраны 10 лучших пользователей B_c по максимальным десяти значениям из набора весов кластера W_c .

$$R_{ck} = \text{median}(T_k^{(p)}), \quad (2)$$

где $p \in B_c$, k – это номер характеристики Большой пятерки.

После выбора 10 лучших пользователей кластерное представление R_c было рассчитано как среднее (2) для каждой личностной черты пользователя $T_k^{(p)}$ и округлено. до ближайшего целого числа. Полученный набор значений был принят в качестве представления кластера.

Эксперименты

1. Данные и предварительная обработка

Данные представляли собой набор характеристик Большой пятерки для каждого из 978 пользователей, участвовавших в тестировании, а также извлеченные открытые данные загруженных изображений этих пользователей на личной странице в социальной сети ВКонтакте. Оценочные характеристики по модели Большая пятерка выражались числами в диапазоне от нуля до единицы, где значения, близкие к нулю, указывают на низкую степень выраженности данной характеристики, а значения, близкие к единице, – на сильную.

Извлеченные пользовательские данные представляли собой доступные изображения, сделанные с максимальным разрешением. Общее количество проанализированных изображений составляет 62720. Поскольку оценочные характеристики пользователей, у которых нет открытых изображений, незначимы, была произведена фильтрация, после чего 399 пользователей остались хотя бы с одним изображением на своей личной странице.

2. Кластеризация

В таблице показаны полученные результаты качества кластеризации для каждого гиперпараметра K с помощью внутренних метрик кластеризации индекса Дэвиса-Болдина и коэффициента силуэта.

Таблица. Метрики кластеризации для каждого гиперпараметра K алгоритма K - средних. Выбранный K и соответствующие ему значения метрик выделены жирным шрифтом

K	Индекс Дэвиса-Болдина	Коэффициент силуэта
10	6.43	0.011
15	7.12	0.015
20	6.38	0.016
25	6.45	0.018
30	6.08	0.019
35	5.92	0.020
40	5.75	0.022
45	5.57	0.023
50	5.52	0.023

Результаты показывают, что с увеличением количества кластеров значения внутренних метрик улучшаются. Однако в связи с последующим ручным экспертным анализом в качестве количества исследуемых кластеров было выбрано $K = 30$, после чего улучшение показателя существенно замедляется.

Медиана характеристик Большой пятерки также была рассчитана для всего набора данных. Итоговое значение демонстрирует явный сдвиг всех характеристик в сторону высоких значений. Ввиду этого интерпретация результатов была далее дана на основе отклонения от полученного медианного значения по всему набору данных.

3. Интерпретация

Следующие результаты были получены в результате экспертного заключения психолога-специалиста. Прослеживается четкая связь между содержанием изображений и уровнем выражения признаков. Мы можем описать кластеры, определенные как «лица», «кошки» и «пейзажи». Относительно низкое сознание может быть связано с «лицами» косвенно тем, что человек ищет себя, имеет относительно низкий уровень чувства собственного Я, ищет это Я в лицах других людей, пытается найти свою личность. Низкая экстраверсия соответствует, что интроверты не любят фотографировать людей, они менее сосредоточены на них, чем на домашних животных. Взаимосвязь низкой доброжелательности и пейзажей можно интерпретировать как тенденцию к природе и устойчивому образу жизни, а не через социальное взаимодействие.

Анализ выявил сходство некоторых представлений кластеров, полученных при серьезной разнице в содержании самих этих кластеров. В соответствии с этим наблюдением было признано сходство психотипов пользователей, относящихся к этим кластерам, и предложена возможность объединения таких кластеров.

Выводы

В данной работе был сформирован набор изображений пользователей социальной сети ВКонтакте, прошедших психотипирование по модели Большой пятерки. Была реализована предложенная модель кластеризации на основе модели глубокого обучения VGG16, блока постобработки и алгоритма k-средних. Показана эффективность научной новизны работ по прямому использованию сжатого представления для кластеризации цифровых следов в виде изображений. А также новая процедура расчета представления кластера на основе взвешивания количества пользовательских изображений, относящихся к одному кластером. С помощью кластерного анализа исследованы взаимосвязи сформированных кластеров с особенностями психотипа пользователей социальных сетей и дана первоначальная интерпретация полученных результатов.

Одним из направлений дальнейших исследований является улучшение качества кластеризации для более точной группировки похожих изображений и, следовательно, более точной идентификации пользователей, принадлежащих к этим кластерам. Планируется проведение расширенного корреляционного анализа между сформированными кластерами и характеристиками психотипов пользователей, чтобы выявить дополнительные менее представленные взаимосвязи. Мы также предполагаем многофакторный анализ представленных кластеров с учетом демографической (например, возраст, пол) информации пользователей и лайков, репостов и комментариев под фотографиями. Эта информация поможет глубже взглянуть на взаимосвязь между содержанием личных изображений пользователей и их личностным портретом.

Литература

1. Azucar D., Marengo D., Settanni M. Predicting the Big 5 personality traits from digital footprints on social media: A meta-analysis // *Personality and Individual Differences*. 2018. С. 150-159.
2. Back, M.D., Stopfer, J.M., Vazire, S., Gaddis, S., Schmukle, S.C., Egloff, B., Gosling, S.D. Facebook profiles reflect actual personality, not self-idealization // *Psychological science*. 2010. №. 3. С. 372-374.
3. Ferwerda B., Tkalcic M. You are what you post: What the content of instagram pictures tells about users' personality // *The 23rd International on Intelligent User Interfaces*, March 7-11, Tokyo, Japan. – CEUR-WS. 2018.
4. Guntuku S.C., Preotiuc-Pietro D., Eichstaedt J.C., Ungar L.H. What twitter profile and posted images reveal about depression and anxiety // *Proceedings of the international AAAI conference on web and social media*. 2019. С. 236-246.
5. Guntuku S.C., Roy S., Weisi L. Personality modeling based image recommendation // *International Conference on multimedia modeling*. – Springer, Cham. 2015. С. 171-182.
6. Guntuku S.C., Lin W., Carpenter J., Ng W.K., Ungar L.H., Preoțiu-Pietro D. Studying personality through the content of posted and liked images on Twitter // *Proceedings of the 2017 ACM on web science conference*. 2017. С. 223-227.
7. Samani Z.R., Guntuku, S.C., Moghaddam, M.E., Preoțiu-Pietro D., Ungar, L.H. Cross-platform and cross-interaction study of user personality based on images on Twitter and Flickr // *PloS one*. 2018. T. 13. №. 7. С. e0198660.
8. Farnadi G., Tang J., De Cock M., Moens M.F. User profiling through deep multimodal fusion // *Proceedings of the Eleventh ACM International Conference on Web Search and Data Mining*. 2018. С. 171-179.
9. Biel J.I., Tsiminaki V., Dines J., Gatica-Perez D. Hi YouTube! Personality impressions and verbal content in social video // *Proceedings of the 15th ACM on International conference on multimodal interaction*. 2013. С. 119-126.

УДК 004.81

РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМА АНАЛИЗА ТОНАЛЬНОСТИ ТЕКСТА В ЧАТЕ ВИДЕОКОНФЕРЕНЦСВЯЗИ

Самигулин Т.Р.¹

Научный руководитель – д.т.н., доцент Басов О.О.¹

¹Университет ИТМО

Работа выполнена в рамках темы НИР №620186 «Разработка средств оценивания уровня удовлетворенности студентов процессом дистанционного обучения посредством видеоконференцсвязи».

В работе представлены результаты реализации алгоритма анализа тональности текста с использованием нейронной сети LSTM. Описаны этапы подготовки и обучения данных.

Ключевые слова: обработка естественного языка, анализ тональности, предобработка текста, нейронные сети, LSTM.

Анализ тональности текста на естественном языке на сегодняшний день является актуальной задачей. Но, несмотря на большое количество исследований по данной тематике, практически нет источников, где описывался бы полный цикл реализации алгоритма анализа тональности для прикладной задачи. Во всех актуальных исследованиях либо отсутствует описание предобработки данных, что делает невозможным повторить эксперимент, либо исследование проводилось на синтетических данных и никак не тестировалось на реальных данных, что не позволяет точно оценить качество реализации. Также, несмотря на большое количество исследований в англоязычном сегменте, все еще очень мало исследований, которые бы проводились на русскоязычных данных.

В данной работе описан процесс обучения модели на основе нейронных сетей для классификации тональности текста на два класса: положительная и негативная тональность. Модель планируется использовать для предсказания тональности текста в чате Zoom-конференции. В связи с чем актуальной становится задача подбора подходящей выборки данных для обучения модели. При этом указанная выборка должна соответствовать следующим критериям:

- тексты должны быть небольшой длины;
- набор текстов не должен быть привязан к определенной тематике.

Данным критериям соответствует набор данных RuTweetCorp [1], содержащий ~220000 размеченных по тональности русскоязычных твитов. На рисунке 1 показана гистограмма распределения длин сообщений в выборке. Выборка разделена на положительные и негативные сообщения примерно в соотношении 50 на 50. Также в датасете содержится 17 миллионов неразмеченных твитов, которые используются для обучения модели word2vec.

Перед началом использования данных и обучения моделей был проведен этап предобработки – очистки данных от нерелевантной информации. В ходе экспериментов установлено, что наибольшую эффективность для этой цели обеспечивают следующие методы очистки данных:

- приведение к нижнему регистру;
- удаление стоп-слов;
- удаление пунктуации;
- лемматизация - приведение к начальной форме слова.

Выборка разделена на обучающую и валидационной в соотношении 70 на 30.

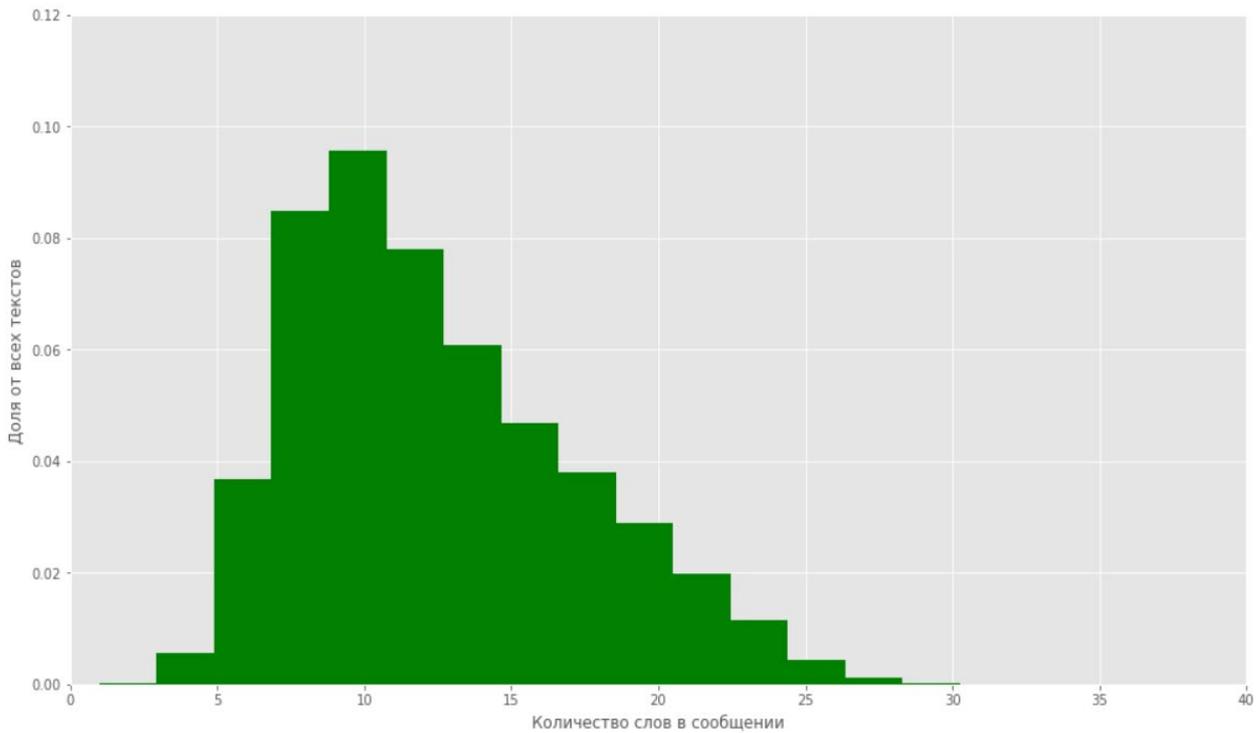


Рис. 1. Гистограмма распределения длин сообщений

Следующим этапом предобработки данных являлась векторизация. Слова были преобразованы в их векторное представление для дальнейшей передачи разработанной модели. Для векторизации использовался метод на основе нейронных сетей word2vec, который учитывает семантическую близость слов и назначает похожим словам близкие вектора. Модель word2vec [2] обучалась с помощью указанных выше 17 млн размеченных твитов.

После окончания этапа очистки и векторизации данные использовались для обучения модели нейронной сети, в качестве которой использовалась архитектура однослойной biLSTM (рис. 2) [3] – разновидности рекуррентной нейронной сети. Особенность данных нейронных сетей в том, что нейроны сохраняют свое прошлое состояние, что позволяет им обучаться, опираясь на предыдущие слова в контексте, а не только на текущее слово. Преимущество biLSTM в том, что она устойчива к проблеме исчезающего градиента.

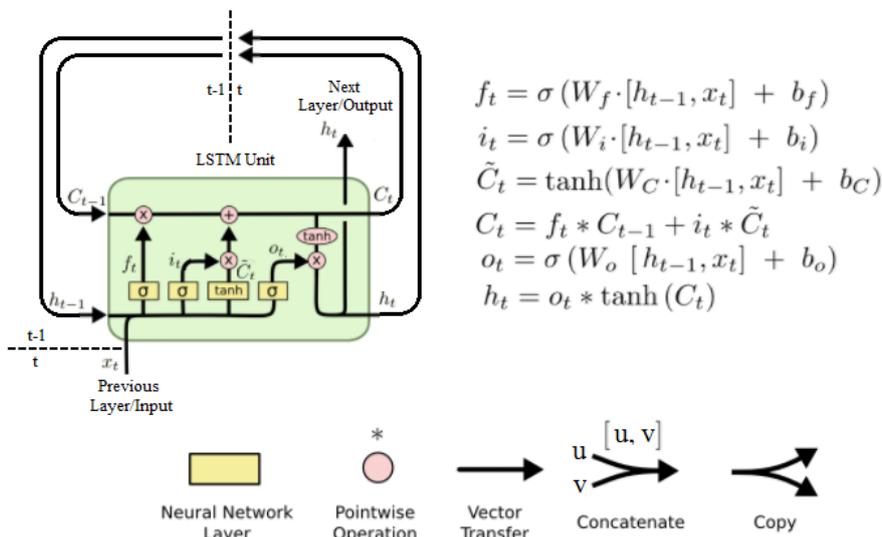


Рис. 2. Архитектура LSTM

На рисунке 3 представлена модель нейронной сети, которая обучалась для предсказания тональности текста. Она состоит из следующих слоев:

- Embedding слоя, в котором происходит представление текстов в виде векторов;
- LSTM слоя с 64 нейронами;
- Dropout слоя, где отбрасывается 25% данных, что необходимо для борьбы с переобучением, чтобы модель не подстраивалась под обучающую выборку;
- полносвязного слоя Dense с 10 нейронами;
- Dropout слоя, где отбрасывается 30% данных.
- полносвязного слоя Dense с одним нейроном и функцией активации softmax, который выдает метку ответа. Параметры сети подобраны с использованием кросс-валидации.

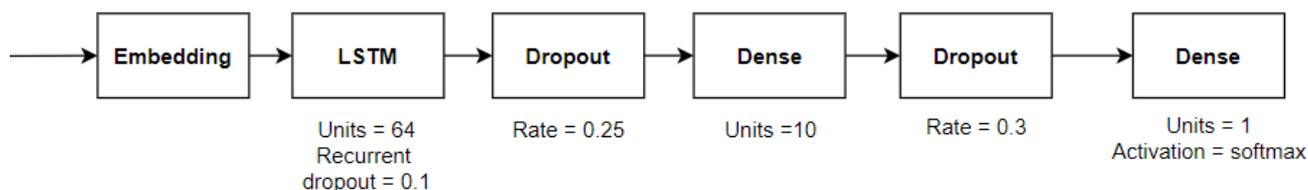


Рис. 3. Модель нейронной сети

На рисунке 4 показаны результаты обучения модели в течение 5 эпох. В качестве метрик оценивались Accuracy, Recall, Precision, F1-мера. Основной метрикой являлась последняя, именно на ее основе оценки происходил перерасчет весов модели во время обучения.

Разработанная модель тестировалась на собранной и размеченной вручную выборке в 400 сообщений из учебных чатов. Тестирование модели на данной выборке показало, что модели на тестовых данных показывает результаты не хуже, чем во время обучения (рис. 5).

Данный факт позволяет сделать вывод о том, что предложенная нейронная сеть LSTM, реализующая механизм определения тональности, может быть использована в дальнейшем. Полученные результаты исследования можно использовать как рекомендации для создания собственного классификатора анализа тональности текста.

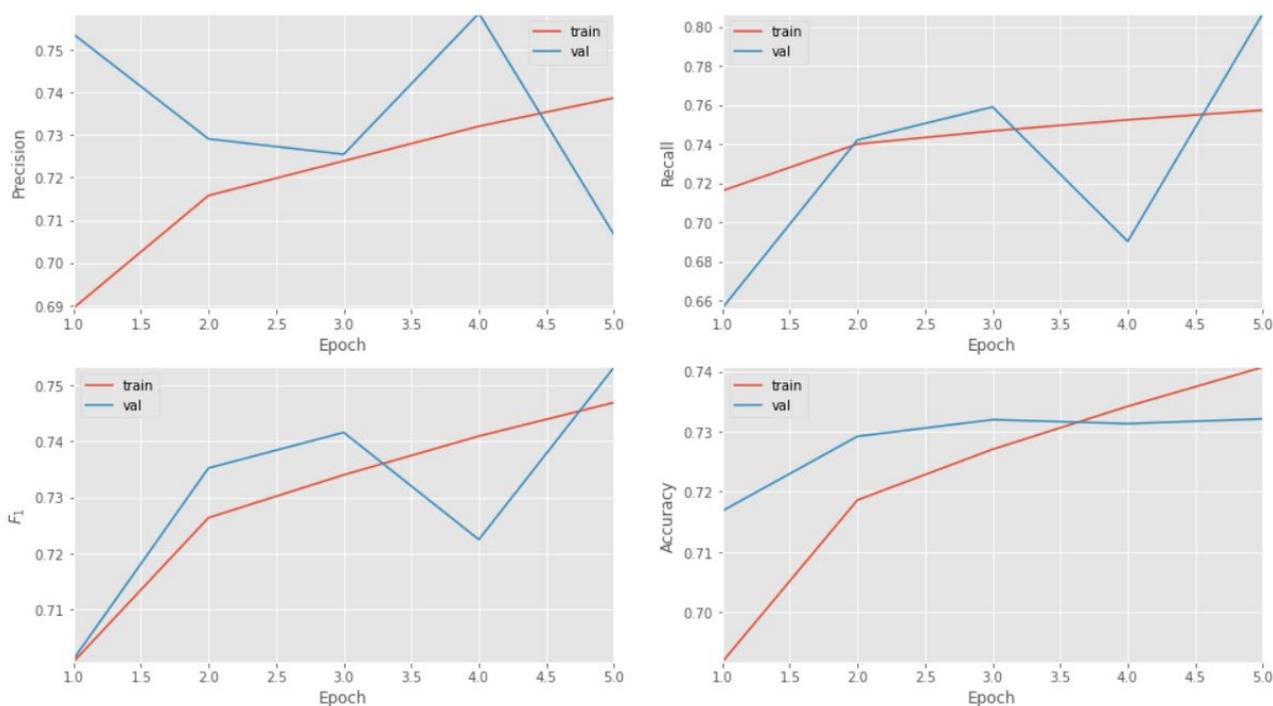


Рис. 4. Изменение метрик во время обучения



Рис. 5. Матрица ошибок

Литература

1. Рубцова Ю. Автоматическое построение и анализ корпуса коротких текстов (постов микроблогов) для задачи разработки и тренировки тонового классификатора, Инженерия знаний и технологии семантического веба. 2012. Pp. 109-116.
2. CHURCH K. W. Word2Vec, Natural Language Engineering. Т. 23. № 1. 2017. Pp. 155-162.
3. Hochreiter S. и Schmidhuber J. Long short-term memory, Neural Computation. 1997. Pp. 1735–1780.

УДК 004.93

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕРЕКРЫТИЙ В РЕЧИ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДОВ COUNTNET И RUANNOTE.AUDIO

Тимофеева Е.П.¹Научный руководитель – PhD Астапов С.С.¹¹Университет ИТМО

В данной работе представлены исследования по определению перекрытий в речи. Для решения этой задачи были выбраны методы CountNet и ruannotate.audio. А в качестве набора данных, на котором проводились эксперименты, был использован AMI corpus, так как в этом корпусе содержатся записи встреч, в которых участвуют три и более диктора.

Ключевые слова: перекрытия в речи, нейронная сеть, детектор перекрытий, метод CountNet, метод ruannotate.audio, AMI corpus.

Для систем, обрабатывающих спонтанные многосторонние разговоры, наличие перекрывающейся речи является проблемой, так как такие речевые сегменты назначаются только одному диктору, что приводит к пропускам некоторых частей или даже всей речи в местах, где активно говорят более одного человека. Перекрывающаяся или совмещенная речь возникает при разговоре двух или более людей. Перекрытиями в речи могут считаться перебивания, короткие ответы на фоне или кратковременные перекрытия во время быстрой смены диктора.

CountNet – это модель глубокого обучения, позволяющая оценить количество одновременно говорящих дикторов на одном канале [2]. Модель использует множество методов: сверточные нейронные сети (CNN), рекуррентные нейронные сети (RNN), сверточные рекуррентные нейронные сети (CRNN), а также сверточные рекуррентные нейронные сети с полным диапазоном (F-CRNN) (рис. 1), что позволяет подобрать наиболее подходящую модель для решения конкретной задачи.

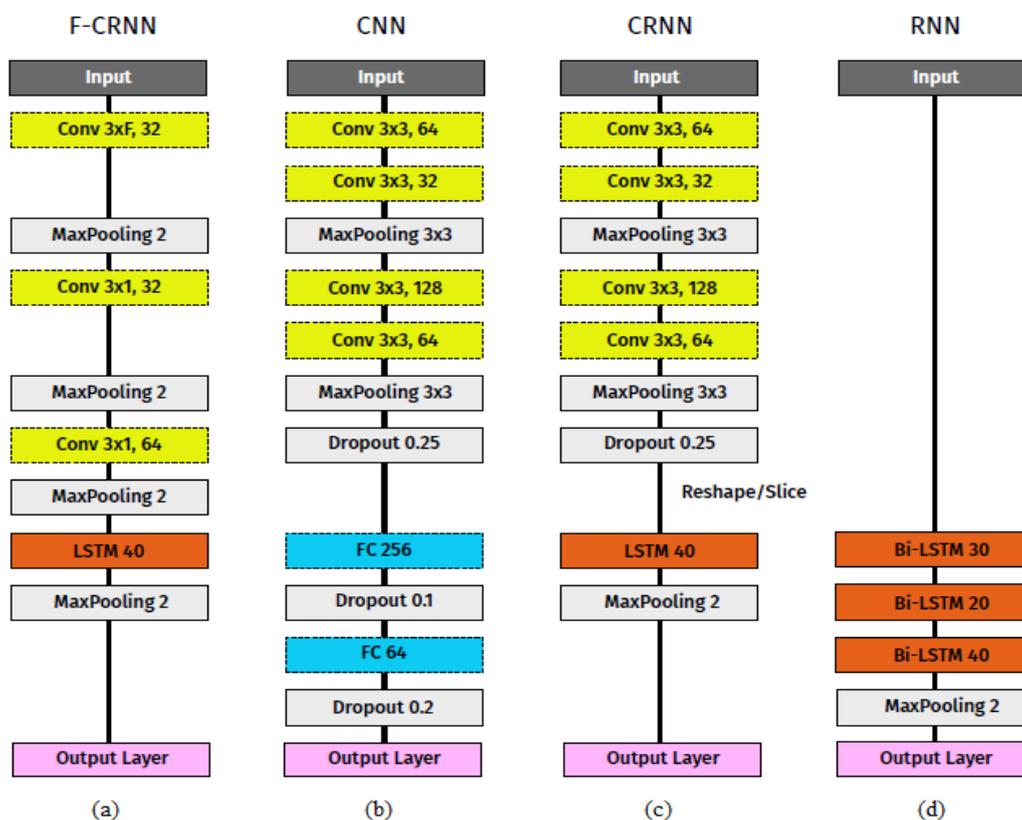


Рис. 1. Модели CountNet [3]

Система ruannotate-audio – это система диаризации, включающая в себя несколько инструментов: определение активной речи (voice activity detection), определение точки смены диктора (speaker change detection), определение перекрытой речи (overlapped speech detection) и получение эмбеддингов диктора (speaker embedding) [4]. Для решения всех этих задач используется метод RyanNet (рис. 2).

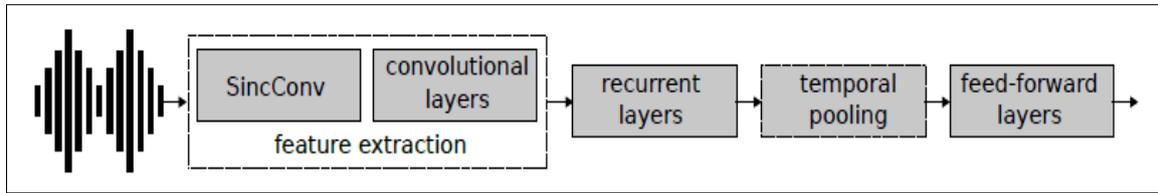


Рис. 2. Метод RyanNet [4]

Набор данных AMI [5] хорошо подходит для задачи определения перекрытий в речи, так как этот корпус состоит из аудиозаписей разных встреч с тремя или более дикторами, где во время разговора часто можно обнаружить перекрытую речь. В таблице 1 приведена информация об общем количестве данных и их процентное соотношение для классов 0 и 1, где 0 – нет перекрытий, 1 – есть перекрытие, и для выборок: обучающая выборка, валидационная и тестовая. Как видно по этой таблице, здесь присутствует небольшой дисбаланс классов, что может повлиять на работу модели, и для улучшения качества нужно сбалансировать эти данные.

Таблица 1. Набор данных AMI для задачи определения пересечений в речи

	Обучающая выборка		Валидационная выборка		Тестовая выборка		Общее количество для классов	
	Count	%	Count	%	Count	%	Count	%
Класс 0	11466	46%	2400	46%	2591	51%	16457	47%
Класс 1	13564	54%	2772	54%	2546	49%	18882	53%
Общее количество для выборок	25030	70%	5172	15%	5137	15%	35339	

Эксперимент проводился для всех моделей на одном и том же наборе данных (AMI MixHeadset), чтобы оценить качество их работы. Результаты для моделей CountNet приведены в таблице 2. По этим результатам видно, что все модели показали хороший результат на тестовых данных.

Таблица 2. Результаты эксперимента для метода CRNN

Модель	Доля правильных ответов (accuracy)	Точность (precision)	Полнота (recall)	F-мера (f1-score)
CNN	0,70	0,73	0,64	0,68
RNN	0,59	0,57	0,52	0,54
CRNN	0,73	0,75	0,74	0,75
F-CRNN	0,66	0,63	0,51	0,53

На рисунке 3 показан график зависимости точности от эпохи для модели CRNN, по этому графику можно сказать, что модель немного переобучается на обучающей выборке, что было очевидно из-за небольшого дисбаланса классов.

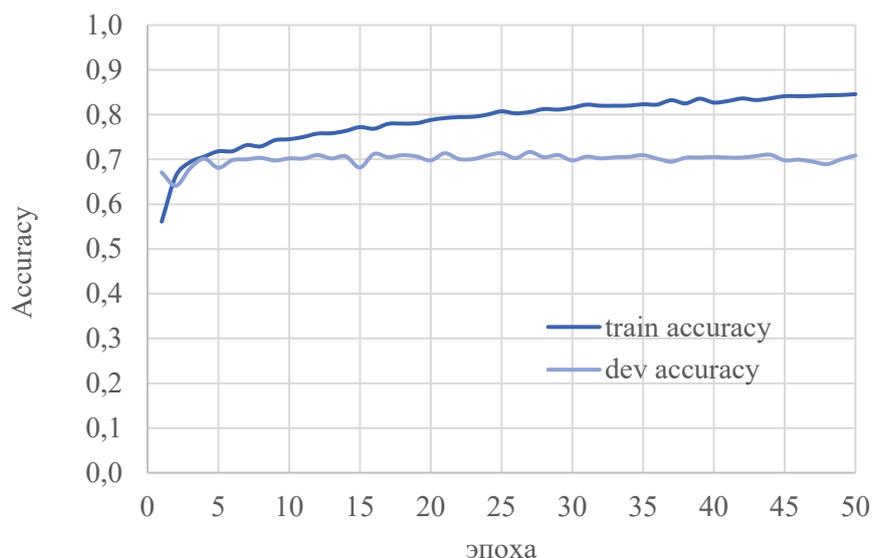


Рис. 3. Значения точности (ассурагу) для модели CRNN на 50 эпохах

Результат модели RyanNet приведен в таблице 3. На этой модели эксперимент проводился для двух сбалансированных классов. Проблема дисбаланса классов была решена с помощью искусственного создания перекрытий. На рисунке 4 показан график зависимости F-меры от эпохи.

Таблица 3. Результаты эксперимента для метода ryannote.audio

Модель	Доля правильных ответов (ассурагу)	Точность (precision)	Полнота (recall)	F-мера (f1-score)
RyanNet	0,89	0,68	0,57	0,66

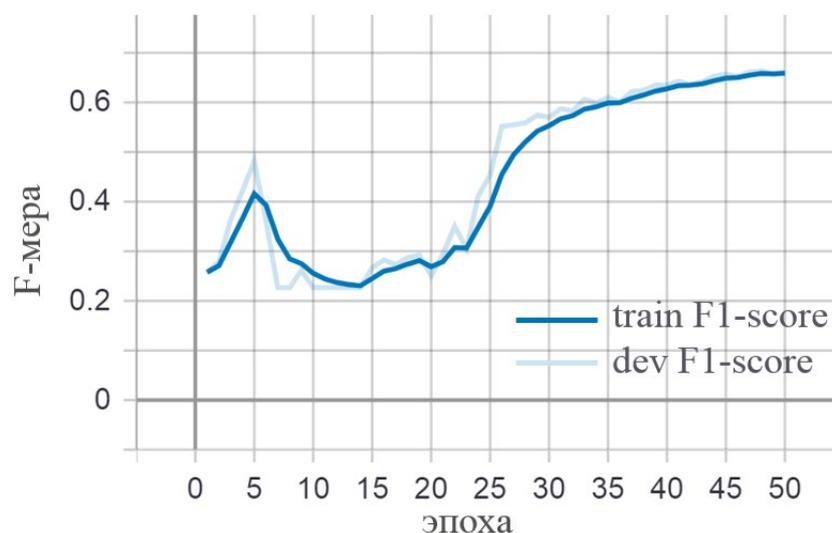


Рис. 4. Значения F-меры (F1-score) для модели RyanNet на 50 эпохах

Совместное использование сверточных и рекуррентных нейронных сетей (CRNN) показал наилучший результат для задачи определения пересечений в речи. Результаты показали, что обнаружение областей с перекрывающейся речью наиболее эффективно обнаруживаются с помощью временного подхода, когда принимается во внимание последовательный характер речи.

Основной проблемой этих данных является несбалансированность классов для задачи определения пересечений. Чтобы решить эту проблему, нужно аугментировать данные или сделать случайную выборку одинаковой размерности для всех классов.

Так как эксперименты проводились на разных моделях, это позволило оценить работу различных архитектур на задаче определения перекрытий в речи. Таким образом, использование сверточных рекуррентных нейронных сетей показало лучший результат для этой задачи.

Литература

1. Astapov S., Popov D., Kabarov V. (2020) Directional Clustering with Polyharmonic Phase Estimation for Enhanced Speaker Localization. In: Karpov A., Potapova R. (eds) Speech and Computer. SPECOM 2020. Lecture Notes in Computer Science, vol 12335. Springer. Pp. 45-56.
2. CountNet [электронный ресурс] – Режим доступа: <https://github.com/faroit/CountNet> – (Дата доступа 18.12.2020).
3. Fabian-Robert Stöter, Soumitro Chakrabarty, Bernd Edler, Emanuël Habets. CountNet: Estimating the Number of Concurrent Speakers Using Supervised Learning. IEEE/ACM Transactions on Audio, Speech and Language Processing, Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2019, Vol. 27, No 2, pp.268-282. 10.1109/TASLP.2018.2877892. lirmm-02010805.
4. Neural speaker diarization with pyannotate-audio [электронный ресурс] – Режим доступа: <https://github.com/pyannotate/pyannotate-audio> – (Дата доступа 10.12.2020).
5. Welcome to the AMI Corpus [электронный ресурс] – Режим доступа: <http://groups.inf.ed.ac.uk/ami/corpus/> – (Дата доступа: 12.02.2021).

УДК 004.8

МУЛЬТИМОДАЛЬНОЕ ПРОСТРАНСТВО ИНТЕРЕСОВ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ В СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЯХ

Щепина Е.К.¹, Егорова Е.В.¹, Федотов П.А.¹
Научный руководитель – к.т.н. Суриков А.Г.¹

¹Университет ИТМО

Работа выполнена в рамках темы НИР № 620174 «Инкрементальное обучение моделей психоэмоциональной динамики пользователей и сообществ в цифровых социальных системах».

Пользователи социальных сетей оставляют многочисленные цифровые следы в киберпространстве. Часть этих цифровых следов можно представить в виде топологий отношений, таких как музыкальные подписки и подписки на группы. В этой статье мы объединяем наши результаты кластеризации, полученные для различных модальностей, в единое мультимодальное пространство интересов и предпочтений пользователей. Данная работа направлена на построение модели интересов пользователей в мультимодальном пространстве и получение хорошо интерпретируемого заключения об интересах пользователей. Результаты могут использоваться независимо как в социальных исследованиях, так и в качестве промежуточного предиктора (эмбединга) для улучшения качества вывода других моделей, например, моделей для получения психологического типа пользователей или предсказательных моделей.

Ключевые слова: обнаружение сообществ в графах, кластеризация, мультимодальное пространство интересов, социальные сети.

Введение

Интернет-личность возникла с расширением использования социальных сетей. В профиле пользователя представлена информация об его интересах и предпочтениях. Мы предлагаем подход к моделированию интересов и предпочтений пользователей. Подход состоит в объединении двух различных модальностей, которыми являются музыкальные подписки и групповые подписки, а затем объединение результатов в единое мультимодальное пространство интересов и предпочтений.

Для разработки модели мы собрали данные из социальной сети ВКонтакте. После этого мы обработали данные и представили их в виде графов, где вершины представляют собой два типа точек интереса: музыканты и группы. Вес ребер пропорционален взаимному количеству подписок пользователей.

Литературный обзор

Обработка музыки пользователей – набирающая вследствие развития музыкальной индустрии и стриминговых сервисов популярность область исследования. Кластеризация музыки позволяет создавать рекомендательные системы, предлагающие пользователям музыку, которая может им понравиться. Работа [1] посвящена кластеризации классической музыки на основании составляющих её аудиосигнала с использованием иерархической кластеризации на трех деревьях. Авторы исследования [2], напротив, кластеризовали композиторов, используя информацию о композиторах, а не аудиосоставляющие их произведений. Возможность и даже превосходство в некоторых случаях графовой кластеризации над ее традиционными аналогами успешно продемонстрирована в работах [3, 4].

Методы обнаружения сообществ применяются для социальных сетей, для выявления интересов и культурных предпочтений пользователей. Subramani Kumar и соавт. [5] применили обнаружение сообществ в социальных сетях, используя кластеризацию на основе плотности. Они сравнили две известные концепции для обнаружения сообществ, которые реализованы как функции расстояния в алгоритмах SCAN и DEN-GRAPH, структурное сходство узлов и количество взаимодействий между узлами, соответственно, чтобы оценить

преимущества и ограничения этих подходов. Построение мультимодальных эмбедингов используется для анализа данных из социальных сетей. Более того, различные модальности могут быть ранжированы в соответствии с их релевантностью для конкретной модели и набора данных [6]. Такие модели могут использоваться в моделях рекомендаций [6, 7] и прогнозных моделях.

Методы

В нашем исследовании используются два алгоритма кластеризации графов: Лувана и Лейдена. Основная идея алгоритма Лувана [8] заключается в оптимизации функции качества кластеризации посредством локального перемещения узлов графа и их последующей группировки. Его основным недостатком является высокая вероятность нахождения слабосвязанных кластеров. Алгоритм Лейдена [8] решает эту проблему, отказываясь от идеи жадного объединения вершин в кластеры. Алгоритм позволяет улучшать качество кластеризации благодаря возможности отнесения узлов графа к любой из групп на стадии объединения, а не только к той, к которой они были отнесены на предыдущем шаге.

Мы рассматриваем данные из двух модальностей: музыка и группы.

Схема анализа данных интересов пользователей в мультимодальном пространстве выглядит следующим образом:

1. Анализ и обработка данных пользователей о группах и сообществах, на которые подписаны пользователи. Построение графа групп, на которые подписаны пользователи, установление связей между группами и получение сообществ в построенном графе.
2. Анализ и обработка музыкальных данных пользователей аналогично шагу 1.
3. Объединение данных в единый граф с целью дальнейшей кластеризации и поиска сообществ по интересам в мультимодальном пространстве.

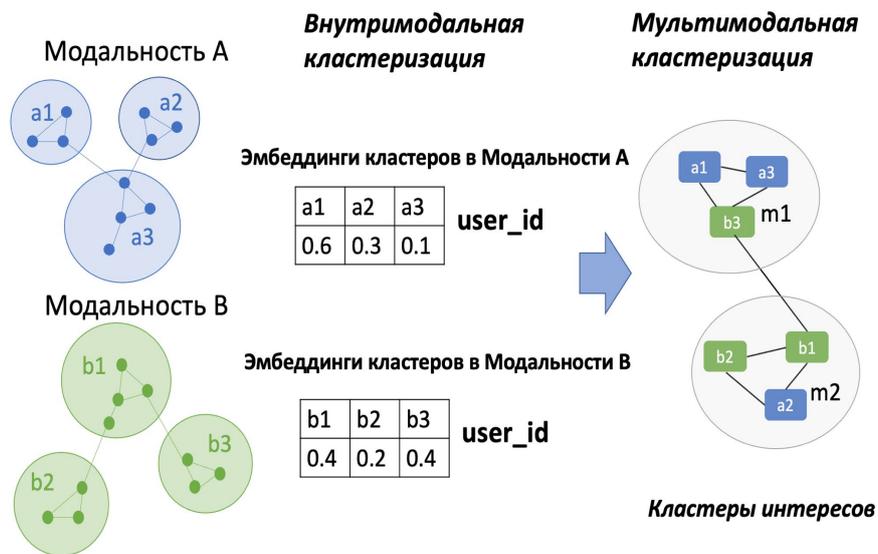


Рис. 1. Иллюстрация исследовательского процесса

Эксперименты

А. Подписки на группы

В данной работе мы используем набор данных, собранный из социальной сети. Набор данных содержит 7598 пользователей и 215487 подписчиков групп, а также информацию о группах (название, статус, количество подписчиков).

Данные обрабатываются следующим образом:

1. Отбираем группы по пороговому значению.
2. Строим матрицу смежности и граф рисунка 2а (где узлы – группы, а ребра – связи пользователей между количеством подписок).

В результате получился граф, разделенный на 15 сообществ. Интерпретация сообществ представлена в таблице 1. Наилучшие показатели качества алгоритма получены при использовании алгоритма Лейдена, как показано в таблице 4.

Таблица 1. Интерпретация кластеров групп

Самые популярные группы	Размер	Интерпретация
Правительство Санкт-Петербурга; ДТП и ЧП Санкт-Петербург; Питер Онлайн	194	Группы о новостях Санкт-Петербурга.
ЗОЖ Я САМ СЕБЕ ТРЕНЕР; Фитнес и здоровье. Диеты и спорт.; СПОРТ - ЭТО ЖИЗНЬ	194	Спорт и здоровый образ жизни.
Наука и Техника; Роскосмос; Высокие Технологии ВысТех; Образовач	168	Наука и современные технологии.

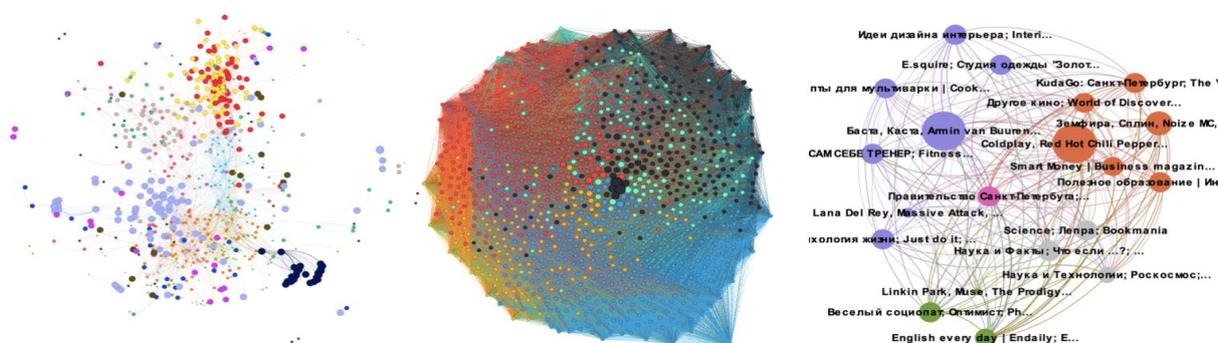


Рис. 2. Результаты кластеризации графов. Слева направо: а) подписки на группы, б) музыкальные подписки, в) мультимодальные интересы

В. Музыкальные подписки

Набор данных о музыке пользователей содержит 116155 уникальных исполнителей и 2664 пользователей.

Предобработка данных включала в себя следующие стадии: удаление некорректных данных, перевод названий исполнителей в нижний регистр, разделение совместных треков исполнителей, исправление опечаток в названиях музыкальных исполнителей в соответствии с наиболее частым их написанием и окончательный отбор только тех исполнителей, которые встречаются по крайней мере у 30 различных пользователей, и только тех пользователей, которые имеют по крайней мере 10 уникальных исполнителей в своих аудиозаписях. Число пользователей после предобработки – 2263, число исполнителей – 1065.

Далее на основе данных взаимосвязи музыкальных исполнителей был построен неориентированный взвешенный граф. Результаты его кластеризации на 5 групп методом Лейдена представлены на рисунке 2.б.

Рисунок 2.б показывает, что алгоритм нашёл 4 хорошо различимых кластера (синий, красный, чёрный и жёлтый цвета) и 1 слабо различимый – самый малый по размеру. В таблице 2 представлена интерпретация каждого из кластеров.

Интерпретация результатов кластеризации показывает, что алгоритм Leiden смог разделить музыкальных исполнителей по жанрам и аудитории на основании одной только принадлежности музыкальных песен аудиозаписям пользователей.

Таблица 2. Интерпретация кластеров музыки

Самые популярные исполнители	Размер	Интерпретация
Coldplay, Red Hot Chili Peppers, Moby, Arctic Monkeys	296	Англоязычные исполнители инди- и альтернативного рока
Баста, Каста, Armin van Buren, Мадонна, Рианна	296	Русско- и англоязычные рэп и поп исполнители, популярные среди молодёжи в России
Земфира, Сплин, Noize MC, Ленинград, Би-2	215	Русско- и англоязычные рок-исполнители, популярные среди людей среднего и старшего возраста в России
Lana Del Rey, Massive Attack, Eminem, Kanye West, The Weeknd	138	Англоязычные исполнители любых жанров, популярные среди людей всех возрастов
Linkin Park, Muse, The Prodigy, Metallica, Nickelback	120	Англоязычные исполнители различных видов рока (в среднем “более тяжёлого”, чем в кластере 1)

С. Мультимодальный анализ

Для анализа мультимодальных данных об интересах пользователей сообщества, полученные на этапах 4.1 и 4.2, рассматриваются в едином пространстве с целью дальнейшей кластеризации. На основе вероятностей эмбедингов отнесения пользователей в музыкальные сообщества и сообщества групп строится граф, вершинами которого являются выявленные сообщества (кластеры), ребра отражают связь между сообществами с весом, пропорциональным усредненной сумме вероятностей отнесения пользователей к обоим вершинам – сообществам.

Таблица 3. Описание мультимодальных сообществ

Лучшие товары в сообществах	Размер	Интерпретация
<u>Группы</u> : Идеи дизайна интерьера, Студия одежды, ЗОЖ, Психология жизни, Just do it, Рецепты, Женский журнал, Мода и стиль, Женские мысли. <u>Музыка</u> : Баста, Каста, Lana Del Rey, Massive Attack.	7	Интересы, включающие рецепты, моду, а также некоторые группы, посвященные активному образу жизни и здоровому питанию, мотивирующие цитаты, популярные поп-исполнители.
<u>Группы</u> : События Санкт-Петербурга, Кино, Мир открытий, Полезное образование, Книжки <u>Музыка</u> : Coldplay, Red Hot Chili Peppers, Земфира, Сплин, Noize MC.	6	Группы о бизнесе, книгах и кино. В музыкальных сообществах представлены английские и русские рок-исполнители для людей среднего возраста.
<u>Группы</u> : Повседневный английский, Английская школа, Весёлый социопат, Оптимист, Сарказм. <u>Музыка</u> : Linkin Park, Muse, The Prodigy, Metallica, Nickelback.	3	Музыкальные исполнители разных более тяжелых поджанров рока, группы по изучению английского языка и группы с интересными постами и мемами.

Кластеризация выполняется двумя алгоритмами: K-Means и Agglomerative Clustering, которые выявили 5 сообществ. В таблице 5 представлены показатели мультимодальной кластеризации. Мы рассчитали и сравнили показатели и в результате выбрали алгоритм K-Means для дальнейшего анализа.

Визуализация наилучшей кластеризации алгоритмом K-Means показана на рисунке 2.с. В таблице 3 представлено описание трех из пяти выделенных сообществ.

Пользователи, принадлежащие к выбранным сообществам, имеют определенные сходства в своих интересах. Кроме того, используя, например, первый кластер, мы можем даже сделать предположение о поле пользователей, принадлежащих к этому сообществу.

Таблица 4. Метрики кластеризаций

Этап	Алгоритм	Число кластеров	Модулярность	Коэффициент силуэта	Индекс Калински-Харабаша	Индекс Дэвиса-Болдуина
Кластеризация подписок на группы	Leiden	15	0.191	0.234	181	3.524
	Louvain	6	0.11	-0.363	161.82	3.249
Кластеризация музыкальных подписок	Louvain	3	-0.025	-0.011	4.857	14.845
	Leiden	5	-0.028	-0.002	6.304	9.704
Мультимодальная кластеризация	K-Means	5	-0.047	0.079	3.514	1.493
	Agglomerative Clustering	6	-0.049	0.09	3.281	1.326

Заключение и дальнейшая работа

В данной работе была построена модель мультимодальных эмбедингов описания пользователя в пространстве его интересов. Путем анализа обнаруженных сообществ на каждом этапе кластеризации сходные интересы были отнесены к одним сообществам. Все музыкальные сообщества и сообщества групп имеют качественную интерпретацию, и только часть сообществ в финальной кластеризации имеет качественную интерпретацию.

В будущих работах мы планируем рассматривать не только модальности музыкальных интересов и подписок на группы, но и другую доступную информацию в социальных сетях в качестве модальностей для составления полного портрета пользователя и наиболее точного отображения пользователя в пространстве его интересов. Дальнейшие исследования будут сосредоточены на рассмотрении динамических изменений интересов пользователей в течение определенного периода времени. Для этого мы построим уникальные траектории интересов. В будущем эта модель может значительно улучшить алгоритмы прогнозирования и алгоритмы для топологий.

Литература

1. Cilibrasi R., Vitányi P. and De Wolf R. Algorithmic clustering of music. 2004, doi: 10.1109/WDM.2004.1358107.
2. Georges P. and Nguyen N. Visualizing music similarity: clustering and mapping 500 classical music composers, Scientometrics. 2019, doi: 10.1007/s11192-019-03166-0.

3. Halim Z. and Khattak J. H. Density-based clustering of big probabilistic graphs, *Evol. Syst.* 2019, doi: 10.1007/s12530-018-9223-2.
4. Liu Z. and Barahona M. Graph-based data clustering via multiscale community detection, *Appl. Netw. Sci.* 2020, doi: 10.1007/s41109-019-0248-7.
5. Subramani K., Velkov A., Ntoutsis I., Kroger P. and Kriegel H. P. Density-based community detection in social networks. 2011, doi: 10.1109/IMSAA.2011.6156357.
6. Tao Z., Wei Y., Wang X., He X., Huang X. and Chua T. S. MGAT: Multimodal Graph Attention Network for Recommendation, *Inf. Process. Manag.*, vol. 57, no. 5, p. 102277. 2020, doi: 10.1016/j.ipm.2020.102277.
7. Lv J., Song B., Guo J., Du X. and Guizani M. Interest-Related Item Similarity Model Based on Multimodal Data for Top-N Recommendation. *IEEE Access*, vol. 7, no. c, pp. 12809–12821, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2893355.
8. Traag, V.A., Waltman, L. & van Eck, N.J. From Louvain to Leiden: guaranteeing well-connected communities. *Sci Rep* 9, 5233 (2019). <https://doi.org/10.1038/s41598-019-41695-z>.

УДК 004.852

CROSS-SOURCE MULTI-VIEW LEARNING FOR PERSONALITY PROFILING

Ян Ци¹

Научный руководитель – PhD, философские науки Фарсеев А.И.¹

¹Университет ИТМО

В настоящее время социальные сети играют решающую роль в повседневной жизни человека и больше не связаны исключительно с проведением свободного времени. Фактически, мгновенное общение с друзьями и коллегами стало важным компонентом нашего повседневного взаимодействия, что привело к появлению множества новых типов социальных сетей. Участвуя в таких сетях, люди генерируют множество точек данных, которые описывают их действия с разных точек зрения и, например, могут в дальнейшем использоваться для таких приложений, как персонализированные рекомендации или профилирование пользователей. Однако влияние различных социальных сетей производительности моделей машинного обучения еще не изучено всесторонне. В частности, литература по моделированию мультимодальных данных из нескольких социальных сетей относительно немногочисленна, что вдохновило нас на более глубокое погружение в эту тему в этом предварительном исследовании. В этой работе мы изучим эффективность различных моделей машинного обучения, когда изучили на мультимодальных данных из различных социальных сетей. Наши первоначальные экспериментальные результаты показывают, что выбор социальной сети влияет на производительность, и правильный выбор источника данных имеет решающее значение.

Ключевые слова: машинное обучение, анализ социальных сетей, профилирование пользователей.

В последние годы появилось множество новых типов платформ социальных сетей. Они объединяют человеческие взаимодействия по всему миру и служат важным средством повседневного общения. Чтобы удовлетворить различные потребности человека в общении, многие из таких социальных сетей исторически были адаптированы для обслуживания различных. Например, в Японии Twitter часто используется для формального взаимодействия, в то время как Instagram традиционно рассматривается как место визуального обмена для молодых людей. В то же время можно заметить, что люди используют обычные социальные сети, такие, как и Facebook, сверхурочные смещаются в сторону личных сообщений без особого публичного воздействия.

Участвуя в платформах социальных сетей, люди создают множество мультимодального контента, который описывает их деятельность с разных точек зрения. В свою очередь, такой контент можно использовать для различных приложений, таких как персонализированные рекомендации или автоматическое профилирование пользователей. Эти приложения необходимы для широкого спектра современных ориентированных на ценности отраслевых и исследовательских сценариев. Например, черты личности, которые отражают эмоциональные характеристики и ментальный статус человека, могут быть эффективно использованы в маркетинге, HR и общественных местах. В то же время такие знания могут также способствовать различным исследовательским открытиям, способствуя лучшему пониманию причин определенного человеческого поведения.

Из прошлых работ очевидно, что модели машинного обучения могут достигать более высокой производительности при обучении на данных нескольких модальностей, когда такие многовидовые данные моделируются взаимно согласованным и всеобъемлющим образом до или вовремя [1], однако влияние различных источников данных (социальных сетей) на производительность машинного обучения еще не изучено всесторонне и, следовательно, требует дальнейшего изучения.

Вдохновленные указанным выше пробелом в исследовании, в этом исследовании мы стремимся к дальнейшему изучению влияния моделей использования социальных сетей и разнообразия контента на производительность модели машинного обучения. В частности, мы исследуем влияние выбора сети социальных сетей на производительность многовидовых

моделей машинного обучения при обучении прогнозированию личности человека на основе общедоступного мультимодального контента социальных сетей.

Профилирование личности на основе данных из нескольких источников с несколькими представлениями - сложная проблема. Во-первых, для этого требуется надлежащий подход к сбору данных, позволяющий собирать данные с нескольких точек зрения из различных социальных сетей, снабженных меткой достоверной информации о личности, что сложно из-за ограничений конфиденциальности и отсутствия общедоступной информации о личности пользователей социальных сетей. Во-вторых, интеграция и дальнейшее моделирование таких неструктурированных многовидовых данных из нескольких источников взаимно согласованным и всеобъемлющим образом является хорошо известным способом решить одну только сложную задачу машинного обучения.

Вдохновленные указанными выше проблемами и пробелом в исследованиях, в этом исследовании мы задаем следующий исследовательский вопрос: **какова роль разных источников данных и методов при обучении из разных социальных сетей?**

Следуя идее выбора социальных сетей с разнообразными и разными моделями использования пользователями, мы выбрали Facebook и Twitter в качестве двух основных источников данных. Twitter был выбран, поскольку это крупнейший в мире англоязычный сервис микроблогов, где пользователи делятся краткими ежедневными обновлениями. Facebook был выбран в качестве крупнейшего в мире средства межличностного общения, которое часто используется для частных обсуждений. Мы собрали общедоступные многовидовые пользовательские данные (изображения и текст) и достоверную информацию о личности из обеих социальных сетей. Истинная информация была извлечена из публичных репостов пользователей. Для каждого собранного профиля мы также загрузили все публичные сообщения, загруженные пользователями, чтобы собрать наш окончательный набор данных. Количество точек данных по каждой модальности данных / метки источника и наземной истины указаны в таблице 1.

Таблица 1. Статистика набора данных

	Twitter	Facebook
Пользователь	2801	13002
Сообщения	2266834	2427579
Изображений	242738	477933
Extroversion	1788	5473
Introversion	1013	7529

Чтобы смоделировать влияние выбора источника данных на производительность профилирования личности, мы сначала представили мультимодальные данные в виде векторов признаков следующим образом:

1. Текстовые данные: во-первых, чтобы представить текстовые данные на уровне пользователя, для каждого пользователя все сообщения были объединены в соответствующие пользовательские «документы». Во-вторых, термин "частота документа с обратной частотой" (TF-IDF) был извлечен для формирования матрицы "документ-термин". Наконец, мы применили скрытый семантический анализ (LSA [2]), поскольку такое преобразование ранее показало значительное повышение производительности [3] при применении для профилирования пользователей. Конечное измерение сжатого текстового вектора признаков было установлено на 100, где новое количество измерений было найдено эмпирически во время поиска по сетке.
2. Визуальные данные: для представления визуальных данных мы автоматически сопоставили каждую фотографию с распределением 1000 концепций изображений ImageNet с помощью предварительно обученной модели ResNet-101 [4]. Затем мы суммировали предсказанные вероятности появления концепции для каждого пользователя и нормализовали полученный вектор на общее количество изображений, доступных от

пользователя. Таким образом, для каждого пользователя мы получили вектор распределения концептов изображения размером 1000. Аналогично текстовой модальности, был применен анализ главных компонентов (PCA) для уменьшения размерности пространства визуальных признаков до 200.

Результат

Чтобы проверить гипотезу и ответить на наш исследовательский вопрос, мы выбрали следующие три подхода к машинному обучению, которые, как было показано ранее, хорошо справляются с задачей профилирования пользователей в недавних оценках PAN: Light Gradient Boosting Machine (LGBM), Linear Regression (LR) и машина опорных векторов с линейным ядром (Linear SVC). Вышеупомянутые три модели были обучены на основе многовидовых данных для выполнения классификации личности из разных модальностей независимо, а также в сочетании друг с другом. условия оценки F с помощью 10-кратной перекрестной проверки.

Таблица 2. Сравнение производительности многовидовых моделей

Модальность	Классификатор	F1	
		Facebook	Twitter
Текст	LR	0.68	0.67
	SVC	0.66	0.65
	LGBM	0.64	0.63
Изображение	LR	0.63	0.56
	SVC	0.62	0.60
	LGBM	0.66	0.58
Текст + Изоб.	LR	0.62	0.66
	SVC	0.70	0.62
	LGBM	0.65	0.65

Результаты оценки представлены в таблице 2. Из таблицы видно, что все три модели достигли одинаковой производительности при обучении в одной текстовой модальности с небольшим улучшением LR и SVC по сравнению с LGBM. Эта находка демонстрирует, что, хотя модели использования социальных сетей в Twitter и Facebook сильно различаются, одна только текстовая модальность имеет схожую прогностическую эффективность для разных социальных сетей и платформ, чтобы лучше обрабатывать их с помощью линейных моделей. Вышеизложенное можно объяснить простотой текстовых данных по сравнению с более сложными и разнообразными визуальными представлениями данных.

В то же время можно заметить значительные различия в производительности моделей при обучении исключительно на основе модальности изображения. В частности, можно увидеть, что все модели смогли извлечь больше пользы от визуальной модальности в Facebook, чем в Twitter. Последний показывает, что выбор источника визуальных данных существенно влияет на производительность модели и что визуальные данные Facebook имеют более высокую предсказательную силу по сравнению с Twitter. Этот вывод можно объяснить разнообразием личного визуального контента, представленного в Facebook: такой контент, используемый в машинном обучении, может помочь моделям более точно прогнозировать личность по сравнению с данными Twitter, где размер сообщения ограничен, а стиль общения менее нагляден и более краток. Вышеупомянутые результаты также хорошо согласуются с анализом весов функций, показывающий, что веса, полученные с помощью визуальной модальности, значительно различаются для Facebook и Twitter.

Наконец, также можно увидеть, что модели, обученные на основе мультимодальных данных, значительно превосходят одномодальные варианты с лучшей производительностью, достигнутой SVC для Facebook. Вышеупомянутое хорошо согласуется с нашими предыдущими выводами, показывающими, что использование данных из нескольких источников полезно для социальных мультимедийных обучающих приложений, в то время

как визуальные данные из Facebook помогают повысить производительность как одномодальных, так и мультимодальных моделей.

Вывод

В этой работе мы представили смелое первоначальное исследование автоматизированного профилирования личности человека с использованием различных модальностей данных и социальных сетей, таких как Facebook, Twitter. В наших будущих работах мы планируем дополнительно изучить влияние различных источников данных на производительность моделей слияния, действующих в межъязыковой и межрегиональной среде.

Литература

1. Farseev, A., and Chua, T.-S. 2017. Tweet can be fit: Integrating data from wearable sensors and multiple social networks for wellness profile learning. *ACM Trans. Inf. Syst.* 35(4): 42:1–42:34.
2. Landauer, T. K.; Foltz, P. W.; and Laham, D. 1998. An introduction to latent semantic analysis. *Discourse Processes* 25(2-3):259–284.
3. Daneshvar, S., and Inkpen, D. 2018. Gender Identification in Twitter using N-grams and LSA: Notebook for PAN at CLEF 2018. In *CEUR Workshop Proceedings*, volume 2125.
4. He, K.; Zhang, X.; Ren, S.; and Sun, J. 2016. Deep residual learning for image recognition. In *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition*. Pp.770–778.

Фотоника

УДК 535.14

АЛГОРИТМ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ ФАНТОМНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА БЕГУЩЕЙ СТРОКИ

Адам Ю.А.¹Научный руководитель – научный сотрудник Наседкин Б.А.¹¹Университет ИТМО

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания (Паспорт № 2019-0903).

В данной работе рассмотрен алгоритм, объединяющий два подхода по восстановлению фантомных изображений: вычислительные фантомные изображения и метод бегущей строки. Объединение рассмотренных методов привело к уменьшению числа итераций, необходимых для восстановления фантомных изображений, а также к улучшению его параметров.

Ключевые слова: вычислительные фантомные изображения, алгоритм бегущей строки, спекл-картина, корреляционная функция, соотношение сигнал-шум.

Фантомные изображения (ФИ) – специальная техника визуализации, где для извлечения информации о неизвестном объекте используется корреляция между двумя пучками. Техника классических псевдотепловых ФИ [1], представленная на рисунке 1, заключается в разделении сгенерированной случайной спекл-структуры на зондирующее и воспроизводящее плечи с собирающим детектором и камерой соответственно. Исследуемый объект располагается в зондирующем плече, и, как следствие, регистрируется лишь суммарная прошедшая интенсивность, а изображение восстанавливается за счет использования функции корреляции флуктуации интенсивностей. В отличие от «классического» случая, для вычислительных фантомных изображений (ВФИ) [2] спекл-картины задаются пространственным модулятором света, что позволяет генерировать уже не случайные, а «структурированные» спекл-картины. Одной из основных проблем техники ФИ остается необходимость в большом количестве итераций для восстановления изображения. Для решения данной проблемы были предложены несколько алгоритмов, один из которых – метод бегущей строки [3]. Для данного метода вместо случайной спекл-структуры используется сплошная горизонтальная (вертикальная) строка, которая при каждой последующей итерации смещается по объекту. В результате, применив корреляционную функцию отдельно к горизонтальным и вертикальным строкам и объединив полученные картины, можно восстановить изображение за относительно небольшое число итераций. Такая техника фантомных изображений получила название быстрых (БФИ). Однако, в зависимости от формы объекта, восстановленное изображение может быть сильно искажено, что значительно ограничивает применение данного алгоритма на практике.

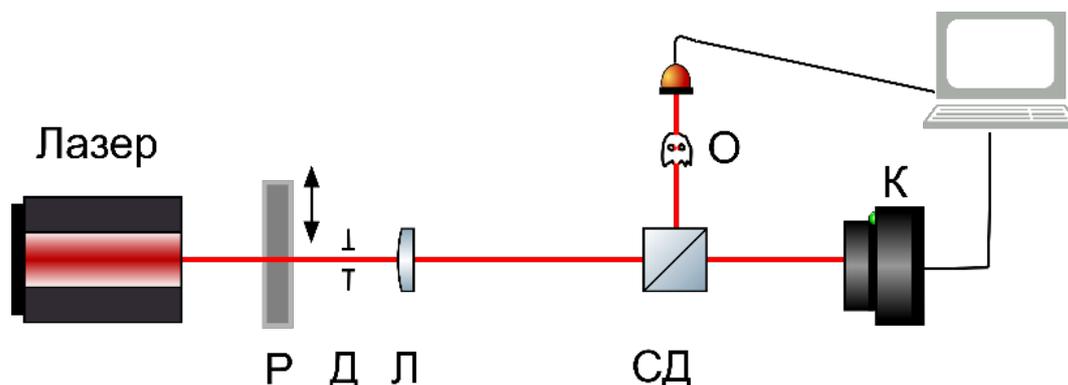


Рис. 1. Принципиальная схема ФИ на псевдотепловом источнике

Нами был предложен алгоритм, объединяющий в себе два представленных подхода, который мы назвали быстрые вычислительные фантомные изображения (БВФИ). Сначала с помощью пространственного модулятора света по методу бегущей строки мы генерируем сплошные чередующиеся горизонтальные и вертикальные полосы и восстанавливаем изображение отдельно для каждой из них с помощью функции флуктуаций корреляций интенсивностей, представленной формулой (1):

$$G_{r,c}(x, y) = \langle B_{r,c} \cdot I_{r,c}(x, y) \rangle - \langle B_{r,c} \rangle \cdot \langle I_{r,c}(x, y) \rangle, \quad (1)$$

где $G_{r,c}$ – восстановленное изображение столбца или строки, $B_{r,c}$ – интенсивность собирающего детектора в зондирующем плече, $I_{r,c}(x, y)$ – интенсивность камеры в воспроизводящем плече, $\langle \cdot \rangle$ – усреднение по всем реализациям. Далее мы получаем конечное изображение метода бегущей строки по формуле (2):

$$G^{(БФИ)} = G_r' \cdot G_c', \quad (2)$$

где $G^{(БФИ)}$ – восстановленное изображение по технике БФИ, G_r' – вертикальный срез изображения строки и G_c' – горизонтальный срез изображения столбца, которые были получены по формуле (1).

Следующим шагом мы получаем изображение по технике ВФИ. Здесь вместо бегущих строк (столбцов), как в предыдущем методе, применяется случайная спекл-структура, которая также генерируется с помощью пространственного модулятора света. Само изображение аналогично восстанавливается по формуле (1) без дальнейшей обработки.

Заключительным шагом является объединение полученных нами изображений по формуле (3):

$$G^{(БВФИ)} = G^{(БФИ)} + k \cdot G^{(ВФИ)}, \quad (3)$$

где $G^{(БВФИ)}$ – восстановленное изображение по технике БВФИ, $G^{(БФИ)}$ – изображение по технике БФИ, k – нормировочный коэффициент. В дальнейшем данный коэффициент мы примем равным 0.5, так как по нашим расчетам он оказался наиболее оптимальным для техники БВФИ.

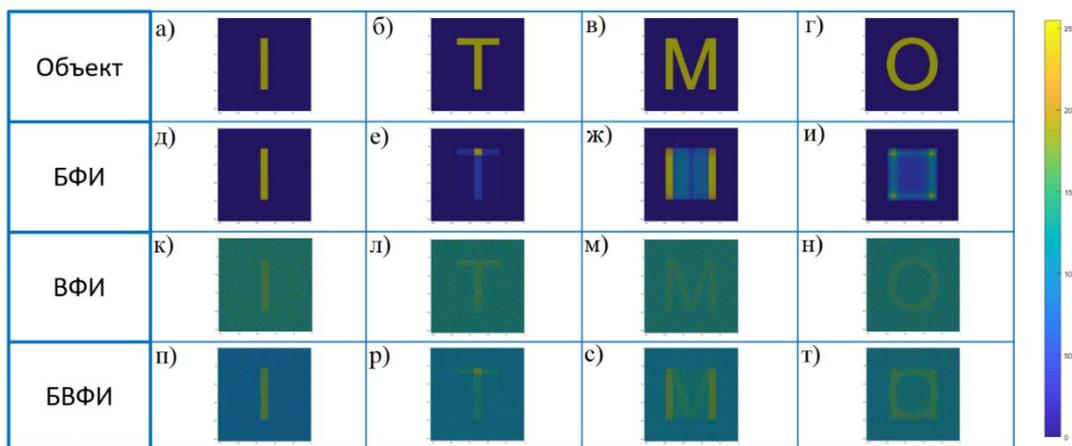


Рис. 2. Восстановленные изображения букв I (а), Т (б), М(в) и О(г) техниками БФИ (д- и), ВФИ (к-н) и БВФИ (п-т)

Изображения, восстановленные с помощью указанных методов ФИ, представлены на рисунке 2. Как видно из полученных результатов, техника БФИ хорошо восстанавливает лишь

объекты прямоугольной формы, тогда как остальные восстанавливаются неполностью или имеют сильные искажения. Изображения, полученные с помощью техники ВФИ, где число итераций составило 3000, восстановились полностью, однако они имеют достаточно большой уровень шума и при меньших количествах реализаций могут не восстановиться. В свою очередь, представленный нами метод БВФИ объединил преимущества вышеуказанных методов и снизил их негативное влияние на процесс восстановления изображения. С одной стороны, наш метод смог полностью восстановить все формы объектов в отличие от БФИ. С другой стороны, уровень шума нашего метода оказался ниже, чем у ВФИ.

Также была исследована зависимость соотношения сигнал-шум (ССШ) и контрастности для техник ВФИ и БВФИ в зависимости от числа итераций. Полученные результаты представлены на рис. 3. Из них видно, что разность ССШ для двух техник остается практически неизменной, однако разность контрастности уменьшается с увеличением числа итераций. Из этого можно сделать вывод, что предложенный метод наиболее эффективен при небольшом количестве реализаций.

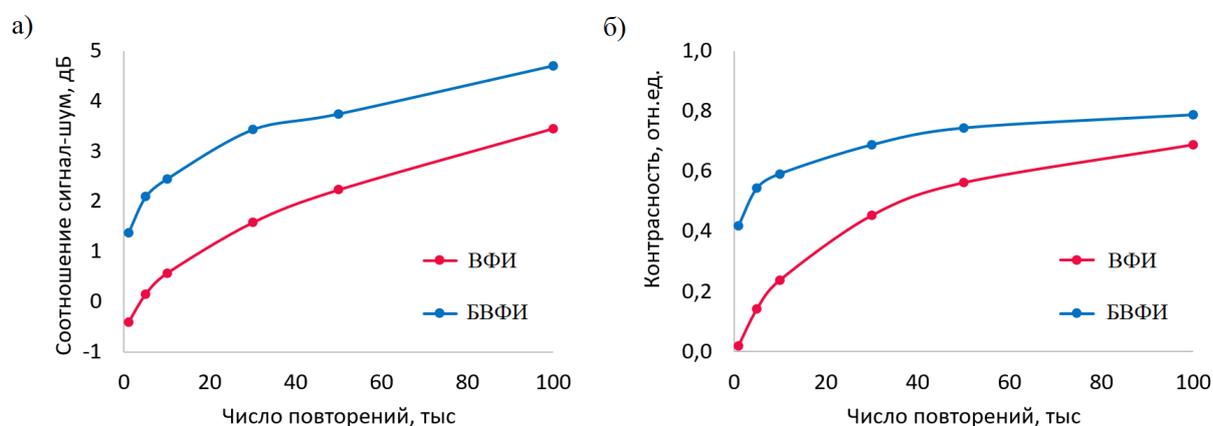


Рис. 3. Зависимость соотношения сигнал-шум (а) и контрастности (б) от числа повторов

В ходе работы была разработана компьютерная модель, сочетающая в себе техники ВФИ и БФИ; подтверждена возможность получения ФИ с помощью предложенной техники и увеличение скорости их восстановления. Соотношение сигнал-шум техники БВФИ превысило вычислительные в 1.5 раза, тогда как разница значений контрастности указанных методов составила от 0.4 до 0.1 при увеличении числа итераций. В дальнейшем планируется реализация оптической схемы для подтверждения полученных результатов.

Литература

1. Gatti A. et al. Correlated imaging, quantum and classical //Physical Review A. 2004. Т. 70. №. 1. С. 013802.
2. Bromberg Y., Katz O., Silberberg Y. Ghost imaging with a single detector //Physical Review A. 2009. Т. 79. №. 5. С. 053840.
3. Rajabi-Ghaleh S. et al. Ultra-fast vivid computational ghost imaging of still and moving objects by sweeping random patterns //Journal of Optics. 2020. Т. 22. №. 9. С. 095701.

УДК 681.07; 004.932

ГЕОМЕТРИЧЕСКИЙ МЕТОД ФИЛЬТРАЦИИ ОПОРНЫХ ТОЧЕК ДЛЯ РАЗНОРАКУРСНОГО КОМПЛЕКСИРОВАНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ ЛОПАТОК ПАРОВЫХ ТУРБИН

Ахмеров А.Х.¹

Научный руководитель – к.т.н., доцент Васильев А.С.¹

¹Университет ИТМО

Работа выполнена в рамках темы НИР №620170 «Разработка методов и средств для решения прикладных задач оптоэлектроники и биоинженерии».

В работе представлен метод дополнительной фильтрации опорных точек, применяемых при вычислении результирующего преобразования координат для разноракурсного комплексирования изображений. Метод основан на геометрическом анализе сопоставляемых пар опорных точек двух изображений одной пространственной области, полученных при помощи двух оптических каналов, расположенных в разных точках пространства. Рассмотрены преимущества использования предлагаемого метода, его недостатки и ограничения. Представлены результаты применения метода для экспериментальных изображений.

Ключевые слова: комплексирование изображений, пространственное совмещение изображений, сшивка изображений, фильтрация опорных точек, видеоэндоскопирование, многоканальная система контроль износа лопаток.

Лопатки являются одними из наиболее недоступных и подверженных износу элементов паровой турбины. Большинство применяемых методов оценки износа лопаток являются контактными, в связи с чем во время процедуры технического осмотра необходимо осуществлять трудоёмкую процедуру разборки корпуса. Осуществить технический осмотр без необходимости вскрытия корпуса турбины можно при помощи специализированного оптико-электронного комплекса видеоэндоскопирования, принцип действия которого показан на рисунке 1.

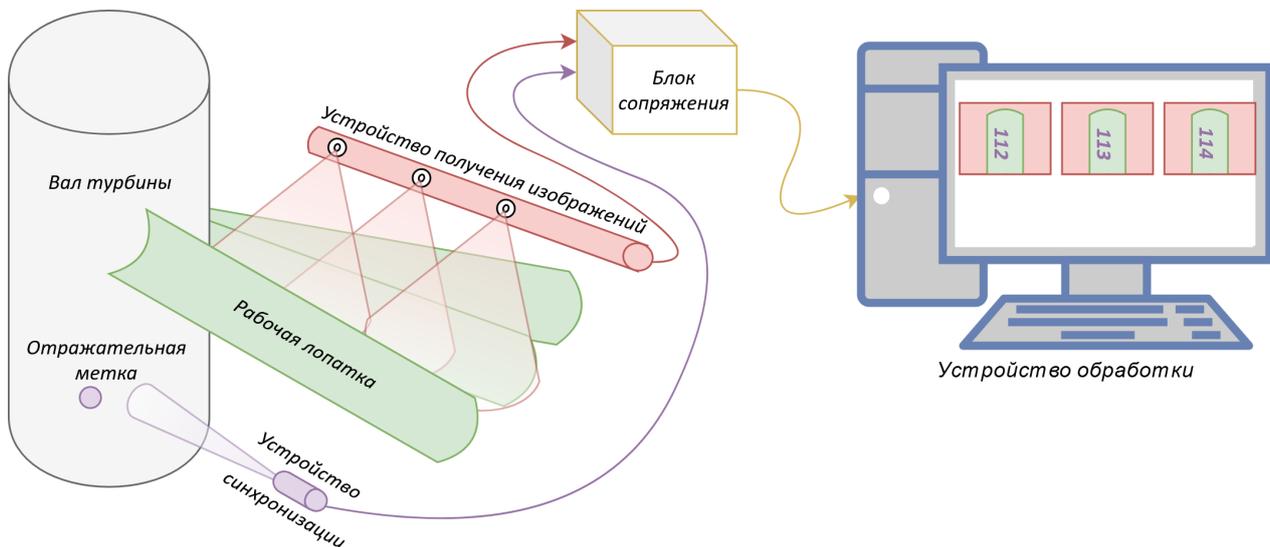


Рис. 1. Принцип действия оптико-электронного комплекса видеоэндоскопирования

При помощи устройства получения изображений, введенного в турбину, осуществляется съёмка контролируемых лопаток. Использование многоканального устройства получения изображений позволяет существенно расширить поле зрения внутри цилиндра и захватить всю контролируемую область лопатки в пределах одного кадра. Устройство синхронизации

предоставляет информацию об угле поворота вала, на основе которой можно определить, какая лопатка находится в кадре.

Изображения, полученные в один момент времени при помощи многоканального устройства получения изображений, необходимо объединить при помощи методов комплексирования изображений [1]. Разноракурсное комплексирование изображений – процесс получения единого результирующего изображения на основе нескольких исходных изображений одного и того же участка пространства, съёмка которых была осуществлена из разных положений. Широкое применение получили методы, построенные на сопоставлении опорных точек изображений на основе совпадения их дескрипторов [2, 3].

Методы разноракурсного комплексирования изображений, основанные на сопоставлении опорных точек, обычно включают в себя 4 основных этапа:

1. Поиск опорных точек, представляющих собой экстремумы яркости, градиента или других величин, характеризующих область изображения.
2. Вычисление дескрипторов опорных точек, представляющих собой совокупность данных об окрестности опорной точки.
3. Сопоставление дескрипторов – поиск пар опорных точек двух изображений, дескрипторы которых максимально соответствуют друг другу. Соответствие дескрипторов позволяет предположить, что точки из сопоставленной пары соответствуют одной и той же точке пространства, что позволяет определить связь между координатными системами двух исходных изображений.
4. Получение итогового изображения путём геометрического преобразования одного из изображений к координатной системе второго.

После выполнения третьего шага осуществляется фильтрация, позволяющая избавиться от сопоставлений «похожих» опорных точек, соответствующих разным участкам пространства. Для фильтрации в данном случае зачастую используется метод RANSAC [4]. Даже после этой процедуры зачастую остаются неверные сопоставления, которые могут привести к неточному определению матрицы преобразования координат, в результате чего результирующее изображение будет несогласованным.

В рамках оптико-электронного комплекса видеоэндоскопирования оптические каналы устройства получения изображений смещены относительно друг друга только вдоль одной из осей (рис. 2).

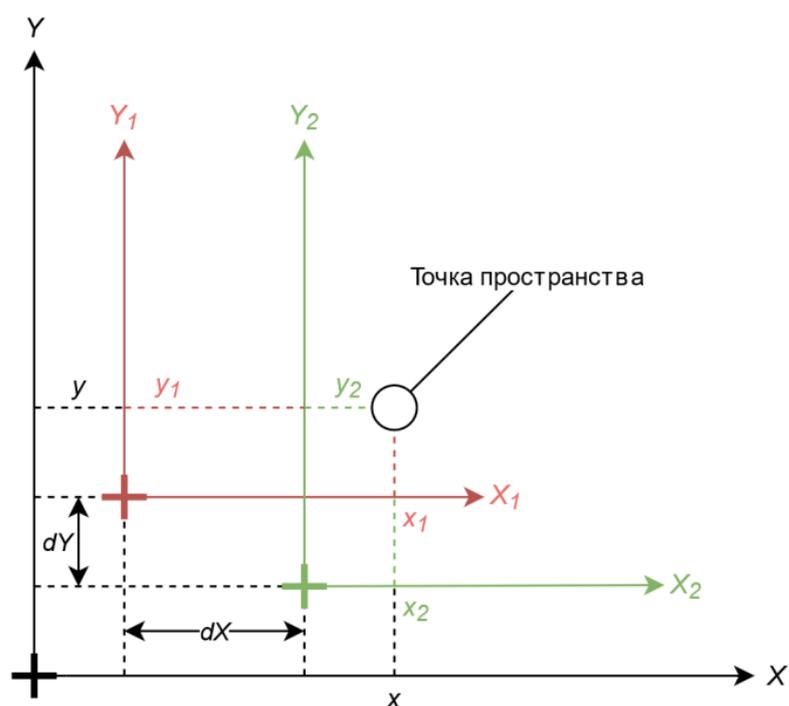


Рис. 2. Системы координат

При условии, что «горизонталы» всех каналов согласованы между собой, проецирование точки из координатной системы одного изображения в координатную систему другого можно осуществить линейным сдвигом координат:

$$\begin{cases} x_1(x_2) = x_2 - dX \\ y_1(y_2) = y_2 - dY \end{cases}$$

где x_1, y_1 – координаты точки на первом изображении (к координатной системе которого производится преобразование); x_2, y_2 – координаты точки на втором изображении (из координатной системы которого производится преобразование); dX, dY – линейное смещение координат.

Таким образом, проецирование любой точки из одной координатной системы в другую осуществляется при помощи линейного сдвига между началами систем координат. На этом положении основан предлагаемый геометрический метод фильтрации сопоставлений опорных точек. Вектор, описывающий линейный сдвиг между координатами точки на двух изображениях, можно охарактеризовать длиной l и углом наклона α . Если отбросить все сопоставления, длина или угол которых не соответствуют устанавливаемым пределам, можно добиться более точных результатов комплексирования.

Для тестирования использованы полученные в рамках более ранних исследований фотографии реальных образцов отработавших лопаток паровых турбин, показанные на рисунке 3. Пересечение полей зрения для исходных изображений составляет 35%.



Рис. 3. Пример экспериментальных изображений

На рисунке 3 видно, что горизонталы оптических каналов не согласованы в связи с несовершенством экспериментального стенда. Сопоставления, полученные при комплексировании экспериментальных изображений без применения дополнительной фильтрации, представлены на рисунке 4.



Рис. 4. Сопоставление опорных точек без дополнительной фильтрации

На рисунке 4 видно значительное количество неверных сопоставлений как для точек в пределах объекта, так и для точек фона. Результат комплексирования представлен на рисунке 5.

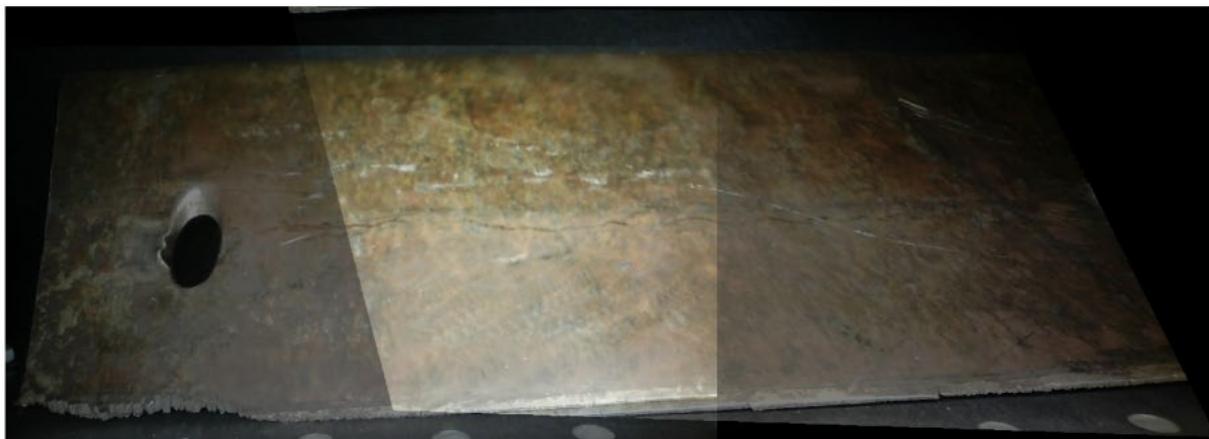


Рис. 5. Результат комплексирования без дополнительной фильтрации

На рисунке 5 видно рассогласование двух изображений. При верном функционировании алгоритма среди векторов, проведенных между сопоставленными точками, должна преобладать составляющая, соответствующая верному сопоставлению. Таким образом, необходимо найти преобладающее значение длины вектора координатного сдвига, отбросить не подходящие по длине сопоставления, после чего отфильтровать оставшиеся сопоставления по углу наклона. Гистограмма длин векторов координатных сдвигов для сопоставленных точек представлена на рисунке 6.

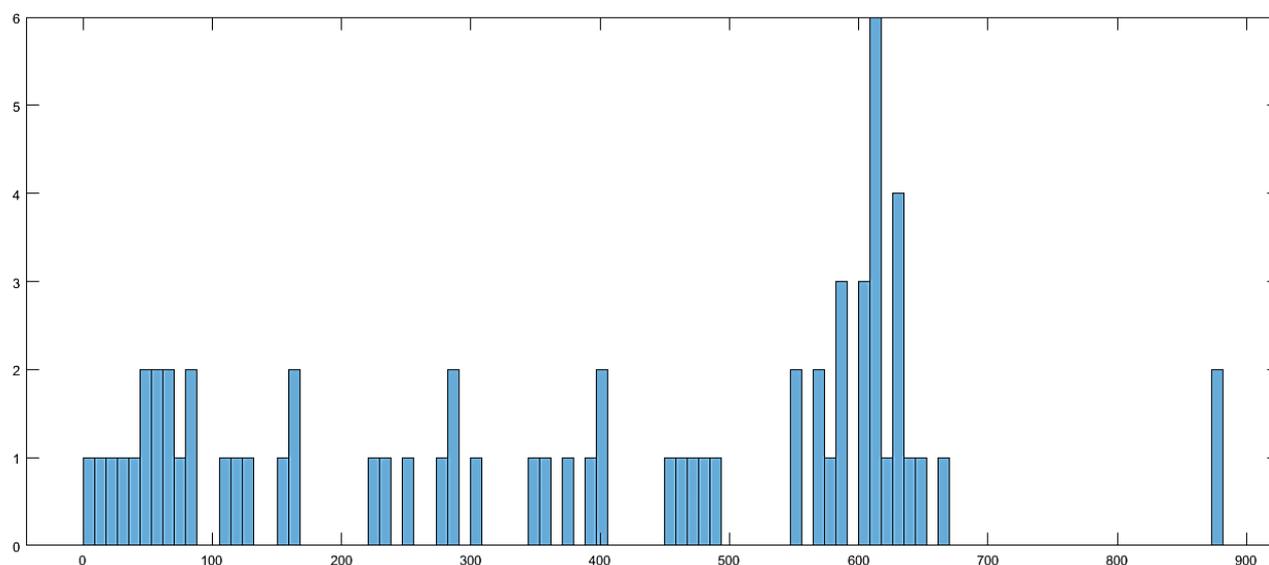


Рис. 6. Гистограмма длин координатных сдвигов без дополнительной фильтрации

Пиковая составляющая немного размыта, преимущественно в связи с наличием рассогласования горизонталей оптических каналов. После фильтрации по длине и углу наклона гистограмма приобретает следующий вид, показанный на рисунке 7.

При этом по изображению сопоставлений (рис. 8), а также по результирующему изображению (рис. 9) можно заметить качественное улучшение.

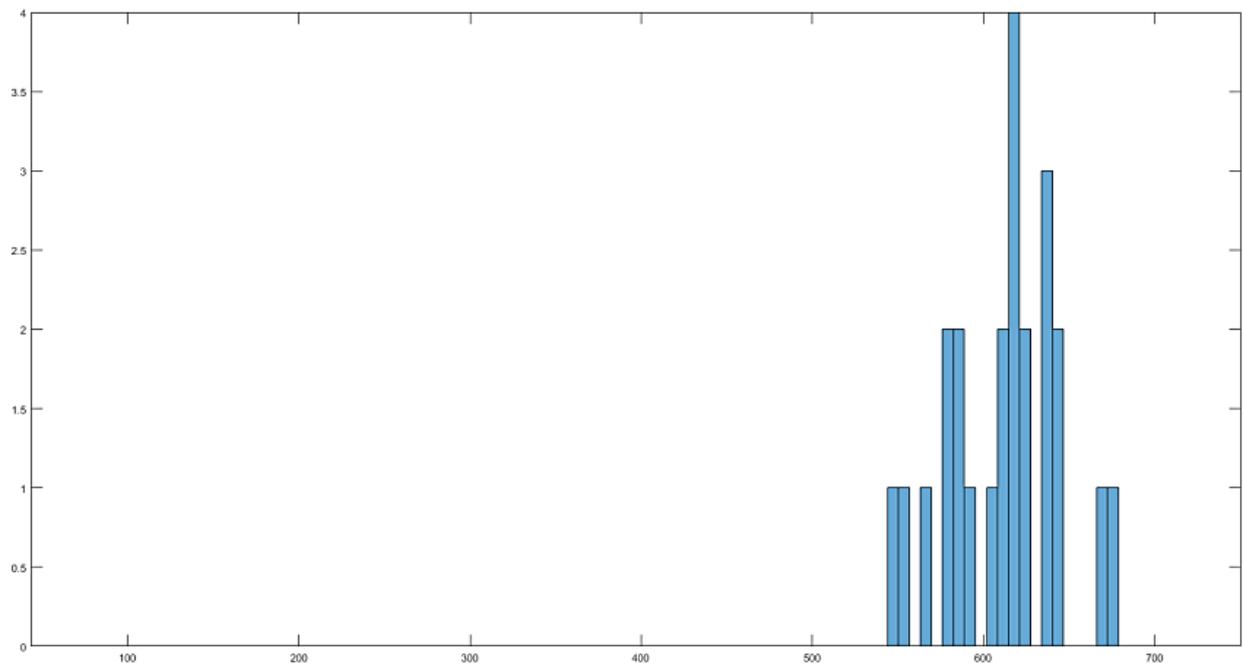


Рис. 7. Гистограмма длин координатных сдвигов с дополнительной фильтрацией

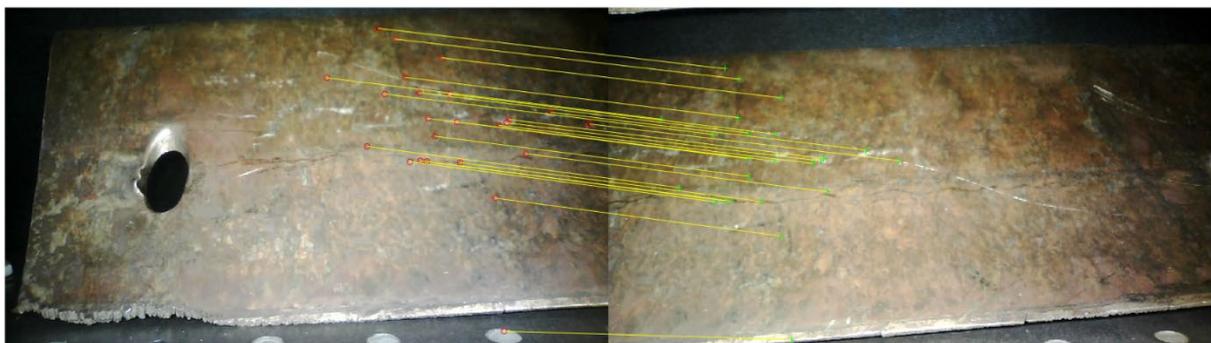


Рис.8. Сопоставление опорных точек с дополнительной фильтрацией



Рис.9. Результат комплексирования с дополнительной фильтрацией

На основе сформированной ранее системы критериев [5], включающей в себя визуальный и математический показатели, было произведено сравнение эффективности комплексирования с применением геометрического метода фильтрации опорных точек и без него. Для данной оценки были использованы полученные ранее серии изображений с

увеличивающимся расстоянием между каналами (и уменьшающимся пересечением полей зрения β).

Математическая оценка эффективности комплексирования рассчитывается следующим образом:

$$\delta = \frac{\sum_{i=1}^3 \left(\sum_{j=1}^3 \frac{m_{ij} - m_{ij \text{ ср.}}}{m_{ij \text{ ср.}}} \right)}{9},$$

где δ – математическая оценка эффективности, показывающая нестабильность матрицы преобразования координат; m_{ij} – элемент матрицы преобразования координат строки i и столбца j ; $m_{ij \text{ ср.}}$ – усредненное значение элемента m_{ij} между всеми матрицами преобразования координат. Визуальная оценка эффективности комплексирования определяется от 0% до 100% по наличию видимых дефектов совмещения (если дефекты присутствуют на двух изображениях в серии из десяти, то эффективность равна 80%; если дефект не относится к контролируемому объекту, то из общего показателя вычитается 5%). Результаты сравнения представлены на рисунке 10.

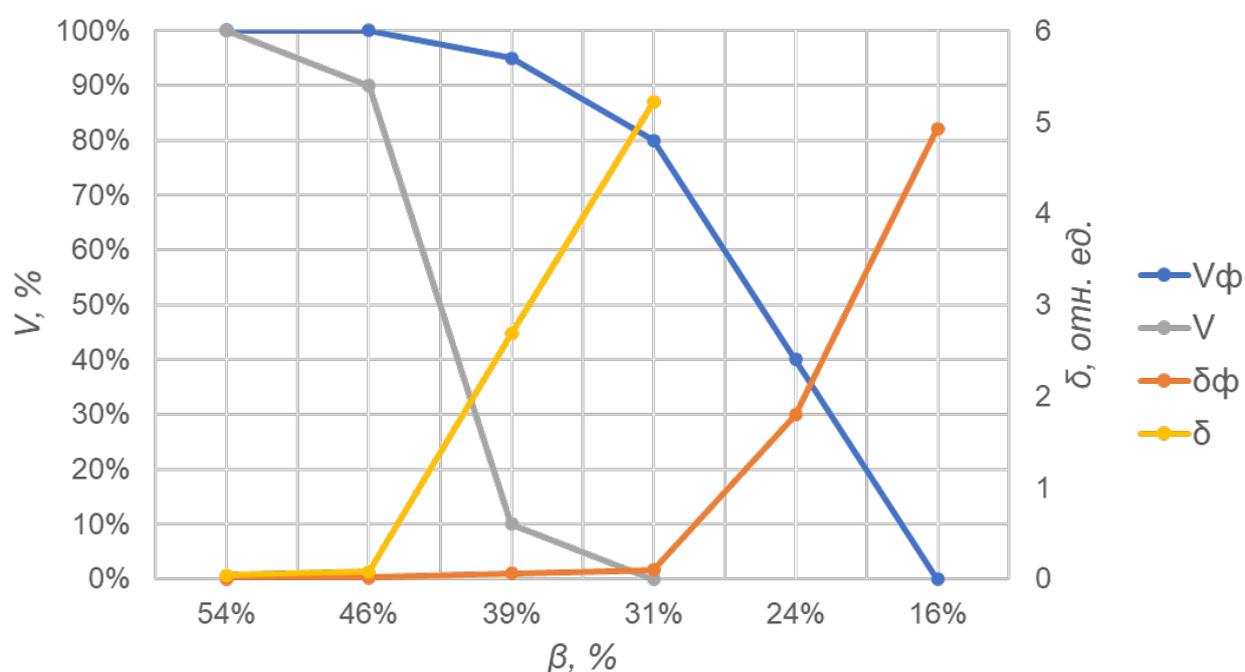


Рис. 10. Результат сравнения эффективности комплексирования с применением метода фильтрации и без него

Данные, представленные на рисунке 10, подтверждают эффективность представленного метода. Его применение позволяет эффективно комплексировать изображения такого малодетализированного объекта, как лопатка, даже при пересечении полей зрения 30%. Тем не менее, данный метод может быть применен только при определенных условиях: согласованность горизонталей оптических каналов; достаточное количество найденных опорных точек; исправное функционирование основного алгоритма сопоставления, приемлемые величины параллактических искажений. Темой ближайших исследований является увеличение количества потенциальных опорных точек на изображениях лопаток за счёт использования источников излучения ближнего инфракрасного диапазона.

Литература

1. Mitchell H. B. Image Fusion: Theories, Techniques and Applications // Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg. 2010. ISBN 978-3-642-42503-5.

2. Akhmerov A.K., Vasilev A.S., Vasileva A.V. Research of spatial alignment techniques for multimodal image fusion // Proceedings of SPIE - 2019, Vol. 11059, pp. 1105916. DOI: 10.1117/12.2526030.
3. Lyu W., Zhou Z., Chen L., Zhou Y. A survey on image and video stitching // Virtual Reality & Intelligent Hardware, 2018. 30 p. DOI: 10.3724/SP.J.2096-5796.2018.0008.
4. Martin A. Fischler and Robert C. Bolles. Random Sample Consensus: A Paradigm for Model Fitting with Applications to Image Analysis and Automated Cartography // Comm. Of the ACM, 1981. — June (vol. 24). pp. 381 – 395. DOI: 10.1145/358669.358692
5. Ахмеров А.Х., Васильев А.С. Исследование критериев минимального перекрытия полей зрения оптических каналов для комплексирования изображений в составе оптико-электронного комплекса эрозионного контроля лопаток паровых турбин // XIV Международная конференция "Прикладная оптика-2020" (15-18 декабря 2020г.): сборник трудов конференции. 2020. С. 1-5

УДК 681.7

СИСТЕМА ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ SCREEN-CAMERA

Беляков Н.А.¹, Козырева О.А.¹Научный руководитель – д.ф.-м.н., проф. Бугров В.Е.¹¹Университет ИТМО

Работа выполнена в рамках темы НИР №719204 «Разработка персонифицированной системы беспроводной передачи данных через светодиодное освещение для создания умного пропуска LED PASS».

Были разработаны комплекс программ и протокол передачи данных от экрана смартфона на веб-камеру – система Screen-Camera Link (SCL), которая является одной из реализаций технологий передачи данных через поток видимого излучения (VLC). Исследована зависимость количества ошибок при передаче небольших файлов от параметра «баланс белого» камеры.

Ключевые слова: Screen-Camera Link, VLC, беспроводная оптическая связь, передача данных, смартфон.

Технология VLC активно развивается в настоящее время, находя все большее количество применений. Особый интерес представляет использование данной технологии со смартфонами. Растет и спрос на веб-камеры, а с наступлением пандемии COVID-19 и массовым переводом сотрудников на удаленную работу расширение функционала веб-камер для передачи данных является перспективным направлением исследований. Компании обеспокоены вопросами безопасности доступа в корпоративные сети при удаленной работе, и использование технологии VLC со смартфоном и веб-камерой открывает большие возможности по созданию систем безопасного доступа сотрудников.

Основной целью этой работы была разработка системы SCL на основе веб-камеры в качестве приемника и дисплея смартфона в качестве передатчика, а также анализ количества ошибок в зависимости от параметра веб-камеры «баланс белого». Баланс белого – это настройка, компенсирующая разницу цветовой температуры в окружающем свете, т.е. параметр цветокоррекции, исходя из значения которого которой объекты, которые глаз видит как белые, будут показаны белыми при съемке [1]. Благодаря этому цифровые камеры могут адаптироваться в соответствии с цветовой температурой источника освещения [2, 3].

Для отправки информации разработанное для смартфона приложение формирует на экране изображения, состоящие из квадратных элементов различных цветов. При кодировании используется RGB пространство цветов: цвет является совокупностью трех цветовых каналов: красный, зеленый и синий. Каждый из них может иметь значение от 0 до 255. Приложение на смартфоне получает в качестве входного параметра «глубину цвета» C – количество бит, которое должен кодировать один элемент. Исходя из этого числа, вычисляется количество используемых при передаче цветов и вариации значения каждого цветового канала. Полученные значения каналов комбинируются между собой, составляя палитру из N цветов, каждому из которых соответствует определенная последовательность бит исходного файла. Количество цветов N вычисляется по формуле (1):

$$N = 2^C, \quad (1)$$

где N – количество цветов;

C – «глубина цвета», бит.

На каждом кадре присутствует рамка, служащая для нахождения области модулируемого изображения и калибровки. Передача начинается со стартового кадра, содержащего калибровочную палитру со всеми используемыми цветами; информацию о разрешении, то есть количестве элементов по высоте и ширине, глубине цвета, минимальной продолжительности одного кадра, размере и имени файла. Остальные кадры содержат

порядковый номер и передаваемую информацию. Отправка данных осуществляется один раз. Примеры кадров представлены на рисунке 1.

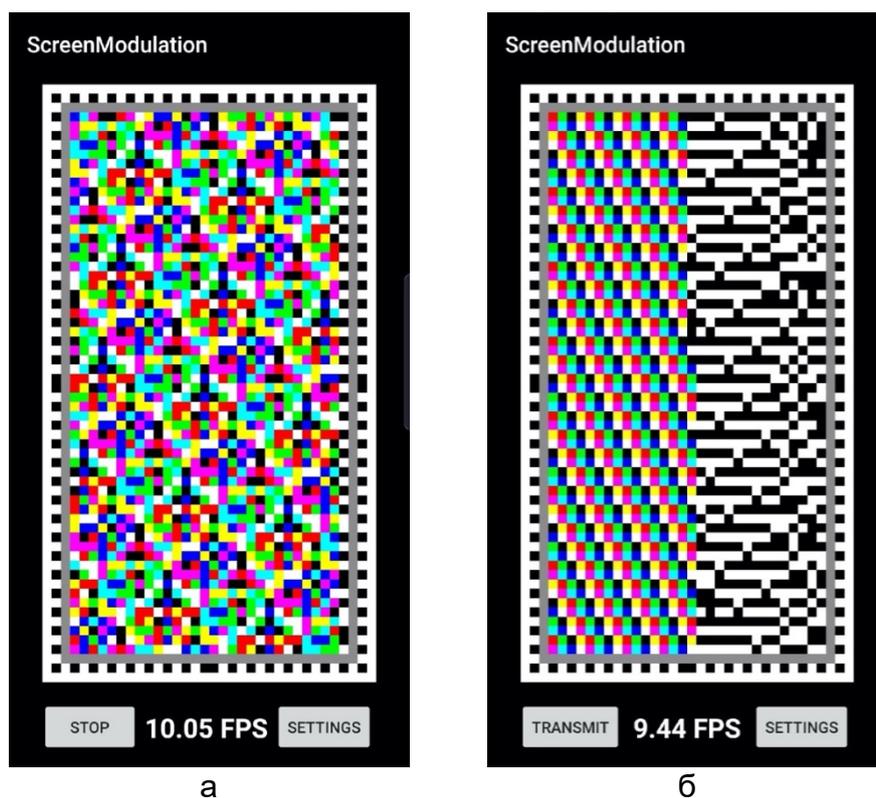


Рис. 1. Скриншот приложения с изображением кадра а) пакета данных; б) стартового

Алгоритм приемника считывает информацию со стартового кадра, генерирует палитру по аналогичному алгоритму и вычисляет среднее значение каждого цвета калибровочной палитры на стартовом экране, с которым впоследствии сравнивает значение, полученное при передаче, для определения реального цвета элемента. На основании цветов элементов, определенных алгоритмом, восстанавливается передаваемый файл.

В ходе эксперимента варьировался баланс белого камеры. При измерениях количества ошибок при передаче передавался файл размером 2 мегабайта, сгенерированный из псевдослучайной двоичной последовательности. Разрешение модулируемого изображения составляло 64×36 элементов, из которых 1680 элементов – информативные, глубина цвета – 3, соответственно в палитре использовались 8 цветов. Частота смены модулируемых изображений – 10 Гц. Пропускная способность системы S , рассчитанная по формуле (2), составляла 50,4 кбит/с:

$$S = E * V * C = 50,4 \text{ кбит/с}, \quad (2)$$

где S – скорость передачи данных, бит/с;

C – «глубина цвета», бит;

E – количество информативных элементов;

V – частота смены модулируемых изображений, Гц.

В таблице представлена палитра используемых цветов при $C = 3$.

В ходе эксперимента при стартовом кадре автоматический алгоритм, встроенный в камеру, не мог зафиксировать значение параметра «баланс белого», постоянно меняя его в пределах от 3000 К до 6150 К. Это связано с тем, что доминирующий цвет излучения от основного источника света (экрана смартфона) отсутствовал, так как стартовый кадр содержит палитру со всеми используемыми цветами в равном количестве, а излучение от внешнего источника освещения практически не попадало в камеру, так как смартфон был расположен

на расстоянии 8 см от камеры, занимая практически всю область обзора. Эксперимент проводился при внешнем источнике освещения с цветовой температурой 3000 К; в силу малого расстояния между смартфоном и камерой влияние цветовой температуры внешнего источника освещения на параметр цветокоррекции камеры минимизировано и в данной работе не рассматривалось.

Таблица. Цветовая палитра при глубине цвета $C = 3$

Номер в палитре	Название	Значение красного канала	Значение зеленого канала	Значение синего канала	Последовательность бит
0	Черный	0	0	0	000
1	Синий	0	0	255	001
2	Зеленый	0	255	0	010
3	Бирюзовый	0	255	255	011
4	Красный	255	0	0	100
5	Малиновый	255	0	255	101
6	Желтый	255	255	0	110
7	Белый	255	255	255	111

Были получены проценты возникновения ошибок в определении каждого цвета для различных значений баланса белого, устанавливаемого на камере: от 2000 К до 6000 К (рис 2).

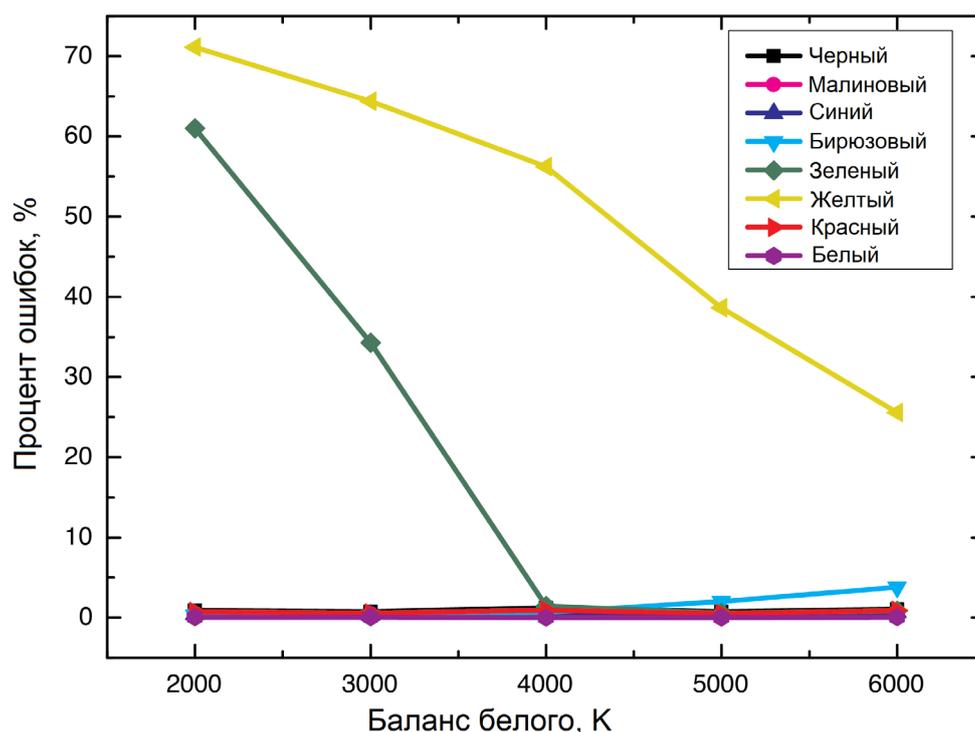


Рис. 2. Процент ошибок в распознавании каждого цвета при различных значениях баланса белого

Таким образом, при выставлении низкого значения баланса белого, рассчитанного на источники, в излучении которых преобладают красные оттенки, камера преобразует цвета, увеличивая значение синего канала RGB цвета, что наиболее отрицательно сказывается на восприятии цветов с нулевым значением данного цветового канала. Изначально зеленый цвет при добавлении синего представляет собой бирюзовый, а желтый, являясь смесью красного и зеленого, при добавлении синего переходит в белый.

При увеличении значения баланса белого излучение «эталонного» источника смещается в сторону синих оттенков, что компенсируется камерой добавлением значения в красный канал RGB цвета. В результате бирюзовый цвет переходит в белый.

Эта же закономерность наблюдалась по ошибкам определения черного (рис. 3) и белого (рис. 4) цветов, несмотря на их малое количество (не более 0.05% для белого цвета и не более 1.3% для черного, при всех значениях цветовой температуры).

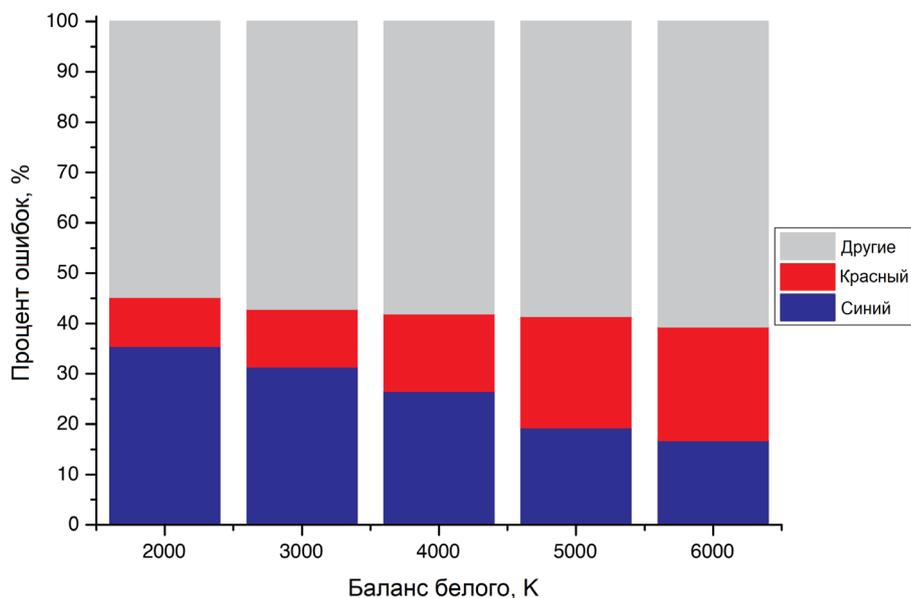


Рис. 3. Влияние баланса белого на распределение ошибок при распознавании черных элементов

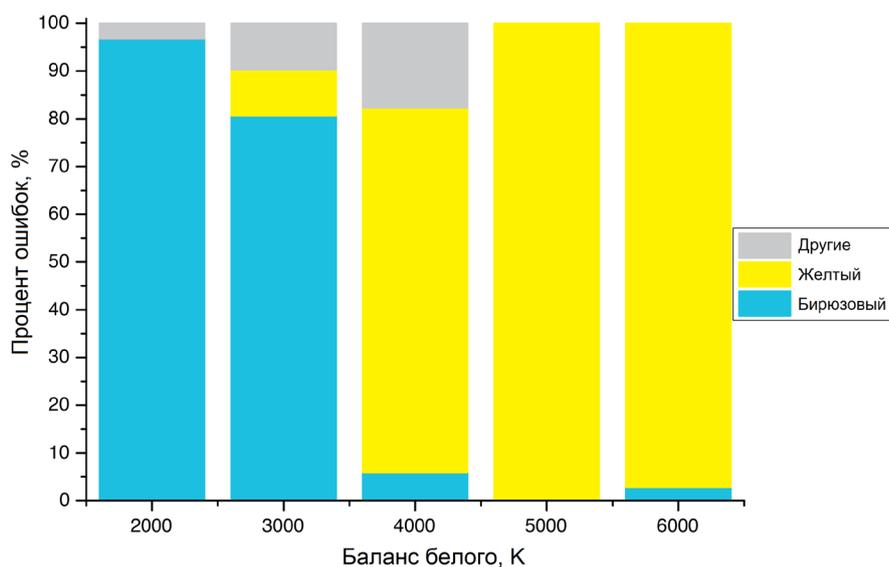


Рис. 4. Влияние баланса белого на распределение ошибок при распознавании белых элементов

При низком значении баланса белого черный цвет ошибочно в большинстве случаев воспринимается как синий, что также говорит о добавлении значения синего канала. С увеличением значения баланса белого начинали преобладать ошибки, при которых черный неверно определяется как красный. Белый цвет при 2000 К ошибочно воспринимался бирюзовым, являющимся смесью синего и зеленого. Снижаясь на 3000 К, такая ошибка практически исчезала при 4000 К, где начинало преобладать и расти с увеличением значения

баланса белого ошибочное восприятие белого как желтого, являющегося комбинацией зеленого и красного.

Было продемонстрировано влияние параметра «баланс белого» обычной веб-камеры на ошибки в определении цветов. Правильная настройка данного параметра может существенно снизить ошибки, возникающие при передаче данных посредством Screen-Camera Link. Также учет ее влияния на определение цветов камерой может служить основой для прогнозирования и коррекции ошибок в таких системах связи.

В дальнейшем планируется провести эксперименты с другими веб-камерами и большим количеством используемых в палитре цветов для определения более точного влияния этого и других параметров камеры, которые в большинстве случаев автоматически выставляются встроенными алгоритмами, не предназначенными для использования в системах Screen-Camera Link.

Литература

1. Afifi, M., Brown, M.: Sensor-Independent Illumination Estimation for DNN Models. (2019).
2. Hsu, E., Mertens, T., Paris, S., Avidan, S., Durand, F.: Light mixture estimation for spatially varying white balance. In: SIGGRAPH 2008, pp. 1–7 (2008).
3. Barron, J., Tsai, Y. T.: Fast Fourier Color Constancy. In: The IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), pp. 6950-6958, Honolulu (2017).

УДК 535-2

ПОДБОР ОПТИЧЕСКОГО ЦВЕТНОГО СТЕКЛА ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЕГО В СИСТЕМЕ ТРЁХЦВЕТНОГО ИНДИКАТОРА ВИЗУАЛЬНОЙ ГЛИССАДЫ

Быков Д.И.¹

Научный руководитель – к.т.н., доцент Бахолдин А.В.¹

¹Университет ИТМО

Работа выполнена в рамках темы НИР №620170 «Разработка методов и средств для решения прикладных задач оплотехники и биоинженерии».

В работе осуществляется подбор материалов светофильтров, установленных в оптической системе трёхцветного индикатора визуальной глиссады, а также проводятся и визуализируются цветовые расчёты с учётом подобранных материалов.

Ключевые слова: глиссадные огни, светофильтры, аэродромы, цветное стекло, индикатор глиссады.

Понятие «глиссада» определяет траекторию полёта летательного аппарата, по которой он снижается непосредственно перед посадкой. В результате полёта по линии летательный аппарат попадает в зону, где ему необходимо приземлиться. Индикация глиссады может производиться двумя методами: радиосигналами и визуальными системами индикации. Как правило, в аэродромах используются и та, и другая системы для увеличения уровня безопасности при посадке летательных средств.

В системы визуального указания глиссады входят ряд специальных огней (устройств), который устанавливаются по определённым схемам. Огни располагают так, чтобы пилот при заходе на посадку чётко и однозначно понимал информацию, передающуюся при помощи данных схем.

В тех аэропортах, где используется система типа TRCV (Трёхцветный индикатор визуальной глиссады захода на посадку), существует проблема того, что на границе раздела цветов «красный-зелёный» появляется паразитный янтарный цвет (Рис. 1.), который также используется в данной системе. В настоящее время данная проблема решается путём предупреждения пилотов во время обучения о том, что в данном типе систем проявляется это явление. Также цвет, получающийся на границе «зелёный-красный», отличается немного оттенком от основного янтарного цвета, что даёт возможность пилотам с отличным цветовосприятием не путать цветовые сигналы [1]. Однако стоит понимать, что такое решение проблемы не выполняет главное требование – безопасность. Решение данной проблемы может быть предложено на этапе разработки оптической системы глиссадных огней. Для этого необходимо подобрать цвета так, чтобы при их смешении получался цвет с координатами в цветовой системе XYZ, максимально отдалёнными от координат основного янтарного цвета.

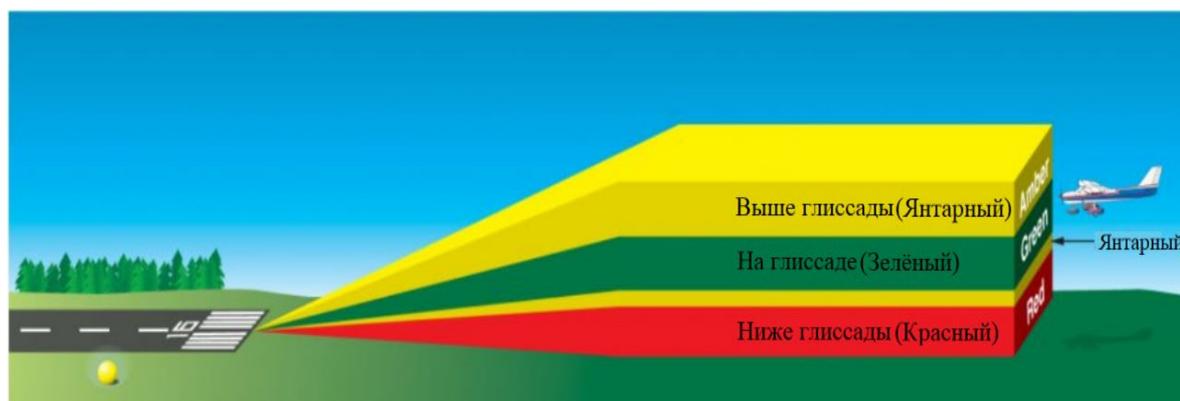


Рис. 1. Появление янтарного цвета на границе «зелёный-красный» [1]

Отбор материалов осуществляется в следующем порядке:

1. Проведение предварительного отбора материалов из каталогов компаний «Электростекло» [2] и «Schott» [3] с учётом требований Международной организации гражданской авиации [4];
2. Осуществление расчёта координат цветности излучения, проходящего через светофильтры;
3. Осуществление расчёта цветового отличия (ΔE);
4. Проведение итогового отбора материалов.

На этапе предварительного отбора были выбраны следующие материалы:

Жёлтые: FG15 (Schott) $x = 0.559$, $y = 0.403$; OC12 (Электростекло): $x = 0.587$, $y = 0.413$.

Красные: RG9 (Schott) $x = 0.735$, $y = 0.265$; RG610 (Schott) $x = 0.704$, $y = 0.296$; KC15 (Электростекло): $x = 0.72$, $y = 0.27$.

Зелёные: BG18 (Schott): $x = 0.275$, $y = 0.472$; VG6 (Schott): $x = 0.292$, $y = 0.564$; VG14 (Schott): $x = 0.193$, $y = 0.700$; ЖЗС12 (Электростекло): $x = 0.28$, $y = 0.68$.

Их координаты цветности располагаются в зонах, определяемых Международной организацией гражданской авиации. Зелёных материалов было выбрано немного больше, чем жёлтых и красных, так как, как можно заметить из графика на рисунке 2, допустимая область зелёных цветов много больше, чем жёлтых и красных.

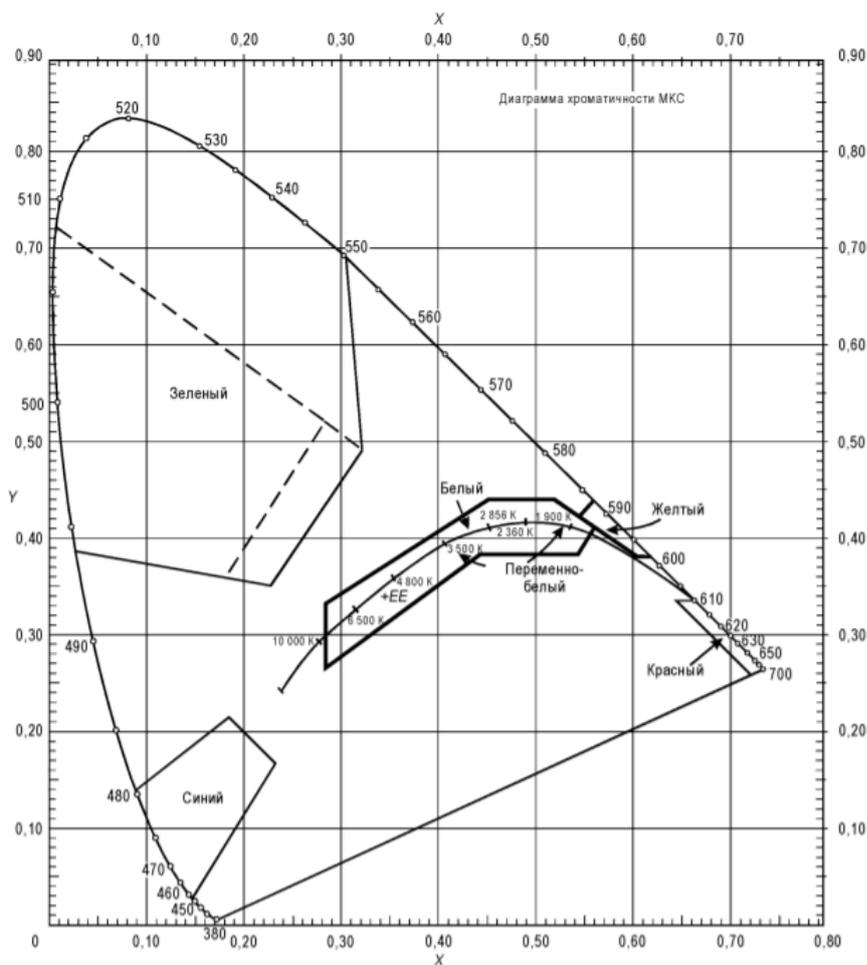


Рис. 2. Допустимые цвета для огней наземной навигации [4]

Для получения координат цветности излучения, проходящего через светофильтры, проводится расчёт координат цветности. Для этого используется ГОСТ 7721-89 [5] для расчёта координат цветности материалов из каталога «Электростекло». Сначала берётся спектральная зависимость коэффициента пропускания для стекла из каталога, а затем рассчитываются координаты цвета по формулам из ГОСТ 7721-89. В конце находятся координаты цветности для итогового цвета, проходящего через стекло.

Таблица. Расчёт цветового отличия

Пара «красный + зелёный»	Уравнение прямой	Жёлтый	Ближайший к жёлтому цвет	Цветовое отличие (ΔE из ISO/CIE 11664-6:2014)
1	2	3	4	5
RG9 + BG18	$y = -0.45x + 0.596$	FG15	$x = 0.538;$ $y = 0.354$	1.96
RG9 + VG6	$y = -0.675x + 0.76$	FG15	$x = 0.550;$ $y = 0.387$	0.54
RG9 + VG14	$y = -0.803x + 0.854$	FG15	$x = 0.560;$ $y = 0.405$	0.04
RG9 + ЖЗС12	$y = -0.912x + 0.935$	FG15	$x = 0.569;$ $y = 0.415$	0.23
RG610 + BG18	$y = -0.410x + 0.585$	FG15	$x = 0.542;$ $y = 0.385$	1.613
RG610 + VG6	$y = -0.65 + 0.753$	FG15	$x = 0.55;$ $y = 0.393$	0.31
RG610 + VG14	$y = -0.79x + 0.852$	FG15	$x = 0.559;$ $y = 0.410$	0.26
RG610 + ЖЗС12	$y = -0.906x + 0.934$	FG15	$x = 0.570;$ $y = 0.417$	0.27
KC15 + BG18	$y = -0.454x + 0.597$	FG15	$x = 0.538;$ $y = 0.352$	2.04
KC15 + VG6	$y = -0.687x + 0.765$	FG15	$x = 0.547;$ $y = 0.389$	0.47
KC15 + VG14	$y = -0.816x + 0.857$	FG15	$x = 0.556;$ $y = 0.404$	0.17
KC15 + ЖЗС12	$y = -0.932x + 0.941$	FG15	$x = 0.570;$ $y = 0.410$	0.30
RG9 + BG18	$y = -0.45x + 0.596$	OC12	$x = 0.556;$ $y = 0.346$	2.21
RG9 + VG6	$y = -0.675x + 0.76$	OC12	$x = 0.566;$ $y = 0.378$	0.83
RG9 + VG14	$y = -0.803x + 0.854$	OC12	$x = 0.571;$ $y = 0.395$	0.37
RG9 + ЖЗС12	$y = -0.912x + 0.935$	OC12	$x = 0.579;$ $y = 0.407$	0.20
RG610 + BG18	$y = -0.410x + 0.585$	OC12	$x = 0.563;$ $y = 0.354$	1.87
RG610 + VG6	$y = -0.65 + 0.753$	OC12	$x = 0.568;$ $y = 0.384$	0.61
RG610 + VG14	$y = -0.79x + 0.852$	OC12	$x = 0.574;$ $y = 0.399$	0.30
RG610 + ЖЗС12	$y = -0.906x + 0.934$	OC12	$x = 0.580;$ $y = 0.408$	0.18
KC15 + BG18	$y = -0.454x + 0.597$	OC12	$x = 0.557;$ $y = 0.344$	2.32
KC15 + VG6	$y = -0.687x + 0.765$	OC12	$x = 0.561;$ $y = 0.379$	0.81
KC15 + VG14	$y = -0.816x + 0.857$	OC12	$x = 0.570;$ $y = 0.392$	0.41
KC15 + ЖЗС12	$y = -0.932x + 0.941$	OC12	$x = 0.580;$ $y = 0.401$	0.23

Расчёт цветового отличия проходит в несколько этапов. Сначала находится уравнение прямой, соединяющей красный и зелёный цвета. Затем находится уравнение

перпендикулярной прямой, проходящей через координаты жёлтого цвета. Потом находятся координаты пересечения двух прямых, тем самым рассчитываются координаты ближайшего к жёлтому цвета. В конце производится расчёт цветового отличия ближайшего к жёлтому цвету на прямой, соединяющей красный и зелёный, и рабочего жёлтого цвета. В таблице представлены результаты данного этапа работы.

Для наглядности результаты отображаются на хроматических диаграммах для различных комбинаций материалов. Можно заметить, что на первом графике (рис. 3) прямая, соединяющая красный и зелёный цвета, располагается достаточно близко к рабочему жёлтому цвету (чёрная точка), о чём также свидетельствует цветовое отличие в 0.04. На втором же графике заметно, что прямая находится на достаточно далёком расстоянии от рабочего жёлтого цвета, о чём свидетельствует цветовое отличие в 2.04.

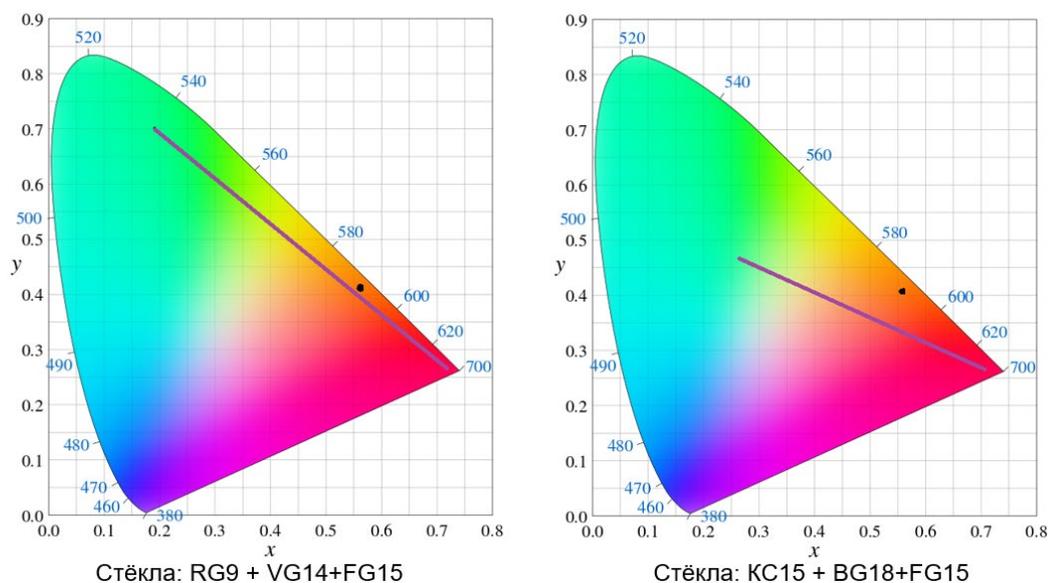


Рис. 3. Визуализация цветовых расчётов

Анализ всех возможных комбинаций материалов в таблице 1 позволяет произвести итоговый отбор материалов. В качестве критерия отбора используется цветовое отличие ΔE , значение которого больше 1 является оптимальным.

В ходе работы был проведён подбор материалов светофильтров, которые могут быть использованы в оптической системе трёхцветного индикатора визуальной глассады. В качестве критерия было выбрано цветовое отличие (ΔE из ISO/CIE11664-6:2014), которое для всех подобранных комбинаций удовлетворяет требованию $\Delta E > 1$.

Результаты данной работы могут быть использованы для дальнейшей модернизации системы трёхцветного индикатора визуальной глассады.

Литература

1. Pilot's Handbook of Aeronautical Knowledge (Federal Aviation Administration): FAA-H-8083-25B, 2017.
2. Каталог компании «Электростекло» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.elektrosteklo.ru/Catalog.htm> (дата обращения 04.03.2021).
3. Каталог компании «Schott» [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.schott.com/d/advanced_optics/c36214d9-13c4-468c-bf40-8d438b89f532/1.14/schott-optical-glass-pocket-catalog-jan-2018-row.pdf (дата обращения 02.03.2021).
4. Приложение 14 к Конвенции о международной гражданской авиации Аэродромы. Том I. Проектирование и эксплуатация аэродромов, 2013.
5. ГОСТ 7721-89 ИСТОЧНИКИ СВЕТА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЙ ЦВЕТА - М. : Изд-во стандартов, 1989.

УДК 535.42, 044.94, 681.7.068.2

**ИССЛЕДОВАНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИАГРАММЫ
НАПРАВЛЕННОСТИ ВОЛОКНА С ЭЛЛИПТИЧЕСКОЙ
СЕРДЦЕВИНОЙ С СИЛЬНО ЛЕГИРОВАННОЙ СЕРДЦЕВИНОЙ
С 20% МОЛЬ GeO₂**

Виссарионова Е.С.¹, Аксарин С.М.¹

Научный руководитель – к.ф.-м.н. Аксарин С.М.¹

¹Университет ИТМО

Работа выполнена в рамках темы НИР №219951 «Разработка волоконно-оптического гироскопа для контрольно-измерительных устройств в наземных транспортных системах».

Исследование направлено на выявление оптимальных параметров компьютерной модели одномодового оптического волокна с эллиптической сердцевинной, наиболее точно совпадающих с результатами экспериментальных измерений. Степень совпадения определялась на основе расчета коэффициента корреляции по диаграммам направленности основной моды оптического волокна, полученными экспериментальным и теоретическим способами. Дана оценка профилю показателя преломления и рассчитан коэффициент качества моды M^2 .

Ключевые слова: оптическое волокно, эллиптическая сердцевина, компьютерное моделирование, коэффициент качества моды, профиль показателя преломления.

В волоконно-оптических интерферометрических датчиках используются волокна, имеющие высокую точность. Оптические волокна с эллиптической сердцевинной представляют интерес для исследования и последующего применения в таких датчиках, т.к. имеют меньше потерь на изгибе по сравнению с волокнами, имеющими круглую сердцевину и, следовательно, являются наиболее точными [1]. Целью данной работы является численное моделирование оптического волокна с эллиптической сердцевинной и сравнение полученных результатов с экспериментальными данными.

Объектом данного исследования является оптическое волокно с эллиптическим сечением ЭЛ-3, разработанное АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор». Волокно ЭЛ-3 было изготовлено методом MCVD. Полученная в ходе одного из экспериментов над волокном ЭЛ-3 зависимость нормированной интенсивности от угла поворота оптического волокна отличается от распределения Гаусса по уровню $\frac{1}{e^2}$. Данный факт является причиной детального исследования путем компьютерного моделирования. Подобные актуальные компьютерные исследования проводились за рубежом над маломодовыми оптическими волокнами с сильно эллиптической сердцевинной [1]. Исследование направлено на выявление параметров оптического волокна, при которых рассчитанные значения распространения излучения наиболее точнее совпадают с экспериментальными. Наибольшее влияние на результат имеют размеры полуосей сердцевинной, значение прироста показателя преломления сердцевинной относительно оболочки (Δn) и сглаживание показателя преломления волокна.

Экспериментальное измерение диаграммы направленности в дальнем поле проводилось путем поворота торца волокна относительно неподвижно расположенного фотодетектора, схема представлена на рисунке 1, где 1 – источник излучения ($\Delta\lambda = 25$ нм, $\lambda_c = 1555$ нм), 2 – розетка, 3 – сварное соединение, 4 – объект исследования (2м, свернуто диаметром ~80 мм), 5 – входная апертура фотоприемного устройства, 6 – фотоприемное устройство. В результате эксперимента получена нормированная интенсивность от угла поворота торца оптического волокна, необходимая для подтверждения правильности компьютерного расчета, описанного ниже.

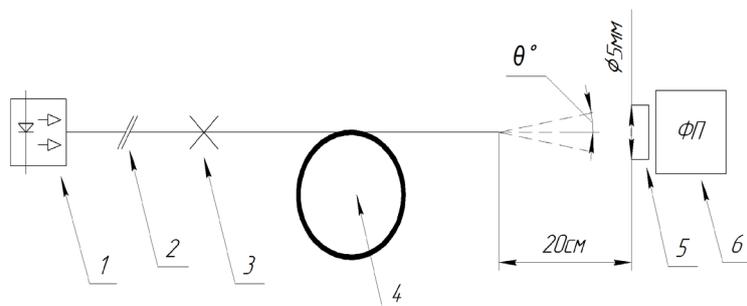


Рис. 1. Схема экспериментальной установки

Компьютерный расчет выполнен с использованием моделей двух сечений оптического волокна с помощью программного пакета Comsol Multiphysics с использованием модулей EWFD и EWBE. Модель профиля волокна с эллиптическим сечением имеет начальный размер полуосей сердцевины 1,5 и 0,75 мкм. Сердцевина была подвержена легированию диоксидом германия, что привело к приросту разницы показателей преломлений сердцевины и кварцевой оболочки на 0,03, что также учитывается в модели. Для данного сечения используется сетка с элементами размером от 0,02 мкм до 10 мкм. На основе модели рассчитывается распределение амплитуды электрического поля световой волны для двух собственных мод, поляризованных перпендикулярно друг другу в поперечном сечении волокна для дальнейшего использования в модели, описанной ниже.

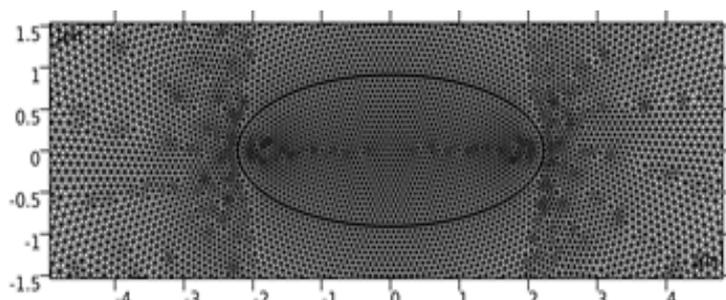


Рис. 2. Сетка профиля волокна с эллиптическим сечением

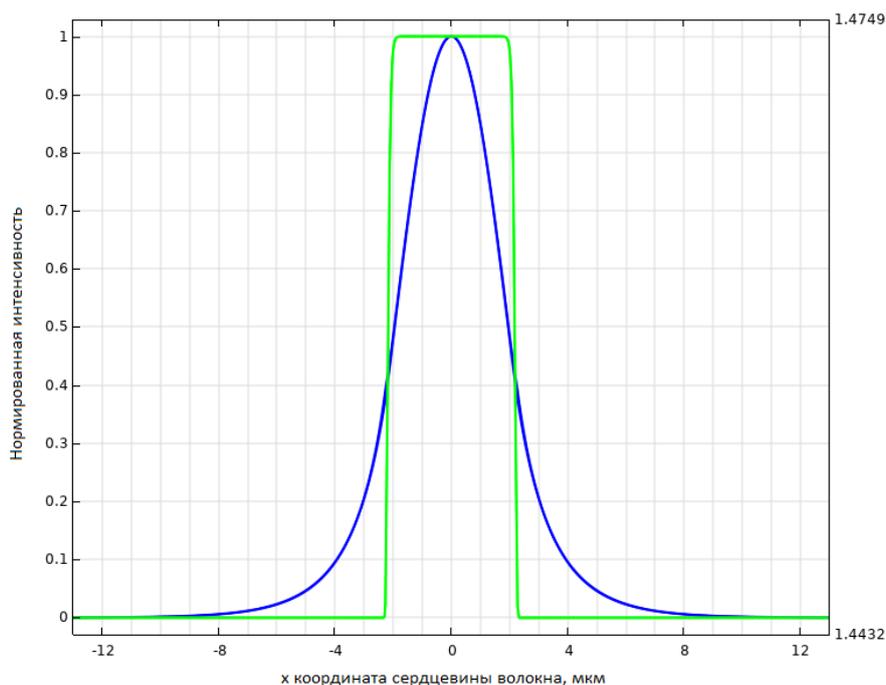


Рис. 3. Нормированная интенсивность от координаты x в сердцевине волокна (синий) и профиль показателя преломления (зеленый)

Электрическая составляющая мод в разных сечениях использована в качестве условия для левой границы модели продольного сечения волокна на торце, вдоль синей прямой на рисунке 4. Излучение регистрировалось на красной дуге. В результате расчета модели получено распределение нормированной интенсивности для сравнения с экспериментальными данными. Рассчитанные и экспериментальные результаты оценивали с помощью коэффициента корреляции.

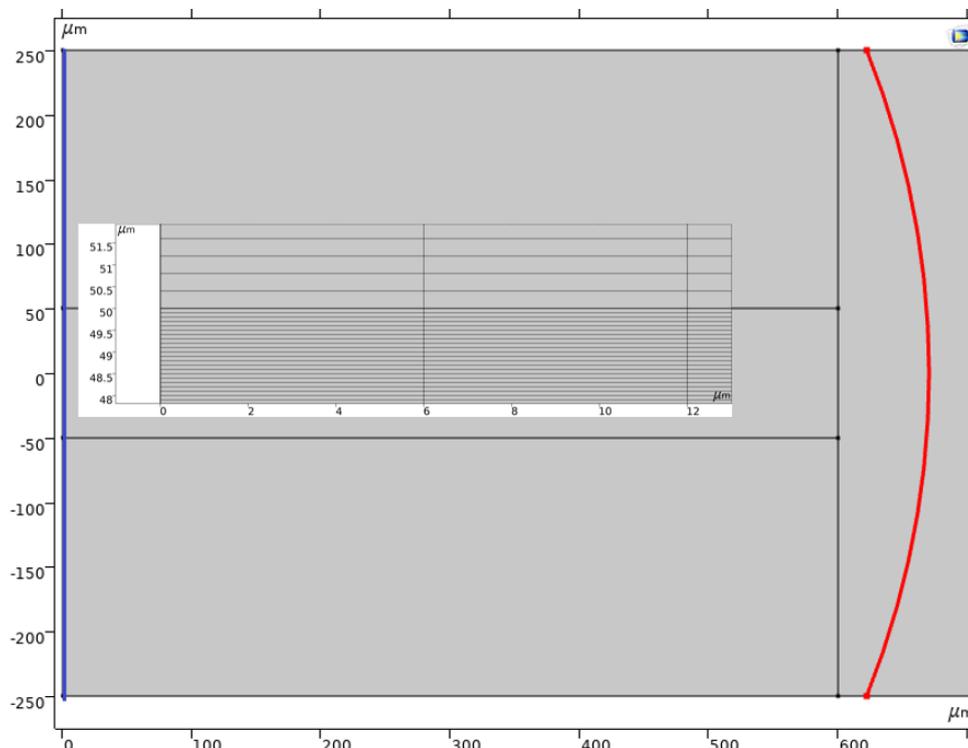


Рис. 4. Геометрия модели поперечного сечения волокна

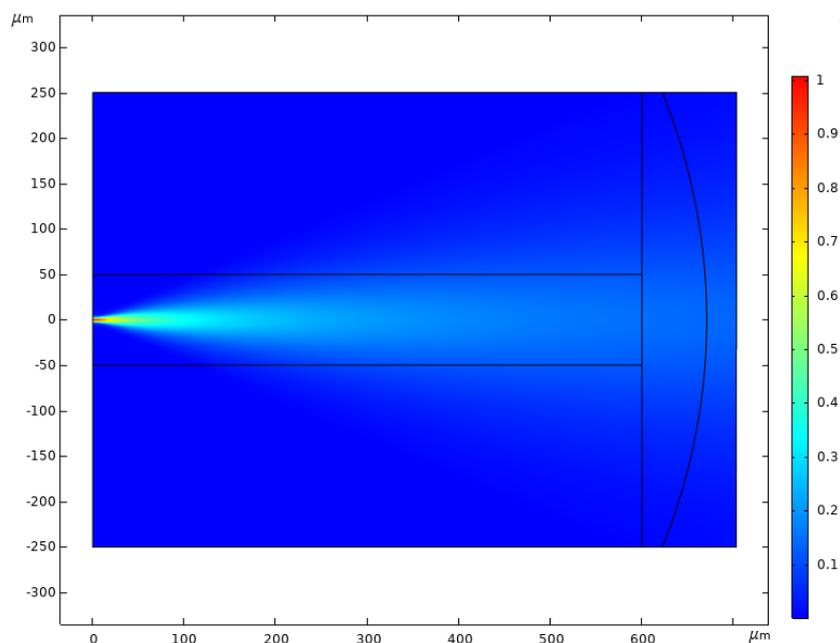


Рис. 5. Пример полученного в Comsol Multiphysics рассеяния оптического излучения в сечении волокна

В результате исследования комбинаций размеров полуосей волокна и параметра Δn получен наилучший результат с коэффициентом корреляции 0,999810 при размерах

полуосей сердцевины волокна 0,75 и 1,83 мкм и коэффициенте Δn , равным 0,035, который на данном этапе исследования не соответствует измеренному в лабораторных условиях.

Для улучшения точности расчета было внесено предположения о фактическом сглаживании показателей преломления оболочки волокна и сердцевины в ходе вытяжки волокна из преформы. Для исследования этого случая показатель преломления имеет вид

$$n(\lambda) + \Delta n \cdot e^{-((x/b)^2+(y/a)^2)^c},$$

где $n(\lambda)$ – показатель преломления для длины волны λ , Δn – разница показателя преломления сердцевины и оболочки, a и b – длины полуосей, x и y – координаты, c – степень сглаживания профиля показателя преломления. Чем больше коэффициент c , тем меньше сглаживания профиля показателя преломления.

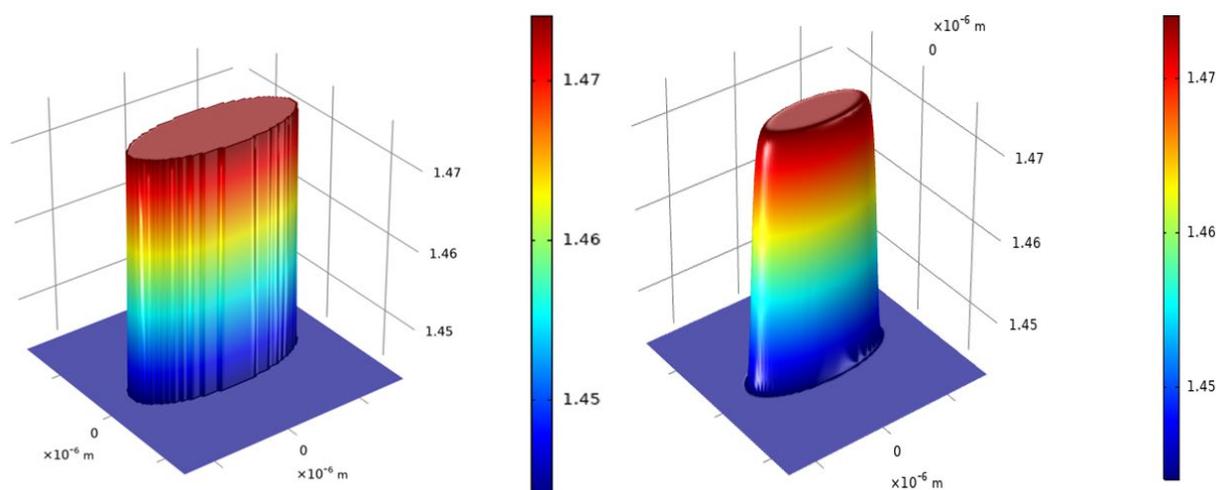


Рис. 6. Пример профиля показателя преломления в Comsol Multiphysics без сглаживания (слева), со сглаживанием $c = 10$ (справа)

В ходе исследования волокна с разными параметрами было замечено увеличение коэффициента корреляции между графиками с возрастанием размера полуосей сердцевины волокна.

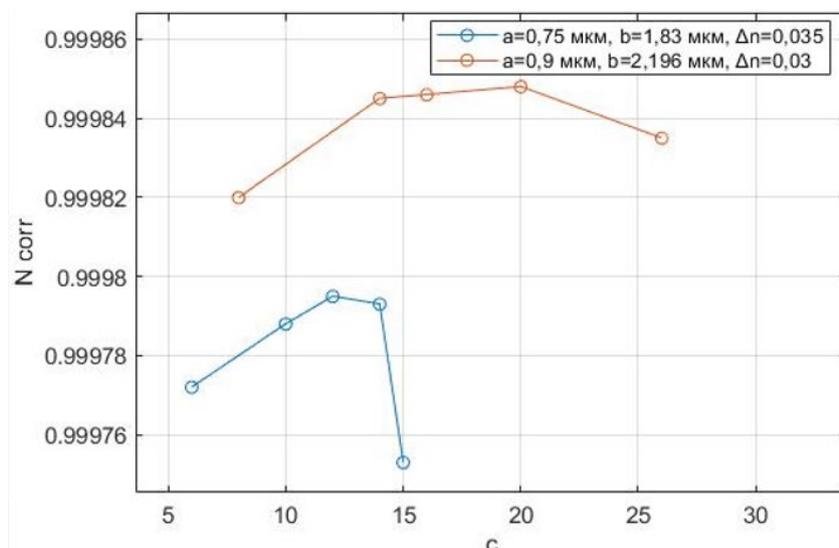


Рис. 7. Зависимость коэффициента корреляции от значения степени сглаживания профиля показателя преломления для двух вариантов параметра c

Учитывая вышеобозначенное замечание, после увеличения размеров полуосей сердцевины волокна удалось вернуться к коэффициенту Δn равному 0,03 (соответствует измеренному), а также получить максимальную корреляцию графиков с коэффициентом 0,999848 при небольшом сглаживании в 20 единиц.

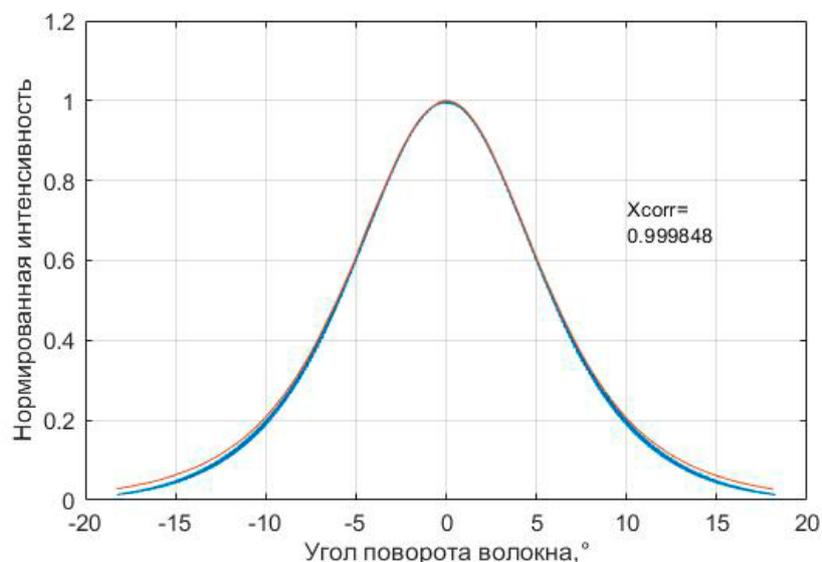


Рис. 8. Сравнение диаграммы направленности, полученной экспериментально (оранжевый) с данными моделирования (синий) при для $a=0.9$ мкм, $b=2.196$ мкм, $\Delta n=0.03$

В соответствии с ГОСТ 11146-1-2008 “Лазеры и лазерные установки (системы) Методы измерений ширин, углов расходимости и коэффициентов распространения лазерных пучков” рассчитаны коэффициенты распространения пучка для “быстрой” и “медленной” поляризационных мод для наиболее подходящих параметров волокна. Использовался расчет для слабоастигматического пучка - отношение произведений параметров распространения измеряемого пучка к произведению параметров распространения пучка с дифракционной расходимостью гауссова пучка при одной и той же длине волны [2]:

$$M_x^2 = \frac{\pi d_{\sigma x 0} \theta_{\sigma x}}{\lambda} \frac{1}{4}; \quad M_y^2 = \frac{\pi d_{\sigma y 0} \theta_{\sigma y}}{\lambda} \frac{1}{4}.$$

Полученные аппроксимацией значения коэффициентов в формуле зависимости результатов измерений диаметра пучка в различных сечениях z вдоль трассы его распространения $d_{\sigma}(z) = \sqrt{a + bz + cz^2}$ [2], использовались для нахождения коэффициентов распространения пучка геометрическим методом по формуле

$$M^2 = \frac{\pi}{8\lambda} \sqrt{4ac - b^2}.$$

По результатам исследования были выявлены параметры волокна, обеспечивающие наибольший коэффициент корреляции с данными эксперимента, соответственно найдены наиболее близкие к настоящим параметры волокна. По результатам компьютерного расчета готовое к использованию оптическое волокно ЭЛ-3 имеет размеры полуосей сердцевины равные 0,9 и 2,196 мкм, значение прироста показателя преломления сердцевины соответствует измеренному и равно 0,03. Также выявлено, что при вытяжке волокна ЭЛ-3 произошло небольшое сглаживание профиля показателя преломления в области перехода между сердцевинной и оболочкой.

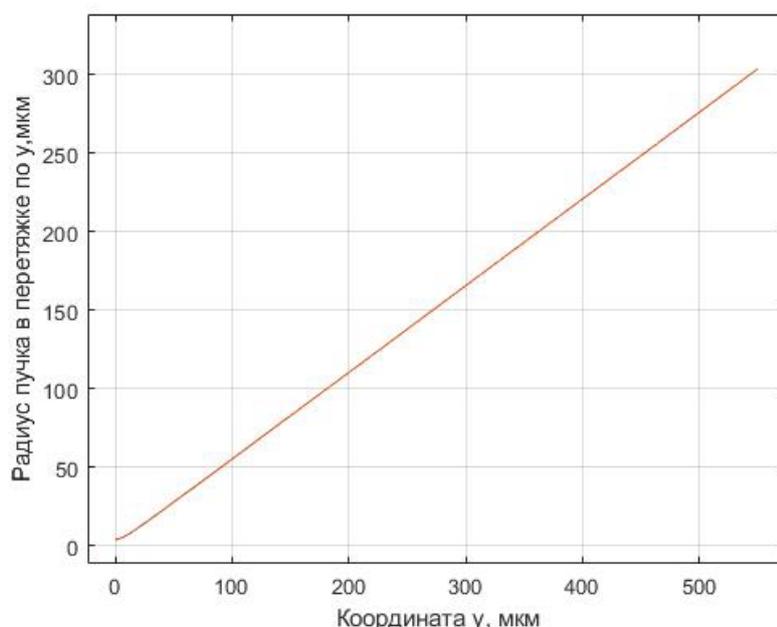


Рис. 9. Результаты аппроксимации гиперболической зависимости результатов измерений диаметра пучка вдоль трассы его распространения для «медленной» оси

В дальнейшем предполагается использовать данное волокно в интерферометрических волоконно-оптических датчиках, учитывая его подходящие свойства. Полученные коэффициенты распространения пучка для быстрой и медленной поляризационных мод M^2 , равные 1,0401 (для «быстрой» оси) и 1,1917 (для «медленной» оси), показывают малую степень отклонения пучка от гауссового и позволяют корректно проектировать системы для работы на больших расстояниях.

Литература

1. Highly-elliptical-core fiber with stress-induced birefringence for mode multiplexing. March 2020; Optics Letters 45(10). DOI:10.1364/OL.387751.
2. ГОСТ Р ИСО 11146-1-2008. ЛАЗЕРЫ И ЛАЗЕРНЫЕ УСТАНОВКИ (СИСТЕМЫ) Методы измерений ширин, углов расходимости и коэффициентов распространения лазерных пучков: дата введения 2010-01-01. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200076797> (дата обращения: 11.05.2021).

УДК 665.6/.7

АНАЛИЗ ПРИЧИН ОБРАЗОВАНИЯ ГАЗОВЫХ ГИДРАТОВ И ВЫБОР ЭФФЕКТИВНЫХ ИНГИБИТОРОВ ДЛЯ ЕГО ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ

Ворожцова Ю.С.¹, Слободов А.А.¹, Усманова Ф.Г.¹
Научный руководитель – д.х.н., доцент Слободов А.А.¹
¹Университет ИТМО

В работе рассмотрена разработка методов оценки эффективности и подбора эффективных дозировок ингибиторов гидратообразования различных типов действия в лабораторных условиях на примере условий эксплуатации скважин на Восточном участке Оренбургского нефтегазоконденсатного месторождения. Проводилось подтверждение эффективности выбранных реагентов во время опытно-промышленных испытаний и расчёт экономии от их использования вместо базового реагента.

Ключевые слова: газогидраты, ингибиторы гидратообразования, термодинамические ингибиторы, кинетические ингибиторы.

Газовые гидраты – это твёрдые примесные соединения, преимущественно состоящие из 85 мол. % воды и 15 мол. % газа. Они представляют собой водородно-связанные решётки воды, которые могут поглощать малые углеводородные молекулы, такие как метан, этан и пропан при низких температурах и высоких давлениях, когда структура газового гидрата – термодинамически выгодная фаза. Факт этого поглощения обуславливает кристаллическую структуру гидрата, которая бывает I, II или H типа. В настоящее время процесс формирования газогидратов достаточно изучен. Обязательным условием формирования газогидрата является влагонасыщение газа. Механизмы формирования зародышей кристалла – поверхностно-пленочный гидрат и объемно-диффузионный гидрат. На основе зародышей кристаллизации формирование гидрата происходит при условии как полного, так и неполного насыщения паров воды. Пары воды над газогидратом должны быть более упругими, чем над водой. В основном движущая сила образования гидратов – это переохлаждение, которое может быть охарактеризовано как разница между равновесной и рабочей температурой при определённом давлении, что способствует, в частности, образованию газогидратов при добыче нефти и газа. Кристаллы гидратов (I и II типов) агломерируются в промышленных системах добычи и транспортировки углеводородов и могут вызывать закупорку трубопроводов. Гидраты часто представляют собой серьёзную проблему обеспечения потока в морских трубопроводах, где они могут забивать трубопроводы, запорную арматуру, устье скважины и другое промышленное оборудование [1]. Подводные нефтяные и газовые трубопроводы, охлажденные до температуры дна океана после того, как добываемая жидкость покидает скважину, обеспечивают благоприятную среду для гидратообразования. Также подобная проблема возникает на скважинах, эксплуатируемых в условиях вечной мерзлоты, резких перепадов температур и давлений во время производственного процесса и присутствия большой доли гидратообразующих газов в добываемой жидкости, среди которых – углекислый газ, сероводород. Наличие последнего является одной из основных причин гидратообразования на Восточном участке Оренбургского нефтегазоконденсатного месторождения (далее – Восточный участок), который являлся объектом изучения при проведении исследований, описанных в данной работе

Гидратные пробки очень дороги для удаления и являются потенциальным риском для персонала, окружающей среды и производства. Существуют различные для предотвращения образования гидратов. К физическим методам относят электрический нагрев, обезвоживание газа, изоляция трубопроводов и другие. Химические методы основаны на применении химических реагентов, которые подразделяются на термодинамические ингибиторы (ТИ), кинетические ингибиторы (КИ) и анти-агломеранты (АА). ТИ влияют на смещение равновесной кривой гидратообразования и, как следствие, уменьшение области гидратообразования и понижению температуры образования газогидратов. Действие

КИ характеризуется временем задержки образования кристаллов гидрата. АА, в свою очередь, препятствуют слипанию/агломерации уже успевших образоваться кристаллов. В настоящее время термодинамические ингибиторы – наиболее распространенный метод предотвращения, используемый для уменьшения гидратов, в основном, благодаря своей эффективности. Однако, с увеличением охвата, освоение месторождений и нефтеразведка становятся более сложными, эффективные дозировки ТИ могут стать запредельно дорогими и непрактичными. Эффективная объемная часть ТИ, требуемая для ингибирования гидратов, часто может достигать 50 об.% фазы раствора. Низкодозируемые ингибиторы гидратообразования (НИГ), такие как КИ и АА, - альтернативный метод для уменьшения рисков образования закупорки гидратами, эти НИГ могут быть эффективны при существенно более низких дозировках, чем ТИ. Применение НИГ может обеспечить безопасную добычу нефти при существенном сокращении капитальных затрат и производственных затрат, также как сокращение простоев, что увеличивает время жизни месторождения.

В настоящее время на Восточном участке для борьбы с гидратообразованием применяют скребкование и обработки горячей нефтью НКТ и выкидных линий, а в качестве ингибитора гидратообразования – метанол. Его действие идентично действию ТИ, однако, в отличие от них, метанол токсичен по своей природе и оказывает негативное влияние на состояние окружающей среды. К тому же его применение несёт в себе технологические риски, такие как отложение солей при высоких его концентрациях (более 30%) и промотирование образования гидратов при низких концентрациях (10%). К тому же, в настоящее время подбор эффективных реагентов и их дозировок проходит непосредственно в ходе опытно-промысловых испытаний (ОПИ), что также обуславливает возникновение рисков аварий при оптимизации дозировок и высокие затраты на реагенты. Применение альтернативных метанолу ингибиторов гидратообразования и подбор их эффективных дозировок в лабораторных условиях способны минимизировать эти риски.

Таким образом, целью исследования являлась разработка методов оценки эффективности и подбора эффективных дозировок ингибиторов гидратообразования в лабораторных условиях на примере условий эксплуатации скважин на Восточном участке.

Таблица. Приготовление модели пластовой воды

Компонент	Расчетная масса, г	Отмеренная масса, г	Масса основного вещества, г	Массовая доля в растворе, % масс.
NaCl	131,5	131,5	131,5	13,14
KCl	24,6	24,7	24,7	2,47
CaCl ₂	31,2	31,5	31,5	3,15
MgCl ₂	11,0	23,2*	10,9	1,08
NaHCO ₃	0,7	1,1	1,1	0,11
MgSO ₄	0,3	0,3*	0,1	0,01
H ₂ O	800,7	788,4	800,9	80,03

* - соль дозировалась в виде кристаллогидрата

Первым этапом исследования являлся анализ причин гидратообразования в условиях Восточного участка, где основным способом эксплуатации скважин является газлифт. При указанном способе складываются определенные технологические условия, которые создают благоприятную среду для образования газогидратов. К ним относят неполноценную осушку газа, перепускной режим клапанов, а также перепады температуры (порядка 10°C) и давления (5-25 атм.) в результате дросселирования газа. Кроме того, согласно проведенному анализу компонентного состава газа со скважин-доноров на Восточном участке, отмечено высокое содержание гидратообразующих газов – сероводорода, метана, этана и углекислого газа. Основными местами, подверженными отложениям газогидратов, являются газоингибиторопроводы на всей протяженности линии УПНГ - АГЗУ – скважина и нефтесборные коллектора; затрубные и буферные регулируемые дросселя газлифтной фонтанной арматуры; места изгибов, сужений/расширений, спусков, штуцеров и задвижек

трубопроводов; газлифтные клапана в компоновке скважины и насосно-компрессорные трубы. Следующим этапом стало построение равновесной кривой гидратообразования с целью прогнозирования его условий, для чего, прежде всего, необходимо было приготовить модельную газо-жидкостную смесь. Газовая смесь была приготовлена с использованием прецизионных весов Sartorius LP 64001 S и стенда смешения газов. Компонентный состав включал в себя метан (128,5 г.), этан (9,8 г.), пропан (53,2 г.), азот (8,7 г.), диоксид углерода (8,6 г.) с учётом их соотношения в реальной смеси в условиях Восточного участка. Модель пластовой жидкости готовилась согласно значениям в таблице.

Исследование условий гидратообразования проводилось наиболее точным, как было оценено ранее [2], экспериментальным методом на установке GHA350, состоящей из автоклава с объемом 500 см³, который рассчитан на максимальное давление в 35 МПа, жидкостного циркуляционного термостата и регистрирующего компьютера. В автоклаве находятся 3 смотровых лейкосапфировых окна, которые расположены в его верхней, средней и нижней частях для визуального наблюдения за состоянием системы в ходе эксперимента. Туда поместили приготовленную модель жидкости объёмом 400 мл и температурой 21°C, после чего продули и напустили приготовленную газовую смесь до заданного начального давления. Температура и давление в автоклаве измерялись платиновым термометром сопротивления Pt100 и датчиком P3276. Содержимое в автоклаве перемешивалось с помощью лопастной мешалкой, которая соединена с электромотором через магнитную муфту, со скоростью 600 об/мин. в течение всего эксперимента. Между электромотором и магнитной муфтой находится датчик измерения крутящего момента на валу мешалки (диапазон измерения 0 – 100 Н·см). Далее проходило понижение температуры в две стадии при помощи циркуляционного термостата. На первой стадии автоклав в течение 90 минут охлаждали до значения температуры, большей равновесной температуры гидратообразования на 2 – 3°C. Затем содержимое автоклава охлаждали с постоянной скоростью – 5°C/ч. За счет охлаждения в автоклаве инициировали процесс гидратообразования. После отложения гидрата содержимое автоклава нагревали в 2 этапа. На первой стадии температуру быстро повышали до такого значения, чтобы оно было меньше значения равновесной температуры на 0,7 – 1°C. После достижения равновесного состояния в автоклаве содержимое автоклава медленно нагревали со скоростью 0,1 °C/ч. Мониторинг и регистрация измеряемых параметров проводилось при помощи персонального компьютера и пакета программного обеспечения WinGHA. Полученные результаты представлены на рисунке.

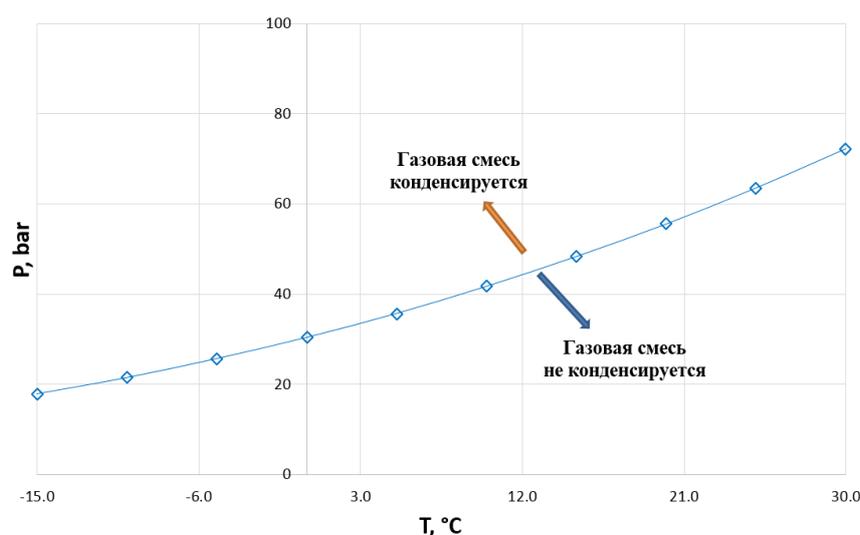


Рисунок. Равновесная кривая фазового равновесия для условий Восточного участка

Следующий этап заключался в исследовании эффективности ингибиторов гидратообразования различного типа действия. В рамках работы анализировали 12 реагентов кинетического действия и 12 реагентов термодинамического действия. Экспериментальные

исследования кинетических ингибиторов осуществлялись при помощи установки RCS6 в условиях, имитирующих промысловые, при начальном давлении в ячейках – 30 бар и температуре – 8°C. Эффективность действия ингибиторов оценивалась в условиях изменения температуры (при охлаждении до -15°C) по температуре начала поглощения гидратообразующего газа, а также по перепаду давлений в ячейке и объемной концентрации исследуемого ингибитора. Чем дольше ингибитор способен предотвращать нуклеацию кристаллов газогидратов, тем он эффективнее [3]. Оценка эффективности термодинамических реагентов была проведена изотермическим методом на автоклаве ГНА350 с термостатируемой установкой для фиксации температуры и манометром для измерения значений давления при постоянном перемешивании со скоростью 600 оборотов в минуту в условиях: $t = 2^{\circ}\text{C}$, начальное давление 50 атм; среда - вода/газ. Стенки рабочей зоны автоклава сделаны из прозрачного сапфирового стекла, благодаря чему можно наблюдать за изменением фазового состава жидкости внутри ячейки с помощью проведенной видеокамеры и фиксировать изменения в определенные промежутки времени. Эффективность определялась по способности предотвращать или растворять появляющиеся кристаллы газогидратов при заданных давлении и температуре, соответствующих термобарическим условиям в системе добычи и транспорта активного газа на ВУ ОНГКМ. Факт появления газогидратов фиксировался визуально, а также по перепаду давления в исследуемой системе.

По результатам определения эффективности исследуемых образцов в ходе лабораторных испытаний было установлено, что каждый из реагентов термодинамического типа действия будет успешно оказывать ингибирующее воздействие на образование при дозировках 20% и 15% от количества попутно-добываемой воды в условиях, практически идентичных промысловым на Восточном участке. Из низкодозированных кинетических образцов реагентов свою эффективность в тех же условиях проявили при дозировании 2,5% и 5% от количества попутно-добываемой воды только 3 из 12. Все успешно прошедшие лабораторные испытания ингибиторы были рекомендованы к тестированию на промысле.

К настоящему моменту опытно-промысловые испытания (ОПИ) прошли два реагента, один из которых кинетический, другой – термодинамический. Дозировка применяемого на сегодняшний день для борьбы с гидратообразованием на Восточном участке метанола составляет 500 л/сут. Термодинамический реагент в ходе ОПИ показал эффективность при дозировке 164 л/сут, кинетический – 50 л/сут. Кроме того, была рассчитана экономия от применения исследуемых реагентов в сравнении с метанолом. Результаты расчёта показали, что при применении термодинамического ингибитора вместо метанола удастся сократить затраты на борьбу с образованием гидратов на 25%, кинетического – на 15%.

Таким образом, в результате проведенных исследований были разработаны методы оценки эффективности и подбора эффективных дозировок ингибиторов гидратообразования в лабораторных условиях, с помощью которых удалось определить эффективные дозировки реагентов – ингибиторов гидратообразования и подтвердить их эффективность на промысле, а также посредством расчёта экономии от их использования установить размер сокращения затрат на борьбу с гидратообразованием на Восточном участке.

Литература

1. Истомина В. А., Квон В. Г. Предупреждение и ликвидация газовых гидратов в системах добычи газа. – М.: ООО «ИРЦ Газпром», 2004. 252 с.
2. Ворожцова Ю.С., Усманова Ф.Г., Рзаметов К.С. Выбор метода прогнозирования образования газогидратов // Сборник тезисов докладов конгресса молодых ученых. Электронное издание [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://kmu.ifmo.ru/collections_article/5954/vybor_metoda_prognozirovaniya_obrazovaniya_gazogidratov.htm - 2017
3. Кайбышев Р.Р., Кунакова А.М., Рзаметов К.С., Усманова Ф.Г. (и др.) Оценка эффективности ингибиторов гидратообразования политермическим методом // «Химия и технология топлив и масел». 2017. № 6. С. 49-52.

УДК 535.3

РАЗРАБОТКА И АНАЛИЗ ОПТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ САДОВО-ПАРКОВОГО СВЕТИЛЬНИКА

Козлова О.К.¹, Цяо Сюаньлинь¹

Научный руководитель – к.т.н, доцент Романова Г.Э.¹

¹Университет ИТМО

Работа выполнена в рамках НИР №620170 «Разработка методов и средств для решения прикладных задач оптоэлектроники и биоинженерии».

В работе рассмотрены осветительные системы для пешеходных аллей садово-паркового пространства, удовлетворяющие необходимым требованиям по создаваемой освещенности и слепимости светильника. Рассматриваются оптические системы с использованием линз различного типа, способные обеспечить широкую расходимость пучка, а также особенности разработки и моделирования неизображающей системы, обеспечивающей необходимое распределение силы света.

Ключевые слова: осветительная система, садово-парковый светильник, слепимость, кривая силы света, оптическая система.

Освещение парков города на данный момент является важной задачей, поскольку не все пространства города в достаточной мере освещены для того, чтобы посетители в темное время суток чувствовали себя в парках комфортно и безопасно. С другой стороны, оптическая система должна эффективно использовать световой поток источника освещения, а также обеспечивать минимальное световое загрязнение. Целью данной работы являлась разработка оптической системы, способной обеспечить необходимое освещение пешеходной аллеи садово-паркового пространства.

Для садово-парковых светильников существует несколько документов, которые устанавливают требования к их характеристикам. К таким документам относятся: государственный стандарт «Освещение наружное утилитарное. Классификация и нормы» [1], свод правил «Естественное и искусственное освещение» [2], инструкция по проектированию наружного освещения городов, поселков и сельских населенных пунктов [3]. В представленных документах регламентируется средняя освещенность пешеходных аллей ($E_{cp} = (E_{min} + E_{max})/2$, ее значение должно быть не менее 6 Лк), а также равномерность освещенности (E_{min}/E_{cp} , не менее 0.2). Также для осветительных систем рекомендуется обеспечивать показатель слепимости меньше 19, так как на аллеях могут быть установлены скамейки, на которых будут отдыхать посетители. Соотношение между расстоянием между осветительными приборами, установленными на пешеходной аллее, и высоты подсвета светильника должно составлять не более, чем 5:1.

В ходе работы был проведен анализ существующих аналогов садово-парковых светильников. Рассматривались такие фирмы, как Световые технологии [4] и Philips [5]. Характеристики некоторых рассмотренных аналогов представлены в таблице 1.

Таблица 1. Характеристики существующих садово-парковых светильников

Модель	Световой поток, Лм	Мощность, Вт	Длина, ширина, мм	Угол обзора, °	Освещенность, Лк
Poker LED [4]	7300	56	880x160	120	48,41
Town Guide Performer [5]	4803	92	458x570	151	6,86
TownTune DTC [5]	1725-3886	15-42,5	365x533	152	2,13/4,81

Как видно из таблицы 1, рассмотренные приборы не всегда обеспечивают требуемую минимальную освещенность, кроме того, необходимо проанализировать слепимость, что выполнялось с использованием программы DIALux evo. Для анализа слепимости

осветительные приборы были размещены на высоте 4 м, на расстоянии 12 м друг от друга (вид модели представлен на рисунке 1)



Рис. 1. Модель Poker LED в программе DIALux evo

Результаты моделирования показали, что для всех моделей слепимость при высоте подвеса 1.7 м достигает значения 30, что значительно выше необходимого. Кроме того, анализ показал, что для некоторых моделей при указанном размещении равномерность освещенности не удовлетворяет ГОСТ, так как не достигает значения 0,2.

Для определения оптимальных характеристик светильника был выполнен анализ кривых силы света выбранных световых приборов в программе Optic Studio, а также выполнен расчет требуемой кривой силы света. При условии равномерной засветки требуемого участка распределение силы света близко к типу Ш – рисунке 2.

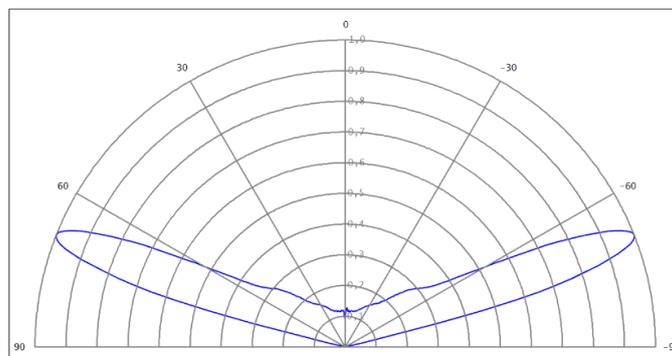


Рис. 2. Расчетная кривая силы света при условии равномерной засветки

При установке светильника с расчетной характеристикой в программу DIALux EVO в проекте были получены приемлемые значения средней освещенности и равномерности освещенности (0.31), при этом такие величины достигнуты при общем световом потоке светильника 1200, что в 1.5 и более раз меньше, чем у рассмотренных аналогов. Таким образом, если разрабатываемый светильник обеспечит необходимую КСС и достаточную эффективность светового потока, это позволит прежде всего снизить энергопотребление.

Большинство рассмотренных аналогов имеют КСС, сильно отличающуюся от расчетной идеальной, в связи с чем не обеспечивают требуемые характеристики.

Однако обеспечение такого светораспределения с помощью оптической системы является не самой простой задачей. Для того, чтобы получить необходимую форму кривой силы света в осветительном приборе, рассматривались различные варианты оптики.

Одним из таких вариантов была двойная плоско-выпуклая линза с отверстием под светодиод. При использовании данной линзы удастся достичь угловой ширины пучка 160° и

равномерности освещенности 0.31, при этом эффективность данной системы составляет 80 % (значение эффективности получено при расчете системы со светодиодом с размерами площадки 3.2 мм x 2.8 мм и углом $2\omega=120^\circ$). Важно отметить, что показатель слепимости для данного типа системы по оценкам в программе DiaLux, составил менее 19. Кривая силы света данной системы представлена на рисунке 3.

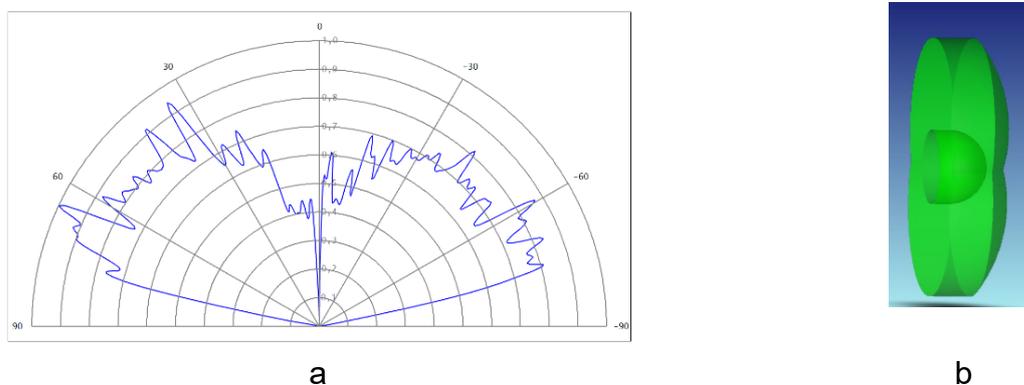


Рис. 3. Кривая силы света системы (а) и вид линзы (b)

Еще один вариант оптической системы был разработан на основе пользовательского объекта (dll) и представляет собой линзу полуцилиндрической формы с отверстием для светодиода. При использовании данной линзы удастся достичь угловой ширины пучка 140° и равномерности освещенности 0.2, при этом эффективность данной системы составляет 92 %. Показатель слепимости для данного типа системы по оценкам в программе DiaLux, составил менее 19. Кривая силы света данной системы представлена на рисунке 4.

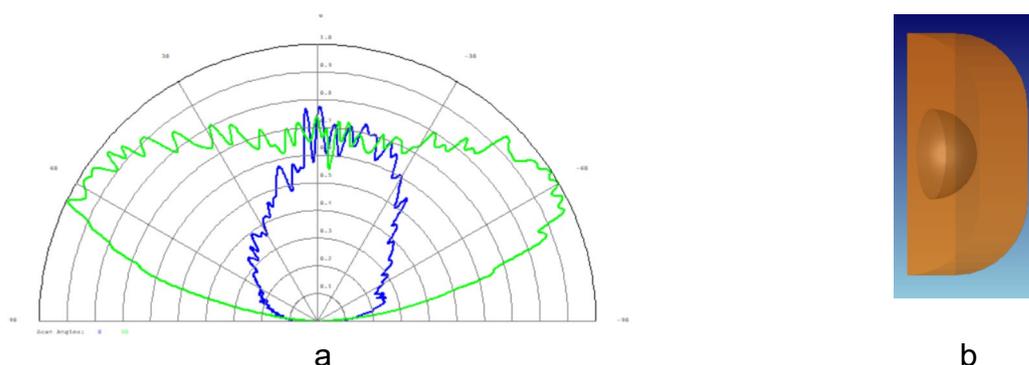


Рис. 4. Кривая силы света системы с DLL-объектом (а) и DLL-объект (b)

Таким образом, в работе выполнен анализ требований к освещению садово-паркового пространства и рассмотрены варианты выполнения осветительного проекта с использованием существующих приборов. Кроме того, предложен подход к проектированию оптимальной оптической системы прибора и представлены варианты оптики, обеспечивающей требуемые характеристики.

Литература

1. ГОСТ Р 55706-2013. Освещение наружное утилитарное. Классификация и нормы. – М.: Стандартинформ, 2014. 12 с.
2. СП 52.13330. Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95 – М.: Изд-во стандартов, 2011. 74 с.
3. СН 541–82. Инструкция по проектированию наружного освещения городов, поселков и сельских населенных пунктов. – М.: ФГУП ЦПП, 2004. 25 с.
4. Световые технологии [Электронный ресурс] – Электрон. каталог.- Москва. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.ltcompany.com/ru>. (дата обращения 12.05.2021).
5. Philips [Электронный ресурс] – Электрон. каталог.- Нидерланды. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.lighting.philips.ru>. (дата обращения 12.05.2021).

УДК 534.1

УПРАВЛЕНИЕ УГЛОВОЙ ОРИЕНТАЦИЕЙ ДВУХАТОМНОЙ ЗАРЯЖЕННОЙ СТРУКТУРЫ В КВАДРУПОЛЬНОМ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОМ ПОЛЕ

Кокорина О.О.¹

Научный руководитель – д. ф.-м. н., профессор Рождественский Ю.В.¹

¹Университет ИТМО

Рассмотрена задача управления динамикой механической модели двухатомного молекулярного иона в квадрупольном гиперболическом электростатическом поле. Получена диаграмма положений равновесия системы. Продемонстрирована возможность управления угловой ориентацией модели в гиперболическом поле. Обозначена применимость рассмотренной модели к управлению динамикой реальных двухатомных молекулярных структур.

Ключевые слова: двойной заряженный маятник, управление угловой ориентацией, молекулярная структура, квадрупольное электростатическое поле, диаграмма положений равновесия.

Исследование простых математических моделей физических систем, таких как гармонический осциллятор, до сих пор остается важной задачей [1]. Действительно, даже при введении в систему одного дополнительного параметра могут наблюдаться принципиально новые эффекты динамики. Так, описанный в 1951 г. маятник Капицы – математический маятник с вертикально вибрирующим подвесом, может демонстрировать устойчивые осцилляции около верхнего положения равновесия. Такое поведение системы было исключительно сложно предсказать исходя из общих представлений о динамике подобных моделей [2]. Определение параметров, при которых наблюдаются устойчивая локализации системы в строго определенных точках пространства, представляет ключевую задачу управления. Динамика двойного маятника значительно отличается от динамики гармонических осцилляторов и является хаотической при определенных параметрах системы [3]. Исследование прямого механического аналога двухатомного молекулярного иона – двойного заряженного маятника – представляет важную задачу управления динамикой подобных структур. На основе решения поставленной задачи можно судить о поведении двухатомных молекулярных ионов в квадрупольных электростатических полях, например, в поле масс-фильтра, и научиться управлять динамикой аналогичных структур.

В настоящей работе исследуется динамика заряженного двойного маятника в квадрупольном электростатическом поле. Рассмотрены различные случаи соотношения зарядов двойного маятника при фиксированной длине подвеса – модель невесомого жесткого стержня. Решена задача управления динамикой заряженного маятника в квадрупольном электростатическом поле, и получена диаграмма положений равновесия системы при различных соотношениях зарядов двойного маятника.

Уравнения динамики двойного заряженного маятника в квадрупольном электростатическом поле

Рассмотрим динамику двойного заряженного маятника в поле силы тяжести и квадрупольном гиперболическом электрическом поле, с массами m_1 , m_2 и зарядами e_1 , e_2 , представленного на рис. 1. Лагранжиан системы имеет вид

$$L = T - U = \frac{M}{2} l_1^2 \dot{\alpha}^2 + \frac{m_2}{2} l_2^2 \dot{\beta}^2 + m_2 l_1 l_2 \dot{\alpha} \dot{\beta} \cos(\alpha - \beta) + M g l_1 \cos(\alpha) +$$

$$+ m_2 g l_2 \cos(\beta) + C_1 l_1^2 \cos(2\alpha) + C_2 [l_1^2 \cos(2\alpha) - l_2^2 \cos(2\beta) - 2 l_1 l_2 \cos(\alpha + \beta)],$$
(1)

где $M = m_1 + m_2$, g – вектор ускорения свободного падения, $\dot{\alpha}$, $\dot{\beta}$ – обобщенные скорости, V_0 – величина постоянного напряжения, $2r_0$ – расстояние между электродами (рис. 1),

$C_i = \frac{e_i V_0}{r_0^n}$ (e_i – величина заряда, помещенного в поле, $i = 1, 2$). Решая систему уравнений Эйлера-Лагранжа, получим уравнения движения двойного заряженного маятника в квадрупольном электростатическом поле.

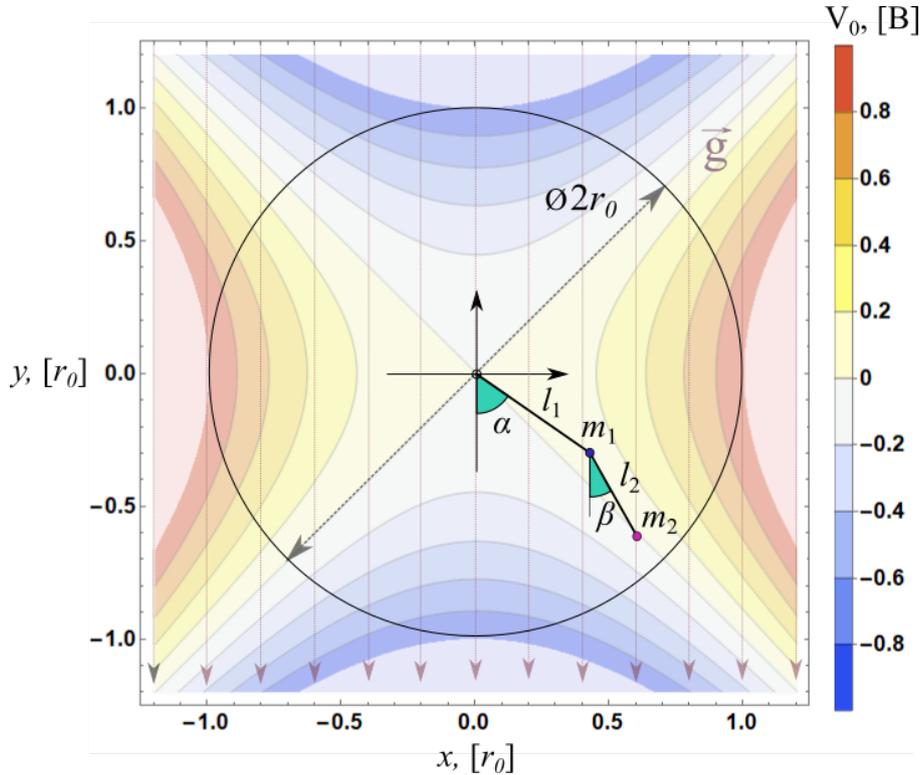


Рис. 1. Двойной заряженный маятник в квадрупольном электростатическом поле, где l_1, l_2 – длины жестких невесомых стержней, α, β – углы отклонения масс m_1, m_2 от вертикали. Принято нормирование координат на r_0 , где $2r_0$ – расстояние между противоположными электродами

$$\ddot{\alpha} = \frac{m_2 l_2 [Mgl_1 \sin(\alpha) + 2(C_1 + C_2)l_1^2 \sin(2\alpha) + 2C_2 l_1 l_2 \sin(\alpha + \beta)]}{m_2^2 l_1^2 l_2 \cos^2(\alpha - \beta) - Ml_1^2 m_2 l_2} - \frac{m_2 l_1 \cos(\alpha - \beta) [m_2 g l_2 \sin(\beta) + 2C_2 \{l_2^2 \sin(2\beta) + l_1 l_2 \sin(\alpha + \beta)\}]}{m_2^2 l_1^2 l_2 \cos^2(\alpha - \beta) - Ml_1^2 m_2 l_2}, \quad (2)$$

$$\ddot{\beta} = \frac{m_2 l_2 \cos(\alpha - \beta) [Mgl_1 \sin(\alpha) + 2(C_1 + C_2)l_1^2 \sin(2\alpha)] - Ml_1 m_2 g l_2 \sin(\beta)}{Ml_1 m_2 l_2^2 - m_2^2 l_1^2 l_2^2 \cos^2(\alpha - \beta)} + \frac{2C_2 l_1 l_2 \sin(\alpha + \beta) m_2 l_2 \cos(\alpha - \beta) - 2Ml_1 C_2 \{l_2^2 \sin(2\beta) + l_1 l_2 \sin(\alpha + \beta)\}}{Ml_1 m_2 l_2^2 - m_2^2 l_1^2 l_2^2 \cos^2(\alpha - \beta)}. \quad (3)$$

Полученные уравнения движения являются нелинейными дифференциальными уравнениями второго порядка. Примем начальные условия в уравнениях (2 – 3) в виде $\alpha(0) = \alpha_0, \beta(0) = \beta_0, \alpha'(0) = \beta'(0) = 0$. Необходимым, но недостаточным условием локализации двойного маятника в точке с произвольно выбранной координатой α_0, β_0 является равенство нулю ускорений масс m_1 и m_2 . Приравняем ускорения в уравнениях (2 – 3) к нулю и разрешим данные уравнения относительно параметров C_1 и

C_2 при заданных α_0, β_0 . В результате получим выражения для параметров C_1 и C_2 как функций от определённых выше координат предполагаемой стабилизации α_0, β_0 как

$$C_1(\alpha_0, \beta_0) = \frac{g[l_2 m_2 \cos(\alpha_0) - l_2 M \cos(\alpha_0 - 2\beta_0) + l_1 m_2 \cos(2\alpha_0 - \beta_0)] - l_1 m_1 \cos(\beta_0)}{4l_1 [l_2 \sin(2\beta_0) + l_1 \sin(\alpha_0 + \beta_0)]} + \frac{l_1 m_1 \cos(2\alpha_0 + \beta_0) + l_2 m_1 \cos(\alpha_0 + 2\beta_0) - l_1 m_2 \cos(\alpha_0 + 2\beta_0)] \operatorname{csc}(2\alpha_0)}{4l_1 [l_2 \sin(2\beta_0) + l_1 \sin(\alpha_0 + \beta_0)]}, \quad (4)$$

$$C_2(\alpha_0, \beta_0) = -\frac{g m_2 \sin(\beta_0)}{2[l_2 \sin(2\beta_0) + l_1 \sin(\alpha_0 + \beta_0)]}. \quad (5)$$

Для оценки возможности устойчивой локализации двойного маятника в различных точках пространства (α_0, β_0) построим графики зависимости функций C_1, C_2 от координат положений равновесия (α_0, β_0) , где $\alpha_0, \beta_0 \in (-\pi, \pi)$. При моделировании примем постоянной величину отношения подаваемого напряжения V_0 к расстоянию r_0^2 (Рис. 1), следовательно, величина C прямо пропорциональна величине заряда e соответствующей массы маятника: $C_i \sim e_i$. При этом остановимся на случае равных масс и длин стержней маятника $l_1 = l_2 = 1, m_1 = m_2 = 1, g = 9.81$, когда C_1 и $C_2 \neq 0$.

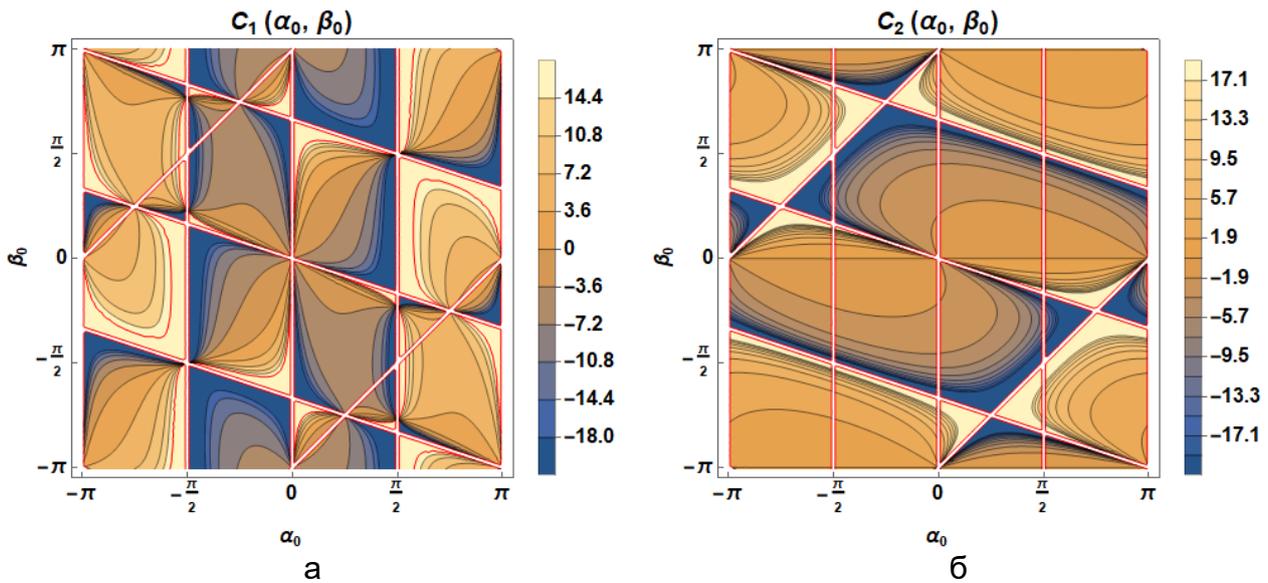


Рис. 2. Графики зависимостей функций C_1, C_2 от координат потенциальных положений равновесия (α_0, β_0) соответственно а и б

При построении графиков $C_1, C_2(\alpha_0, \beta_0)$ в большем диапазоне координат $(-\pi, \pi)$ (рис. 2), $n \in \mathbb{N}$, можно видеть, что зависимости функций C_1 и C_2 являются периодичными от α_0 и β_0 . Действительно, само квадрупольное гиперболическое электрическое поле является центрально симметричным. Однако наличие силы тяжести нарушает центральную симметрию – при этом сохраняется осевая симметрия относительно вертикали ОУ. Таким образом, существуют симметричные положения равновесия, характеризующиеся равными значениями C_1 и C_2 . Чтобы исследовать устойчивость положений равновесия двойного маятника в конкретных положениях (α_0, β_0) , были построены сечения эквипотенциальных поверхностей потенциальной энергии $W(\alpha, \beta)$ при вычисленных значениях функций $C_1(\alpha_0, \beta_0), C_2(\alpha_0, \beta_0)$. Для каждой из точек (α_0, β_0) численно была рассчитана динамика маятника и определен тип положения равновесия (α_0, β_0) . На рисунке 3 представлена

диаграмма устойчивости положений равновесия двойного заряженного маятника в квадрупольном электростатическом поле. Данные подобласти были получены численно путем нахождения отклонения положения равновесия α_0, β_0 от положения близлежащего локального минимума. Если отклонение стремится к нулю $\alpha_m \rightarrow \alpha_0, \beta_m \rightarrow \beta_0$, то данное положение равновесия устойчиво.

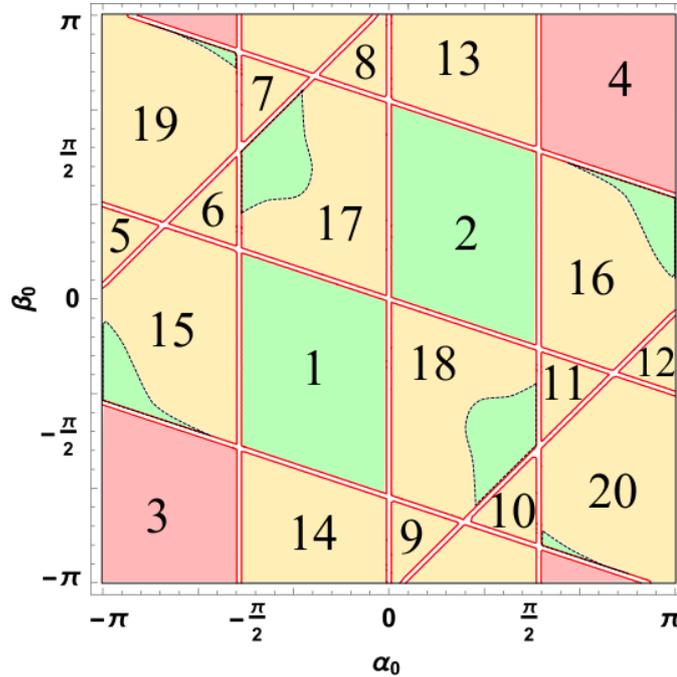


Рис. 3. Диаграмма устойчивости положений равновесия. Зеленым цветом отмечены области устойчивой локализации, желтым – области неустойчивой гиперболической локализации, а красным – параболически неустойчивой локализации

В областях 1 – 2 (Рис. 3) наблюдается устойчивая локализация двойного маятника вблизи координат $\alpha = \alpha_0, \beta = \beta_0$. Отметим, что области устойчивой локализации полностью охватывают третий и четвертый квадранты в декартовой системе координат (Рис. 1). Таким образом, в областях 1 – 2 задача управления динамикой двойного маятника осуществляется однозначно для произвольных α_0, β_0 , выбранных из нижней полуплоскости.

В областях 3 – 4 положение равновесия в точках α_0, β_0 является параболически неустойчивым – в выбранном положении локализация двойного маятника при рассчитанных $C_1(\alpha_0, \beta_0), C_2(\alpha_0, \beta_0)$ не осуществима.

Области 5 – 20 соответствуют седловым (гиперболическим) положениям равновесия, в которых локализация двойного маятника при вычисленных $C_1(\alpha_0, \beta_0), C_2(\alpha_0, \beta_0)$ также не осуществима. Однако области 15 – 20 содержат численно полученные подобласти устойчивой локализации 15' – 20' (рис. 3., отмечено зеленым в областях 15 – 20).

О применимости задачи управления двойного маятника в гиперболическом поле к динамике двухатомных структур

Полный эффективный потенциал системы определяется суперпозицией средней кинетической энергией трансляционного и вращательного микродвижений и может быть записан в виде

$$\Phi_{\text{eff}}(q) = \sum_{i=1}^3 \frac{M}{4} \int_0^{2\pi} [f(q_i, t)]^2 dt + \sum_{j=1}^3 \frac{J_j}{4} \int_0^{2\pi} [\dot{f}(q_j, t)]^2 dt, \quad (6)$$

где q – совокупность трансляционных q_i и вращательных q_j степеней свободы, $\int_0^{2\pi} J_j [\dot{f}(q_j, t)]^2 dt$ – средняя кинетическая энергия микровращений, причём функции $f(q_j, t)$ в явном виде зависят от времени. Выражение (6) обобщает метод усреднения на вращательные степени свободы. Подставляя $J = \frac{I^2 m_1 m_2}{M}$, можно получить эффективный потенциал произвольной двухатомной структуры. Рассмотрим симметричный случай соотношения масс и зарядов в молекулярном ионе ($m_1 = m_2 = m$, $e_1 = e_2 = e$) по аналогии с рассмотренной выше задачей локализации и управления двойным заряженным маятником в квадрупольном электростатическом поле. Такой симметричный случай может реализовываться в молекулярных ионах из двух атомов, связанных ковалентной неполярной связью. Примером подобной системой является молекула азота, ионизированная так, что около каждого из протонов сосредоточено по четыре электрона. Тогда эффективный потенциал (6) примет вид

$$\Phi_{\text{eff}}(x, y, \alpha) = \frac{I}{2mr_0^4 w^2} [-el^2 (mr_0^2 V_0 w^2 \cos(2\alpha) + eV^2 (\cos(4\alpha) - I))] + \quad (7)$$

$$+ \frac{I}{2mr_0^4 w^2} [4e(eV^2 - mr_0^2 V_0 w^2)x^2 - 4gm^2 r_0^4 w^2 y + 4e(eV^2 + mr_0^2 V_0 w^2)y^2],$$

где w – частота переменного напряжения, U_0, V_0 – амплитуды постоянного и переменного напряжения на электродах соответственно, r_0 – радиус ловушки, $x = x(t)$, $y = y(t)$ – координаты центра масс молекулы, $\alpha = \alpha(t)$ – угол ориентации молекулы относительно вертикали, проходящей через центр масс. Как и в частном случае локализации симметричных двухатомных структур при $V_0 = 0$ [4], наблюдается полное разделение эффективного потенциала (7) относительно пространственных координат x, y, α , что существенно проще рассматриваемой модели маятника и допускает точное определение положений равновесия (ориентации) молекулы относительно α . Однако при данном рассмотрении исключаются случаи, когда компоненты молекулы отклоняются от вертикали на различные углы α_0, β_0 . Таким образом, дополнительное электростатическое поле V_0 приводит к формированию дополнительных положений ориентации молекулы в пространстве. В результате подстановки (7) в уравнение Эйлера – Лагранжа и разрешения уравнения по $\ddot{\alpha}$ в точке 0, а также с учётом замен $A = mr_0^2 V_0 w^2$ и $B = 4eV^2$, положения равновесия описываются в виде

$$\alpha = \pi c_1, \quad \alpha = \frac{\pi}{2} + \pi c_2, \quad \alpha = \frac{1}{2} \arctg\left(\pm \frac{B^2 - A^2}{A}\right) + 2\pi c_3, \quad c_j \in Z. \quad (8)$$

Две первые серии решений совпадают со случаем локализации молекулярного иона в переменном радиочастотном поле при $V_0 = 0$ и соответствующем значении $A = 0$. При выполнении условия $0 > A > B$ возникают дополнительные положения равновесия – причём, ориентация молекулы полностью зависит от соотношения амплитуд постоянного электростатического квадрупольного поля и псевдопотенциала, обусловленного быстрыми осцилляциями молекулярного иона.

Заключение

В настоящей работе была рассмотрена динамика двойного заряженного маятника в квадрупольном электростатическом поле. Показано, что наличие квадрупольного электростатического поля создает дополнительные положения устойчивого равновесия двойного заряженного маятника. Продемонстрирована применимость рассмотренной модели к управлению динамикой реальных двухатомных молекулярных ионов. Предложенная модель

характеризуется большим числом параметров системы, таких как массы маятника, длины стержней, начальные условия в рамках решения задачи Коши. При моделировании был рассмотрен частный случай равных масс и длин стержней. Случаи различных соотношений масс и длин стержней требуют дополнительного исследования, поскольку асимметричные двухатомные молекулы более распространены в природе.

Литература

1. Lampart M., Zapoměl J. Dynamics of a non-autonomous double pendulum model forced by biharmonic excitation with soft stops //Nonlinear Dynamics. 2020. Т. 99. №. 3. С. 1909–1921.
2. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Краткий курс теоретической физики. Книга 1. Классическая механика. – М.: наука, 1972.
3. Yao Y. Numerical study on the influence of initial conditions on quasi-periodic oscillation of double pendulum system //Journal of Physics: Conference Series. – IOP Publishing, 2020. Т. 1437. №. 1. С. 012093.
4. Vasil'ev I. A. et al. Effective Rotational Potential of a Molecular Ions in a Plane Radio-Frequency Trap //Technical Physics. 2019. Т. 64. №. 9. С. 1379-1385.

УДК 004.89

**ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ КОРРЕЛИРОВАННЫХ ЦВЕТОВЫХ
ТЕМПЕРАТУР И ОСВЕЩЕННОСТИ НА ПСИХОЭМОЦИОНАЛЬНОЕ
СОСТОЯНИЕ ЧЕЛОВЕКА В ОФИСНОМ ПРОСТРАНСТВЕ****Лаушкина А.А.¹, Рослякова С.В.¹, Брагина Т.В.¹, Землянова Е. И.¹****Научный руководитель – к.т.н., доцент Балаев А.Ф.¹**¹Университет ИТМО

Работа выполнена в рамках проекта НИР № 620185 «Разработка интеллектуальной многопользовательской адаптивной системы освещения для снижения конфликтного поведения и стрессовых ситуаций в образовательной среде».

При известных зависимостях позитивного влияния освещения на физическое и психоэмоциональное состояние человека отсутствует механизм адаптации систем освещения к психофизиологическому состоянию пользователей. В работе было изучено влияние спектральных характеристик на стрессовое состояние человека при использовании адаптивных систем освещения. Предлагается набор световых режимов, позволяющих поддерживать и корректировать психоэмоциональное состояние человека.

Ключевые слова: адаптивное освещение, умные системы освещения, световые режимы, спектральные характеристики, стрессовое состояние, системы управления освещением.

Освещение пространства должно обеспечивать комфортные условия для работы и учебы. Однако недостаточно просто обеспечить регулирование яркостных характеристик системы – крайне важен спектральный состав освещения. Солнечный свет повышает работоспособность организма, а недостаток естественного света в короткий зимний день снижает продуктивность человека. Динамика изменений цветовой температуры света в природе положительно отражается на организме человека, так как смена его циркадных ритмов — это естественный процесс, который плавно происходит в течение всего дня [1]. Соответственно, стоит перенести динамику изменения естественного освещения в течение дня в адаптивные системы освещения (АСО). АСО с динамической сменой цветовой температуры в интерьерах значительно улучшают настроение, концентрацию внимания.

В ходе анализа научных работ выявлено, что большинство исследований в области систем управления освещением посвящено вопросам энергосбережения и персональному взаимодействию с освещением [2, 3]. При этом не затрагивается вопрос, связанный с воздействием освещения на уровень стресса человека. Существует лишь ряд исследований, изучавших параметры освещения для различных видов деятельности людей.

В этой статье выдвигается гипотеза о том, что изменение цветовой температуры и уровня освещенности рабочего пространства в течение дня позволит снизить уровень стрессовых ситуаций в многопользовательских пространствах. Была обозначена следующая цель работы - выявить взаимосвязи между различными режимами освещения и психоэмоциональными состояниями пользователя. Для достижения цели поставлен ряд задач - выполнить анализ и апробацию установленных световых режимов и выявить взаимосвязь между спектральными характеристиками источников света, их влиянием на уровень стресса человека. Вероятно, что изменение цветовой температуры в АСО позитивно скажется на настроении, концентрации внимания и продуктивности.

Ниже приведены рекомендуемые режимы освещения для базовых видов активности:

- комфортные условия для решения стандартных задач 4000К – 5000К;
- повышение уровня активности и концентрации 5500К – 6500К;
- период отдыха, восстановление и расслабление 2700 – 3500 К.

Чтобы автоматизировать и придать АСО свойства интеллектуальности, необходимо сформировать базу данных на основе многомодальной информации об окружающей среде и состояниях пользователей для обучения системы. Поскольку все чаще люди работают за компьютерами, данные об изменении поведения и стрессового состояния группы

пользователей можно снимать с помощью аудио канала и характеристик клавиатурного почерка. В дальнейшем это будет способствовать интеграции АСО в офисные пространства. Данные «снимаются» непрерывно и динамически, что позволяет избежать ложных или крайне приблизительных интерпретаций и выводов. Метод оценки состояния с помощью аудио канала и характеристик клавиатурного почерка безопасен и безболезнен для пользователей. В проекте использовались приборы, показанные на рисунке 1.

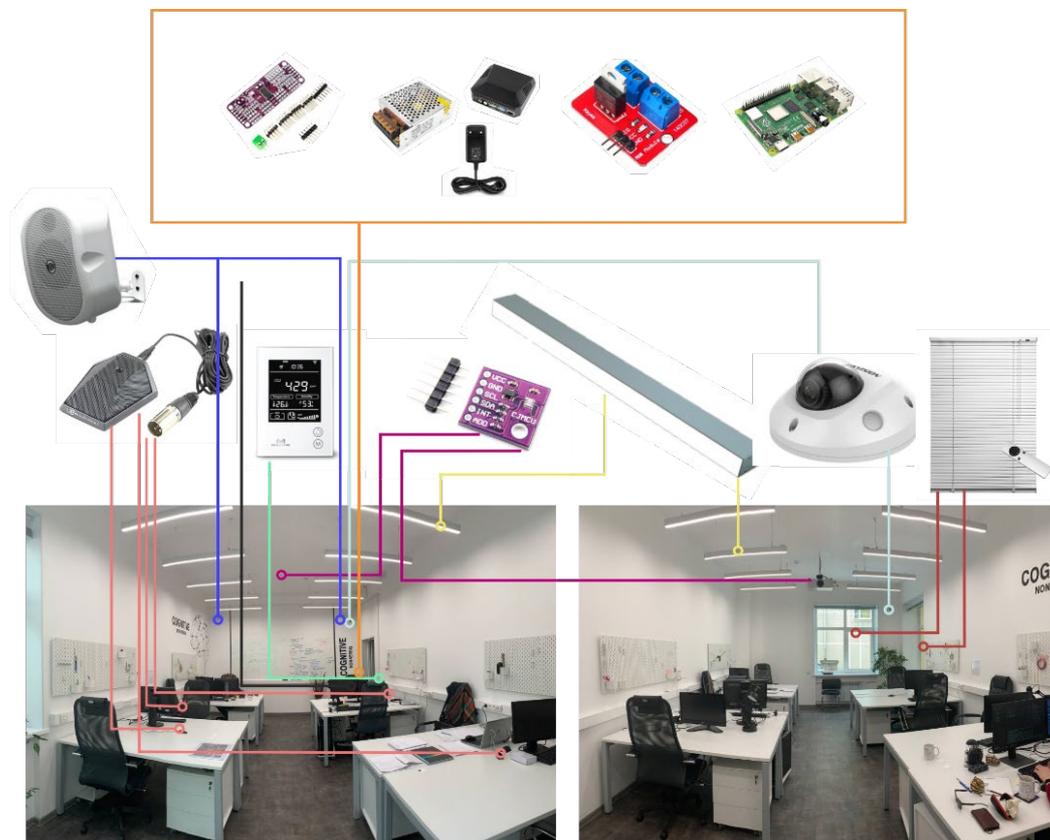


Рис. 1. Схема приборов и датчиков ауд.408 Университета ИТМО (Биржевая л., д. 16), микрофон, динамик, датчик температуры в помещении, датчик влажности в помещении, датчик углекислого газа в помещении, микропроцессорный блок управления, проектор, датчик освещенности в помещении, LED-светильники, купольная видеокамера, модуль управления жалюзи (обозначение приборов слева направо)

Были разработаны режимы, которые будут использоваться для обычных задач в офисном помещении. Для влияния на состояние человека предлагается использовать режимы освещения, которые создаются изменением двух фотометрических характеристик: освещенности и коррелированной цветовой температуры. В разработанной АСО используются светодиодные матрицы с коррелированной цветовой температурой 2700 К и 6500 К. Разработанная АСО позволит уменьшить уровень стресса, с помощью следующих режимов:

1. Стандарт - 300 лк, 4000 К
4. Концентрат - 1060 лк, 5800 К
5. Активация - 675 лк, 6500 К
6. Расслабление - 325 лк, 3500 К
7. Максимальное расслабление - 275 лк, 2700 К.

Для реализации этих режимов была проведена калибровка светильников по спектральным характеристикам с помощью спектрометра UPRtek MK350S.

Исследование проводилось с участием компании PromLed. Специалисты этой компании разработали светильники, позволяющие создавать режимы, указанные выше. Эти светильники серии Elegant 40 (рис. 2) с двумя видами светодиодов с цветовой температурой 2700 К и 6500 К. Другие характеристики светового оборудования в таблице 1. Важно, что индекс цветопередачи данных источников света больше 90.



Рис. 2. Светильники серии Elegant 40

Таблица 1. Характеристики светового оборудования серии Elegant 40

Мощность, Вт	33
Тип кривой силы света	косинусная
Цветовая температура, К	2700-6500
Световой поток в режиме 2700 К, лм	1400
Световой поток в режиме 6500 К, лм	1500
Общий индекс цветопередачи	90
Коэффициент пульсации (Кп), не более, %	1
Коэффициент мощности	0,97
Степень защиты светильника от пыли и влаги, IP	40
Напряжение питания, В	176-264
Управление	0-10 В
Габариты, мм	1203×124×44

Эксперимент проводился с экспериментальной и контрольной группой. График световых режимов для экспериментальной и контрольной группы приведен в таблицах 2 – 5. В первую неделю был установлен режим «стандарт» 4000К 300 лк для контрольной группы (табл.2).

Таблица 2. Режимы света 1-й недели исследования

Режимы света (1 неделя) для контрольной группы				
Понедельник-пятница				
Время суток			4000 К, 300 лк	
10:00-13:00				
14:00-16:00				
16:00-18:00				

При работе экспериментальной группы были установлены 3 вида режимов света на каждую неделю: 2 статичных (6500 К 675 лк, 2700К 275 лк) (табл.3,4) и 1 динамичный (табл.5).

Таблица 3. Режимы света 2-й недели исследования

Режимы света (2 неделя) для экспериментальной группы					
	Понедельник	Вторник	Среда	Четверг	Пятница
Время суток	6100 К, 675 лк	6500 К, 675 лк	4000 К, 300 лк	6100 К, 675 лк	6500 К, 675 лк
10:00-13:00					
14:00-16:00					
16:00-18:00					

Таблица 4. Режимы света 3-й недели исследования

Режимы света (3 неделя) для экспериментальной группы					
	Понедельник	Вторник	Среда	Четверг	Пятница
Время суток	2700 К, 275 лк	2700 К, 275 лк	4000 К, 300 лк	2700 К, 275 лк	2700 К, 275 лк
10:00-13:00					
14:00-16:00					
16:00-18:00					

Таблица 5. Режимы света 4-й недели исследования

Режимы света (4 неделя) для экспериментальной группы									
	Понедельник		Вторник		Среда	Четверг		Пятница	
Время суток	6100 К, 675 лк	3500 К, 325 лк	6100 К, 675 лк	3500 К, 325 лк	4000 К, 300 лк	5800 К, 1060 лк	3500 К, 325 лк	5800 К, 1060 лк	3500 К, 325 лк
10:00-13:00									
14:00-16:00									
16:00-18:00									

Полученные в ходе месячного исследования данные в дальнейшем будут использованы для обучения интеллектуальной системы управления освещением.

После проведенного исследования были получены усредненные данные контрольной и экспериментальной групп. По результатам можно видеть, что оценка самочувствия испытуемых в 1 неделе выше в среднем на 2,5 единицы. Пиковые значения первой недели наблюдаются в пятницу. Минимальные – в четверг (рис. 3.а).

Оценка самочувствия испытуемых на 4 неделе с динамичным освещением, где пик самочувствия наблюдается во вторник, минимум – в среду (рис. 3.б). Низкий уровень тревожности у испытуемых контрольной группы был в пятницу, у экспериментальной группы – понедельник. (рис. 3.в и г). Пик активности наблюдается в пятницу и у контрольной группы, и в понедельник у экспериментальной группы соответственно (рис. 3.д и е).

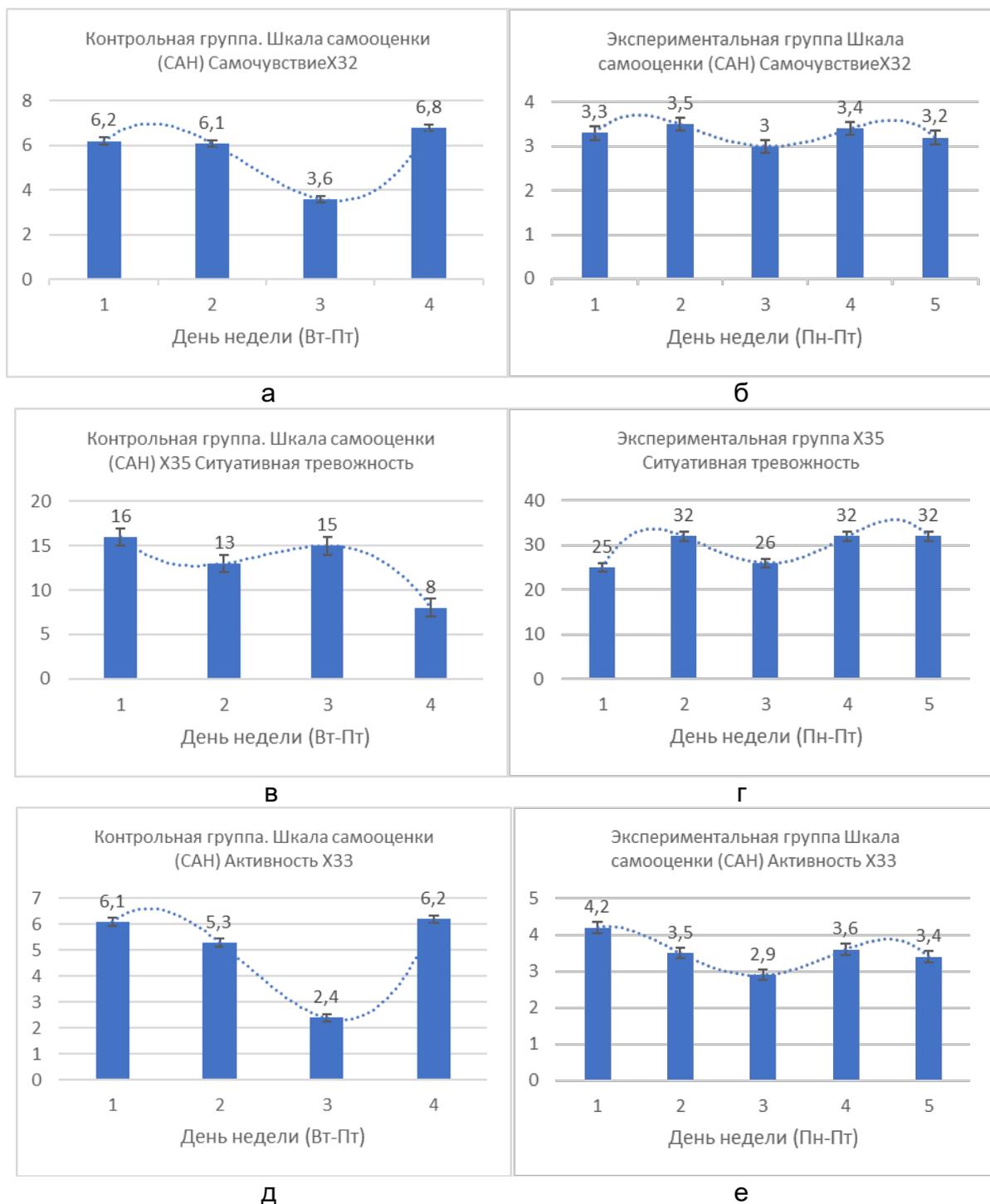


Рис. 3. Графики оценки самочувствия: а) график первой недели; б) график четвертой недели с динамичным освещением; в) график четвертой недели контрольной группы; г) график четвертой недели экспериментальной группы; д) пик активности контрольной группы; е) пик активности экспериментальной группы

В целом можно сказать, что показатели контрольной группы выше, чем в экспериментальной, учитывая показатели тревожности, активности и самочувствия.

Если же говорить о работоспособности, то показатели выше у экспериментальной группы (рис. 4).

Показатели субъективной оценки освещения в контрольной группе снижалась к концу каждого дня и минимальных значений достигали в пятницу. В экспериментальной группе оценка освещения снижалась к концу недели. По результатам исследования более стабильные

результаты, по субъективной оценке освещения, даёт динамическое освещение с цветовой температурой 6500 К, 675 лк и 3500 К, 325 лк.

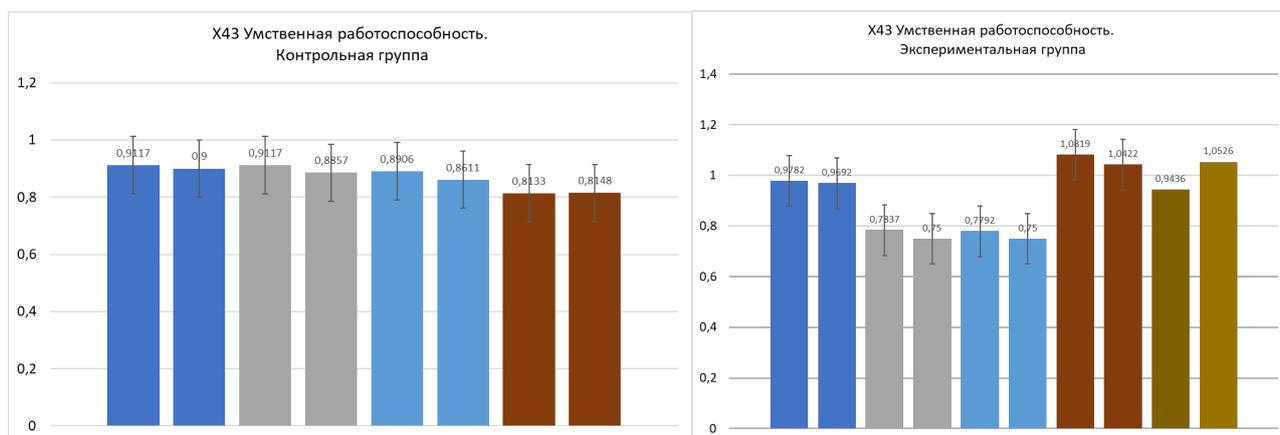


Рис. 4. Графики работоспособности: а) контрольной группы; б) экспериментальной группы

В ходе проведенного исследования, полученные результаты дают представление о влиянии различных световых режимов на уровень тревожности, активности и реакции на различные стресс факторы. Также было выявлено, что при статичном режиме 4000К 300 лк указанные выше показатели имеют более высокий уровень. Уровень работоспособности имеет более высокие значения при динамическом освещении. Исходя из полученных результатов при сравнении первой и четвертой недели исследования, можно сделать вывод, что более стабильные результаты выявляются по всем показателям при динамическом освещении, а не при статичном освещении. Данные результаты показывают перспективность развития адаптивных систем освещения во внутреннем освещении как и для снижения энергопотребления, так и для улучшения психоэмоционального состояния человека.

Литература

1. Биологически и эмоционально эффективное освещение Human Centric Lighting [Электронный ресурс]. – <https://www.ltcompany.com/ru/solutions/hcl/> (дата обращения: 22.01.2021).
2. Умный свет в офисе экономит нам 40% затрат на электроэнергию [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://rb.ru/opinion/umnyj-svet-ekonomen/> (дата обращения: 22.01.2021).
3. Д. Павлов, Д. Иванов и В. Петров, «Энергоэффективное биодинамическое освещение для использования в научных и образовательных учреждениях», Вторая Балканская молодежная конференция по освещению 2019 г. (Balkan Light Junior), Пловдив, Болгария, 2019 г., стр. 1-4, DOI: 10.1109 / BLJ.2019.8883566.

УДК 535.214

**ДЕМОНСТРАЦИЯ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ
НА АНСАМБЛЬ ЧАСТИЦ В ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОЙ ЛОВУШКЕ****Морозова П.А.¹, Тучин В.С.¹, Костерной И.А.¹****Научный руководитель – д.ф.-м.н., профессор Рождественский Ю.В.¹**¹Университет ИТМО

Работа выполнена в рамках темы НИР №620167 «Разработка методов, устройств и материалов оптической и квантовой информатики».

В представленной работе продемонстрирован эффект воздействия мощного лазерного излучения на ансамбль микросфер боросиликатного стекла в электродинамической ловушке. При воздействии все частицы ансамбля улетают за пределы области локализации. В дальнейшем планируется модификация экспериментальной установки, вследствие чего предлагаемый метод позволит проводить избирательную селекцию одиночных частиц ансамбля. Такой метод селекции отличается от существующих независимостью эффективности и точности селекции от параметров локализованных объектов.

Ключевые слова: электродинамическая ловушка, микрочастица, световое давление, селекция, оптика.

В настоящее время существует необходимость в получении одиночных локализованных микрочастиц для различных целей, таких как изучение микроскопических объектов, измерение их параметров, например энергии перехода между двумя уровнями в атоме, а также для применения в качестве составляющих компонентов более масштабных установок или приборов [1]. Также ловушки, в частности, интересны тем, что позволяют удерживать одиночный заряженный микро- или нанообъект в ограниченном объеме продолжительное время. Такие особые свойства позволяют использовать ловушки для изучения физики плазмы, организации сложных структур из множества заряженных частиц, анализа биологических объектов и другое. В том числе ловушки активно используются в фундаментальной физике, например, для определения массы нуклидов и нейтрино, что является крайне важной целью современной фундаментальной физики [2]. Также ловушки применяются в более прикладных направлениях, таких как стандарт частоты, атомная спектроскопия или квантовая информатика и квантовые вычисления.

Таким образом, необходимо получать одиночный объект в ловушке или строго определенное количество объектов. Селектирование частицы обеспечивает возможность сфокусировать внимание на одиночном объекте исследования, чем может выступать как одиночная частица, так и строго упорядоченный ансамбль.

Для таких целей часто используются электрические ловушки. Строго говоря, ловушки можно разделить по пространственной составляющей на объемные и поверхностные, по порядку формируемого поля на квадрупольные, октупольные и т. д. и по частоте поля на радиочастотные и электродинамические (ЭД). ЭД ловушки используют комбинацию переменного и постоянного полей низкой частоты для удержания заряженных объектов в пространстве и лучше подходят для захвата объектов большой массы. Из-за особенностей конструкции и работы ловушки возможно собрать экспериментальную установку, в наибольшей степени ограничивающей негативное влияние внешних факторов, например, ионную ловушку в условиях сверхвысокого вакуума. Однако использование ловушек также возможно и в воздушной среде [3].

Для получения одиночных объектов исследования, в том числе микроразмерных, используются различные методы селекции, среди которых самым распространенным является метод масс-селективного накопления [4]. Принцип работы данного метода нетрудно продемонстрировать: регулируя различные характеристики системы локализации частиц, в частности, параметры формируемого поля, возможно отсеивать частицы с определенным отношением массы к заряду, которые более не могут быть удержаны ловушкой. Так, при

изменении, например, напряжения на электродах, меняется и диапазон значений отношения массы к заряду, в котором возможно удержание, и частицы, которые не будут входить в новый диапазон, вылетают за пределы ловушки. Однако масс-селективное накопление не позволяет исключить одну из двух частиц с одинаковым отношением массы к заряду. Иными словами, при изменении параметров системы удаляются сразу все частицы с определенным отношением массы к заряду, и в этом ключевой недостаток данного метода. Стоит обратить внимание, что при селекции ансамбля с помощью прямого оптического излучения описанная проблема решается автоматически вследствие избирательного воздействия на частицы.

В данной работе демонстрируется эффект воздействия оптического излучения на ансамбль частиц в ЭД ловушке, который можно использовать в качестве метода селекции. Предлагается производить селекцию с помощью лазерного излучения по пространственному положению частицы путем воздействия силы светового давления. После захвата ансамбля лазерное излучение прицельно воздействует на определенные единичные частицы и таким образом удаляет их из ансамбля. Таким образом, данный метод позволит воздействовать на одиночную частицу независимо от ее заряда и массы, не затрагивая другие частицы, у которых такое же отношение массы к заряду. В дополнение, данный метод может быть применен совместно с методом масс-селективного накопления: при малом количестве частиц с равным отношением массы к заряду высокомошное лазерное излучение позволит более точно селектировать ансамбль до одиночного объекта.

Поскольку ключевой особенностью установки является использование лазера в качестве селектирующего устройства, воздействующего на частицу силой светового давления, то эффективность селекции в первую очередь будет определяться значением этой силы. На рисунке 1 в плоскости XZ на частицу будет действовать сила сопротивления воздуха F_d и сила со стороны электрического поля, продуцируемая силовыми электродами ловушки. Ловушка располагается вертикально, таким образом, ось симметрии ловушки, совпадающая с осью Y, параллельна вектору силы тяжести F_g . При этом сила тяжести F_g , действующая на частицу, будет компенсироваться кулоновским взаимодействием между запирающим электродом и заряженной частицей F_f .

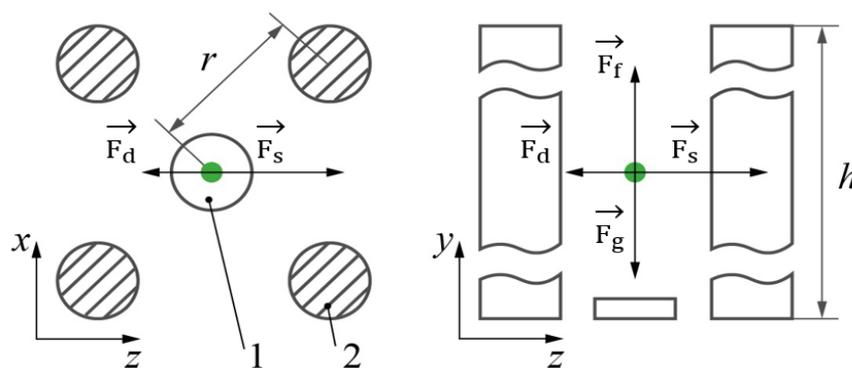


Рис. 1. Схематическое изображение параметров ловушки и сил, действующих на частицу, обозначенной зеленым. На рисунке слева изображена поперечная плоскость XZ, когда на рисунке справа – плоскость ZY. Под цифрой 1 обозначен запирающий электрод, а под цифрой 2 – силовые. Длина открытой части силовых электродов h составляет 60 мм, а радиус круга r , на котором равноудаленно размещены электроды, равен 13,2 мм

Когда включается лазер, излучение создает силу светового давления. Важно отметить, что направление результирующей силы совпадает с волновым вектором распространения падающей волны излучения лазера. В эксперименте использованы прозрачные сферы боросиликатного стекла с диапазоном размеров 20 – 200 мкм в качестве объекта локализации. Силу светового давления для прозрачной частицы можно определить через градиентную силу F_{gr} и силу рассеяния F_s . В данном случае полная сила светового давления определится только

силой рассеяния F_s и составляет порядка 6,5 пН при равномерном распределении интенсивности лазера с мощностью 500 мВт и диаметре луча около 1 мм. В силу равномерной интенсивности в пучке градиентная часть силы светового давления равна нулю. Исходя из этого, расчет для силы рассеяния F_s производится по формуле

$$F_s = \frac{n_m \cdot P}{c} \cdot \left(1 + R \cdot \cos 2\alpha - T^2 \cdot \frac{\cos(2\alpha - 2\beta) + R \cdot \cos 2\alpha}{1 + R^2 + 2R \cdot \cos 2\beta} \right),$$

где n_m – показатель преломления внешней среды, P – мощность лазерного излучения, c – скорость света, R – коэффициент отражения, T – коэффициент пропускания, α и β – углы падения и преломления [5].

На рисунке 2 представлена схема экспериментальной установки. Ключевыми элементами являются линейная квадрупольная ловушка, а также лазер с длиной волны 405 нм и выходной мощностью 500 мВт. Для подсветки частиц внутри ловушки была собрана оптическая система, состоящая из малоомощного лазера с длиной волны излучения 532 нм, трёх зеркал и расширителя. Съёмка частиц производилась на камеру с разрешением 4К с частотой 25 Гц. Система питания позволяет подавать на силовые электроды до 6кВ переменного напряжения и до 300 В постоянного на запирающий.

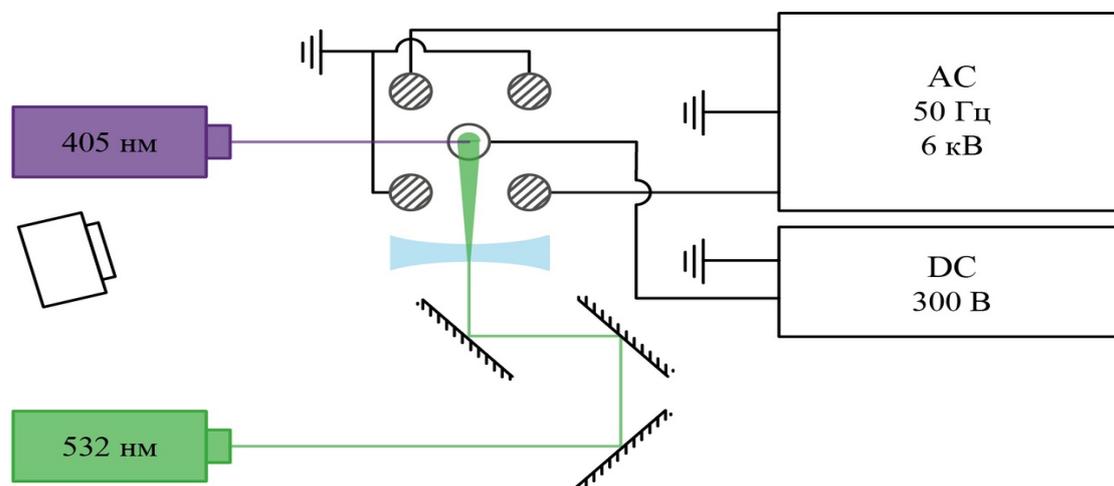


Рис. 2. Схема экспериментальной установки с отображением подключения электродов. Таким образом, на два диаметрально противоположных силовых цилиндрических электрода приложено переменное напряжение, а два других – заземлены. На запирающий электрод приложено постоянное напряжение

На рисунке 3 приведены фотографии экспериментального процесса: удержание ансамбля частиц электрическим полем ловушки и движение частиц под действием лазерного излучения высокой интенсивности. Лазер настроен таким образом, что пучок попадает непосредственно на ансамбль частиц, а фокус находится в плоскости дальних по ходу луча силовых электродов. В отсутствие лазерного излучения частицы находятся в эффективной потенциальной яме в положении динамического равновесия. При включении мощного лазера амплитуда частиц начинает возрастать и увеличивается до тех пор, пока частицы не вылетят из ловушки или не столкнутся с электродами. Увеличение амплитуды происходит по причине того, что частицы находятся в эффективной потенциальной яме, и при сообщении дополнительной энергии частица не может находиться на нижнем уровне по энергии. Частица прыгает на уровень выше, где потенциальная яма шире и возможная максимальная амплитуда больше. Энергия частицы увеличивается до тех пор, пока она не окажется за пределами ямы и не вылетит за пределы ЭД ловушки, так как поле больше не способно удерживать частицу. Вылет за пределы ловушки всех частиц можно обосновать наличием кулоновского взаимодействия между частицами или сильным рассеянием излучения. Таким образом, после

модернизации оптической схемы можно добиться избирательного воздействия лазерного излучения на частицу в ансамбле.

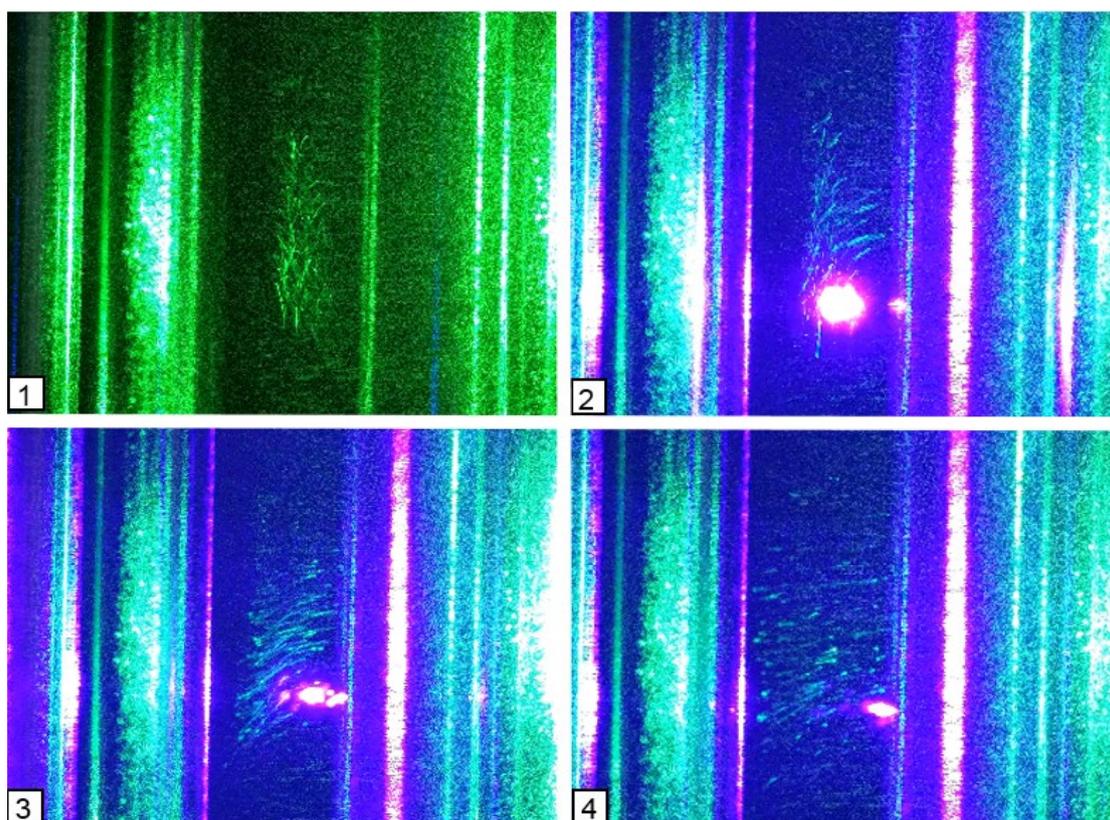


Рис. 3. Процесс воздействия на частицы сфокусированного лазерного излучения. Частицы отображаются в виде линий, что вызвано разницей между частотой камеры и поля ЭД ловушки. На подрисунке 1 – демонстрация захвата исследуемых частиц ЭД ловушкой с подсвечивающим лазером, на подрисунках 2, 3 и 4 показывается результат действия силы светового давления сфокусированного лазерного излучения 405 нм на ансамбль частиц с течением времени – как видно, что со временем амплитуда колебаний частиц увеличивается

В результате данной работы была продемонстрирована возможность удаления микрочастиц из ЭД ловушки с помощью лазерного излучения. В силу таких факторов, как большой диаметр светового пучка, паразитная засветка, происходило удаление всего ансамбля частиц. Действие перечисленных факторов может быть нивелировано с помощью ряда модификаций экспериментальной установки: улучшенная фокусировка лазера, установка апертурной диафрагмы для удаления ненужных пространственных мод, а также возможно использование лазеров других мощностей и режимов излучения.

Литература

1. Тошек П. Э., «Атомные частицы в ловушках» // Успехи физических наук. 1989. Т. 158. N. 7. P. 451–497.
2. Blaum K., Novikov Yu. N., Werth G., «Penning traps as a versatile tool for precise experiments in fundamental physics» // Contemporary Physics. 2010. Т. 51 N. 2. P. 149-175.
3. Vinitsky E. A., Black E. D., Libbrecht K. G., «Particle dynamics in damped nonlinear quadrupole ion traps» // American Journal of Physics. 2015. Т. 83. N. 4. P. 313-319.
4. Wang Y. et al., «Mass selective ion transfer and accumulation in ion trap arrays» // Analytical chemistry. 2014. Т. 86. N. 20. P. 10164-10170.
5. Ashkin A., «Forces of a single-beam gradient laser trap on a dielectric sphere in the ray optics regime» // Biophysical Journal, Т. 61. N. 2, P. 569–582.

УДК 621.355

**НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ АНОДОВ
ЛИТИЙ-ИОННЫХ АККУМУЛЯТОРОВ****Нигаматдянов М.Г.¹, Чиркунова Н.В.²****Научный руководитель – к.ф.-м.н. Дорогов М.В.¹**¹Университет ИТМО²Тольяттинский государственный университет

В докладе представлены требования к анодам литий-ионных аккумуляторов и последние достижения в данной области. Было проведено сравнение наноструктур на основе CuO и TiO_2 , а также композитных материалов на их основе. Также были разработаны наноматериалы на основе оксида меди и диоксида титана.

Ключевые слова: аккумулятор, анод, наноструктуры, оксид меди, диоксид титана, нановискеры, наночастицы.

Аккумуляторы – источники тока, способные накапливать и сохранять энергию. Одним из основных свойств является количество циклов заряд/разряд. Данный параметр обусловлен в большой степени материалами электродов и их структурой. Такие материалы, как CuO и TiO_2 , имеют высокую теоретическую ёмкость (674 мАч/г и 335 мАч/г, соответственно), позволяющую эффективно литировать анод литий-ионного аккумулятора. Также на производительность влияет структура анода, так как, кроме большой ёмкости, необходимо обеспечить стабильность работы. Существуют различные виды наноструктурирования материалов.

Обзор наноструктурированных материалов для анодов. Одномерные поликристаллические нанопровода, состоящие из CuO , показали высокую ёмкость, равную около 650 мАч/г после 100 циклов. Большое количество дефектов в кристаллах обеспечивает высокую степень литирования. Так как каждый отдельный провод соединен с токоъемником, такая структура позволяет достичь эффективного переноса электронов по каждому отдельному элементу [1].

Двумерные нанолиты CuO , осажденные на листах из восстановленного оксида графена, показывают ёмкость 623 мАч/г после 200 циклов. Композитная структура также уменьшает изменение объема материала во время заряда/разряда [2].

Нанолабиринты, состоящие из нанопроводов CuO , осажденных на фольге из Cu , демонстрируют еще большее количество циклов с умеренным уменьшением ёмкости анода (320 мАч/г после 800 циклов) благодаря увеличенной площади поверхности электрода [3].

Трёхмерные структуры из наночастиц CuO , покрытых серебром, имеют ёмкость 421.9 мАч/г после 200 циклов. Это связано с высокой проводимостью серебра, которая увеличивает ёмкость анода с 138 мАч/г после такого же количества циклов [4]. Также в последнее время трёхмерные наноструктуры TiO_2 , состоящие из одномерных нанопроводов, становятся популярными из-за их морфологии [5]. Благодаря их большой удельной поверхности по сравнению с одномерной структурой растёт их износостойкость вдобавок к эффективному переносу электронов нанопроводами.

Методика получения и исследования материалов. Нановискеры оксида меди получались нами методом электроосаждения и последующего термического окисления, нанопорошки оксида титана синтезировались золь-гель методом.

Химический состав исследовали методом энергодисперсионной рентгенофлуоресцентной спектроскопии (Shimadzu EDX-8000). Анализ структуры проводили на рентгеновском дифрактометре Shimadzu XRD 7000. Гранулометрический состав и дисперсность определяли с помощью лазерного анализатора Shimadzu SALD-2300. Морфологию наночастиц изучали на сканирующем электронном микроскопе Tescan MIRA-3.

Электрохимические свойства анода на основе диоксида титана и оксида меди для литиевого аккумулятора оценивались методом заряда/разряда ячейки при постоянном токе.

На медный коллектор с помощью специального лезвия наносилась паста толщиной 25 мкм из активного материала (наночастицы диоксида титана/нановискеры оксида меди, углеродный порошок и связующее в соотношении 8:1:1 по массе) и растворителя, которая затем сушилась в вакуумном шкафу в течение 10 ч. при 120° С. Сборка аккумулятора осуществлялась в сухом боксе с инертной атмосферой.

Электрохимические исследования проводили на потенциостате-гальваностате Р-45Х с модулем измерения импеданса FRA-24М фирмы Electrochemical Instruments. Циклирование аккумулятора в интервале напряжений 1-3 В относительно Li⁺/Li проводилось при постоянном токе заряда/разряда 0.1 С.

Образец порошка диоксида титана, полученный при значении водородного показателя равного 4, по данным электронной микроскопии имел частицы размерами от 10 до 60 нм. Форма частиц близка к сферической, огранка отсутствует. Средний размер частиц, определенный с помощью метода лазерной дифракции, – 39 нм. Результаты рентгеноструктурного анализа показали, что порошок находится в структурной модификации диоксида титана – анатаз. Графические данные показаны на рисунке 1.

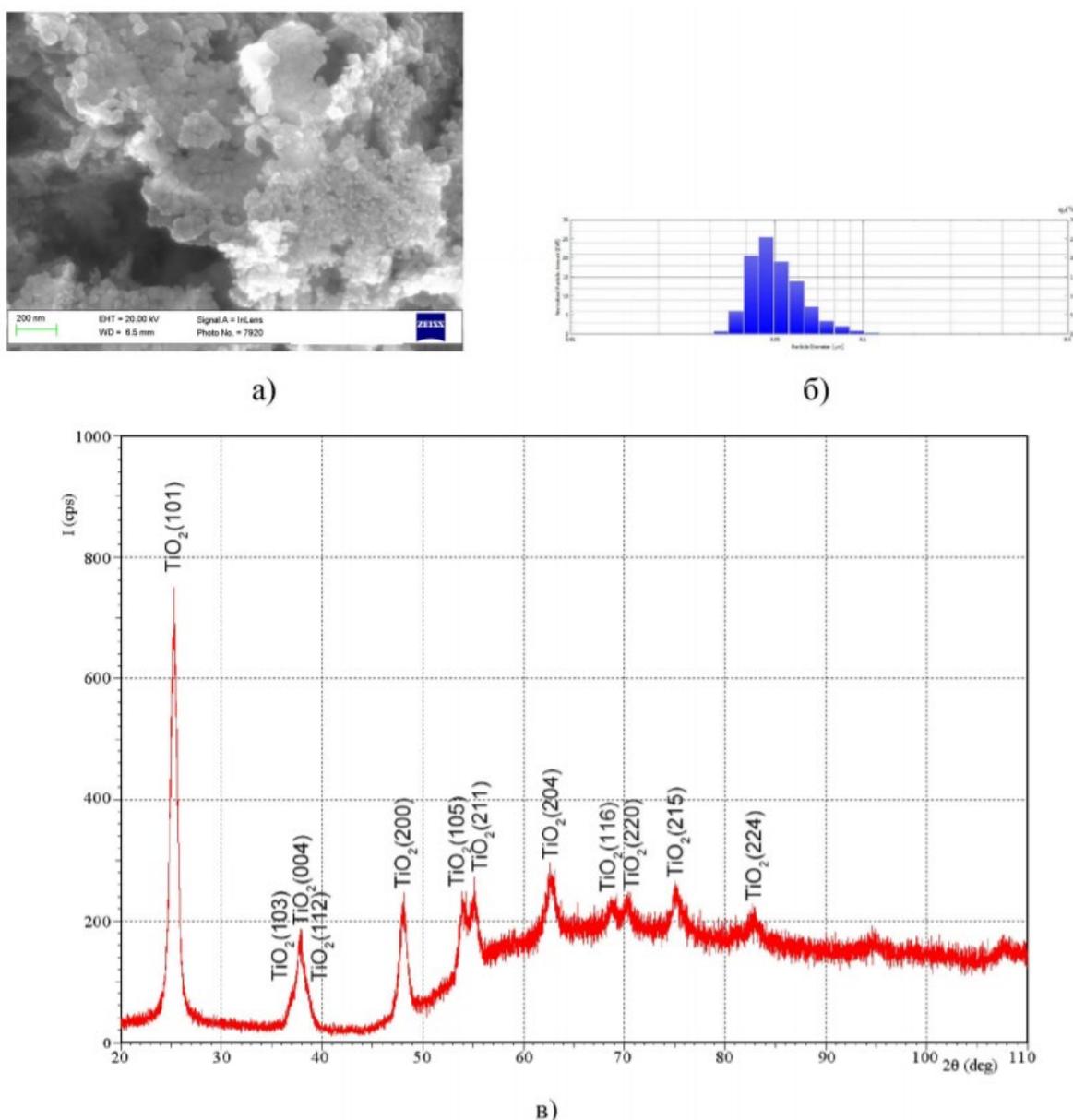


Рис. 1. Образец наночастиц диоксида титана: изображение, полученное с помощью сканирующей электронной микроскопии (а), гранулометрический анализ (б) и рентгеноструктурный анализ (в)

Нановискеры оксида меди представляют собой нитевидные кристаллы диаметром около 100 нм и длиной порядка 5 мкм. Данные электронной микроскопии и рентгеновской дифракции показывают, что они являются поликристаллическими образованиями и имеют структуру CuO (рис. 2).

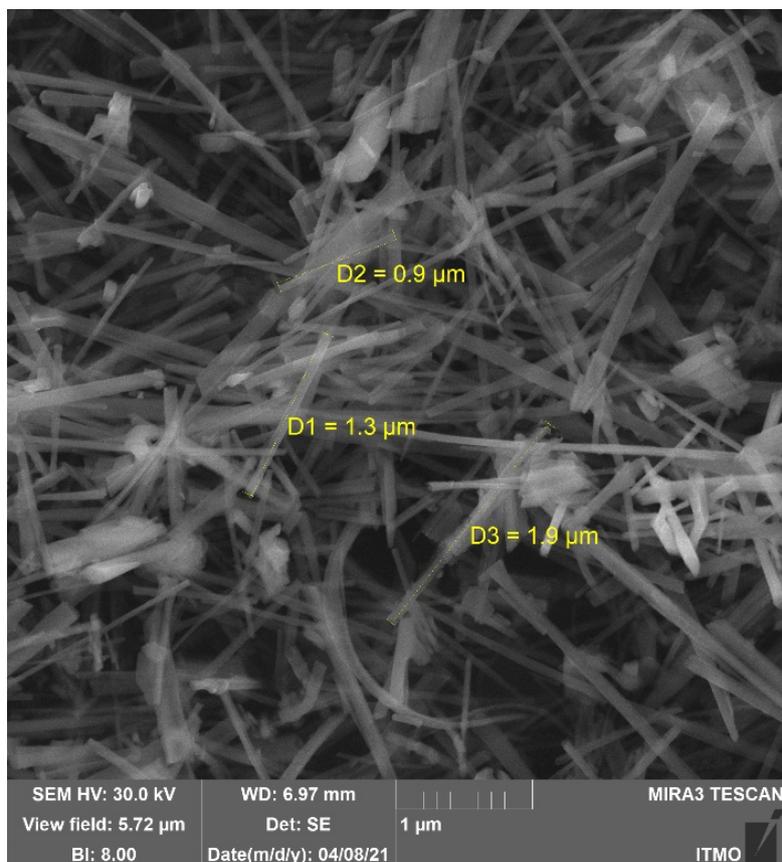


Рис. 2. Изображение нановискеров оксида меди, полученное с помощью сканирующей электронной микроскопии

В работе были исследованы аноды, изготовленные на основе диоксида титана и нановискеров оксида меди с разными связующими. Связующее карбометилцеллюлоза в случае нановискеров оксида меди показало лучшие технические характеристики в процессе циклирования анода: стабильную емкость ~ 200 мАч/г (рис. 3).

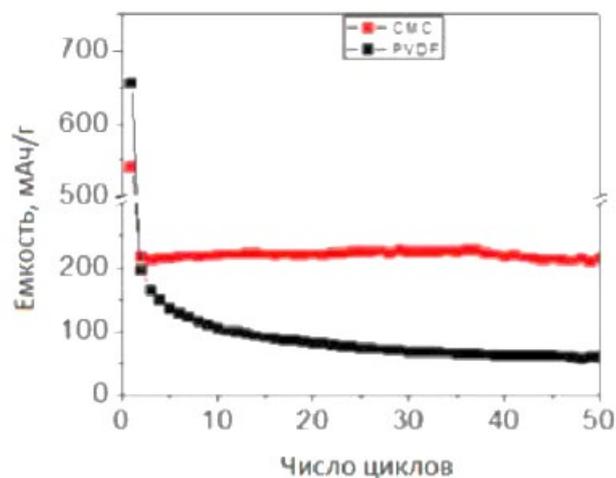


Рис. 3. Циклические характеристики нановискеров оксида меди с разными связующими. Красный цвет – карбометилцеллюлоза, черный - поливинилдифторид

Применение нанопорошка диоксида титана со связующим поливинилдифторид позволяет получать немного более высокую емкость, но только на первых циклах заряд-разряд. При дальнейшем циклировании анодов на основе диоксида титана наблюдается постепенное падение емкости до ~ 80 мАч/г. Для сохранения уровня заряда в процессе циклирования рекомендуется проведение дополнительных исследований по влиянию связующего вещества и получения композитных материалов на основе нитевидных кристаллов диоксида титана.

Анод, несомненно, является важным компонентом с сильным влиянием на характеристики литий-ионных аккумуляторов, таких как ёмкость и срок службы. Наноструктурирование электродов имеет ряд преимуществ по сравнению с поиском новых материалов из-за возможности обработки популярных решений, например, увеличивая площадь поверхности или изменяя морфологию, возможно увеличивать срок службы, емкость и безопасность аккумуляторов.

Литература

1. Chen L.B. и др. Electrochemical performance of polycrystalline CuO nanowires as anode material for Li ion batteries // *Electrochim. Acta*. 2009. Т. 54, № 17. С. 4198–4201.
2. Pu F. и др. CuO ultrathin nanosheets decorated reduced graphene oxide as a high performance anode for lithium-ion batteries // *J. Alloys Compd. Elsevier B.V.*, 2019. Т. 805. С. 355–362.
3. Lin C. и др. Nano-TiNb₂O₇/carbon nanotubes composite anode for enhanced lithium-ion storage // *Electrochim. Acta*. 2018. Т. 260.
4. Zhang Y. и др. CuO@Ag core-shell material preparation and as high-stability anodes for lithium-ion batteries // *Powder Technol. Elsevier B.V.*, 2019. Т. 355. С. 386–392.
5. Liang Y. и др. Controllable nitrogen doping and specific surface from freestanding TiO₂@carbon nanofibers as anodes for lithium ion battery // *Electrochim. Acta*. 2019. Т. 297. С. 1063–1070.

УДК 681.786

ПРИНЦИПЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ КООРДИНАТ ОБЪЕКТА ПО ИЗОБРАЖЕНИЮ С МАТРИЧНОГО ПРИЁМНИКА

Паншин И.В.¹Научный руководитель – к.т.н., Михеев С.В.¹¹Университет ИТМО

Определение пространственных координат объекта методом обратной угловой засечки сопряжено с решением нетривиальной математической задачи, представляющей из себя трёхмерную версию задачи Потенота. На данный момент её решение выполнялось при помощи численных методов. В данной статье рассматривается возможность применения подходов, используемых при решении аналогичной задачи в области компьютерного зрения, получившей название Perspective-3-Point.

Ключевые слова: обратная угловая засечка в пространстве, трёхмерная задача Потенота, Perspective-3-Point, Perspective-N-Point, промышленная геодезия, промышленная фотограмметрия.

С развитием оптико-электронных приборов метод обратной угловой засечки стал одним из эффективных способов контроля пространственного положения элементов промышленных сооружений. Такая область его применения получила название «промышленная геодезия». Однако его реализация сопряжена с решением нетривиальной математической задачи. На данный момент её решения выполнялось посредством численных методов. Такой подход продемонстрировал эффективность на практике, но, в то же время, не дал ответов на ряд важных вопросов: каково число решений данной задачи – всегда ли положение объектов может быть определено однозначно? Каково оптимальное взаимное расположение точки съёмки и контролируемых объектов? Ответы на эти вопросы могут разойтись с интуитивными ожиданиями.

Обратная угловая засечка – это определение взаимного расположения системы из трёх и более точек, координаты которых в этой системе известны, и точки съёмки, из которой измеряются направления на эти точки. Для измерения направлений можно использовать как специализированные углоизмерительные приборы, такие как теодолит или тахеометр, так и видеокамеру с матричным приёмником. Такое применение матричных приёмников стало возможным, начиная с 90-х годов, в связи с развитием вычислительной техники, позволившей обрабатывать изображения с матрицы в реальном времени. Такая область промышленной геодезии, применяющая матричные видео- и фотокамеры, получила в зарубежных источниках название «промышленная фотограмметрия» (англ. “industrial photogrammetry”). Общий принцип работы таких систем представлен на рисунке 1.

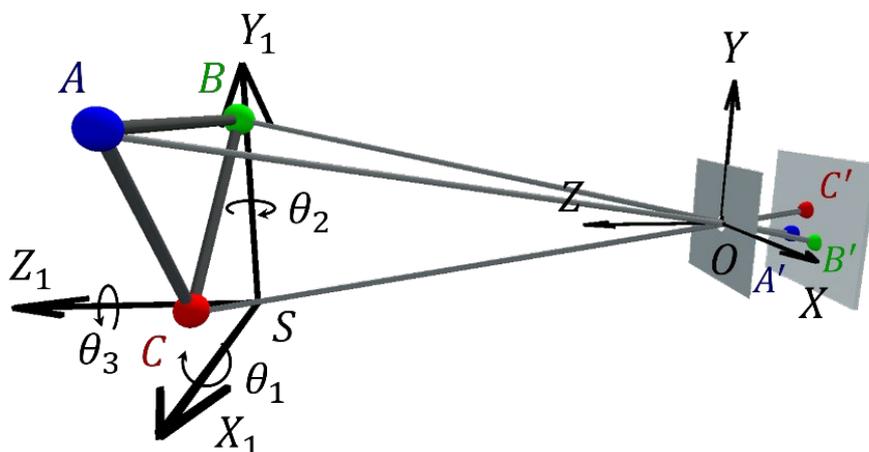


Рис. 1. Иллюстрация принципа работы оптико-электронной системы обратной угловой засечки по трём точкам на основе матричного приёмника

Данную задачу можно сформулировать следующим образом. Пусть даны координаты точек A, B и C в системе координат $X_1Y_1Z_1$. Камера же, выполняющая съёмку, связана с системой координат XYZ . При этом система $X_1Y_1Z_1$ имеет как линейные смещения относительно системы XYZ (начало системы $X_1Y_1Z_1$ находится в точке S), так и угловые (поворот на углы Эйлера $\theta_1, \theta_2, \theta_3$). Объектив, находящийся в точке O и упрощённо представленный камерой-обскурой, строит на матрицы изображения A', B', C' точек A, B, C . В итоге данная задача может быть представлена следующей системой уравнений:

$$\begin{cases} A' = a(M \cdot A + S) \\ B' = a(M \cdot B + S), \\ C' = a(M \cdot C + S) \end{cases}$$

где

A, B, C – вектора-столбцы координат точек A, B, C в системе $X_1Y_1Z_1$;

A', B', C' – координаты изображений точек A, B, C на матричном приёмнике;

S – вектор-столбец линейных смещений XYZ относительно $X_1Y_1Z_1$;

M – матрица поворотов системы $X_1Y_1Z_1$ на углы Эйлера $\theta_1, \theta_2, \theta_3$;

a – матрица преобразования объектива.

Известными в такой задаче являются координаты A, B, C в $X_1Y_1Z_1$, координаты изображений A', B', C' и матрица преобразования объектива a (известно фокусное расстояние объектив).

Существующее решение данной системы базируется на численных методах, при помощи которых итеративно находятся все 3 неизвестных компонента вектора-столбца линейных смещений S и 3 угла поворота $\theta_1, \theta_2, \theta_3$ [1].

Такой подход к решению задачи позволил:

- быстро разработать решение возникшей сложной задачи;
- минимизировать численную погрешность, возникающую на этапе расчётов.

Однако такой подход не позволил оценить число решений системы. Если число этих решений будет более одного, то численный метод может найти другое, «альтернативное» решение системы, и положение контролируемых объектов будет определено неверно.

Для анализа данной задачи разумно перейти от алгебраического представления, рассмотренного выше, к геометрическому, представленному на рисунке 2.

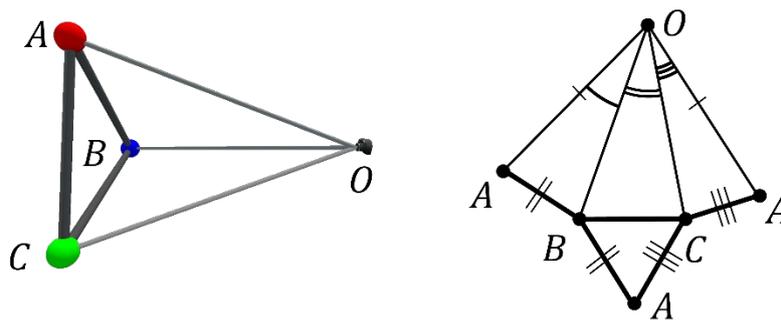


Рис. 2. Пирамида, образованная точками A, B, C и точкой съёмки O (слева) и её развёртка (справа)

Точки A, B, C и точка съёмки O образуют пирамиду. Основание ABC полностью известно. Также, поскольку известны направляющие вектора сторон OA, OB, OC , то известны углы при вершине O : $\angle AOB, \angle BOC$ и $\angle COA$. Таким образом, задача сводится к тому, как решить тетраэдр по известной грани и углам при противоположной ей вершине.

Данная задача представляет из себя пространственную версию задачи Потенота, и считается, что она была впервые решена Иоганном Грунертом в 1841 г. [2]. В области

компьютерного зрения данная задача получила название Perspective-3-Point, или, сокращённо, P3P [3].

Современные исследования данной задачи открыли ряд её неочевидных особенностей.

Первым поставленным в начале данной статьи вопросом было то, всегда ли данная задача имеет одно решение? В большинстве случаев данная задача имеет 2 решения, максимальное число решений – 4 [4]. Это означает, что однозначное определение взаимного положения камеры и контролируемых объектов по 3-м точкам в общем случае невозможно. Эту неоднозначность можно устранить, либо заранее зная примерное взаимное расположение камеры и объектов (и, тем самым, исключая побочные решения), либо добавив дополнительную 4-ю точку.

Второй важный вопрос – каково оптимальное взаимное расположение точки съёмки и контролируемых объектов? Как оно влияет на точность измерений? Первое очевидно замечание – с увеличением базы (сторон треугольника ABC) точность растёт. Однако, подобно «опасному кругу» в двумерной версии задачи Потенота, её трёхмерная версия имеет так называемый «опасный цилиндр» [5]. Этот цилиндр образован окружностью, описанной вокруг треугольника ABC , и перпендикулярен его плоскости. При приближении точки съёмки O к поверхности этого цилиндра стабильность и точность решений значительно падает.

Также следует заметить, что многие современные программные продукты уже включают в себя реализацию решения задачи P3P (либо её обобщения – PNP): так, в пакете MatLab для её решения существует функция *estimateWorldCameraPose*, а библиотека OpenCV предоставляет метод *solveP3P*.

Исследование подходов к решению задач определения пространственных координат объекта показало возможность использования математического аппарата, который применяется в области компьютерного зрения, для решения и анализа задачи, возникающей при разработке измерительных оптико-электронных систем на базе метода обратной угловой засечки. В ходе выполнения исследования был найден ряд неочевидных особенностей данной задачи, которые необходимо учитывать при разработке систем на обратной засечке.

Литература

1. Коняхин И.А., Михеев С.В. Моделирование оптико-электронных систем измерения пространственных координат на основе метода "обратной угловой засечки" // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2005. №18.
2. Grunert J.A. Das Pothenot'sche Problem in erweiterter Gestalt; nebst Bemerkungen uber seine Anwendung in der Geodasie // Grunert Archiv der Mathematik und Physik. 1841. Т. 1. С. 238–248.
3. Schindler K. Mathematical foundations of photogrammetry // Handbook of Geomathematics. – Springer, 2015. С. 3087-3103.
4. Gao X. S. et al. Complete solution classification for the perspective-three-point problem // IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence. 2003. Т. 25. №. 8. С. 930-943.
5. Zhang C., Hu Z. Why is the danger cylinder dangerous in the P3P problem? // Acta Automatica Sinica. 2006. Т. 32. №. 4. С. 504.

УДК 535.332, 535.8

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАБОЧЕЙ ДЛИНЫ ВОЛНЫ ИЗЛУЧАТЕЛЯ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ЛАЗЕРНО-ТРАНСМИССИОННОГО МЕТОДА ОБОГАЩЕНИЯ АЛМАЗНОГО СЫРЬЯ

Пихота Н.С.¹

Научный руководитель – к.т.н., доцент Чертов А.Н.¹

¹Университет ИТМО

В ходе работы были изучены теоретические основы взаимодействия УФ, видимого и ИК диапазонов излучения с беспримесным алмазом. Проанализированы дефекты решетки алмаза, которые избирательно поглощают излучение в видимом и ближнем ИК диапазонах оптического спектра. В результате анализа теоретических основ взаимодействия оптического излучения с кристаллами алмазов в качестве рабочих длин волн излучателя для реализации лазерно-трансмиссионного метода обогащения алмазного сырья были выбраны 0,660 и 0,850 мкм.

Ключевые слова: оптические свойства алмаза, лазерно-трансмиссионная сепарация, 0,660 и 0,850 мкм, дефекты решетки алмаза, обогащение алмазного сырья.

Основными технологическими процессами извлечения алмазов из руды во всем мире являются рентгенолюминесцентный и рентгенографический методы обогащения алмазного сырья. Данные методы обладают высокой селективностью и производительностью, однако имеют существенные недостатки, которые заключаются в высоком энергопотреблении рентгеновской трубки (около 5 кВт), существенном повышении себестоимости аппарата из-за необходимости применения рентгенозащитных экранов и имеющейся опасности работы с рентгеновским излучением для оператора. Также для алмазов класса крупности менее 2 мм применяется сложная технологическая схема, которая состоит из винтового и флотационного этапов обогащения, что существенно повышает экологическую нагрузку из-за необходимости использования больших объемов технической воды.

Одним из перспективных направлений исследований для решения перечисленных недостатков является разработка метода лазерно-трансмиссионного обогащения алмазного сырья. Преимущество использования лазерных источников при обогащении минерального сырья состоит в возможности создания мощного пучка света малого диаметра, что позволит анализировать руду крупностью, соизмеримой с выходным диаметром лазерного пучка, и выделять не только мономинеральные зерна, но и сростки. Также применение лазерного метода обогащения алмазного сырья позволит добиться высокой производительности, благодаря простоте процесса обнаружения алмазов, уменьшить энергопотребление и сократить использование рентгеновских методов обогащения алмазного сырья.

В основе метода лазерно-трансмиссионной сепарации лежит высокая направленность лазерного излучения и различия в спектрах пропускания алмазов и пустой породы. Для определения рабочей длины волны излучателя для реализации лазерно-трансмиссионного метода обогащения алмазного сырья необходимо изучить теоретические основы взаимодействия оптического диапазона электромагнитного спектра с кристаллами алмазов.

Рассмотрим спектр пропускания идеального алмаза, представленный на рисунке [1]. Идеальный алмаз обладает чрезвычайно широким окном оптического пропускания: от фундаментального края поглощения ($\lambda=0,225$ мкм) вплоть до радиоволн, за исключением умеренного поглощения в диапазоне от 2,6 до 6,2 мкм. Это служит основанием многочисленных применений алмаза в разных диапазонах электромагнитных волн.

В УФ области поглощение алмаза обусловлено переходом электронов из валентной зоны в зону проводимости. Алмаз характеризуется сильным краевым поглощением, начинающимся с $\lambda_{кр} \approx 0,225$ мкм при комнатной температуре в 295 К. Структура края поглощения, вызванная участием фононных процессов в зонном переходе, зависит от окружающей температуры. В кристалле алмаза с примесью азота с концентрацией порядка 10^{19} см⁻³ дополнительно к

фундаментальному поглощению появляется пик поглощения в интервале 0,230–0,280 мкм с максимумом на длине волны 0,250 мкм [2].

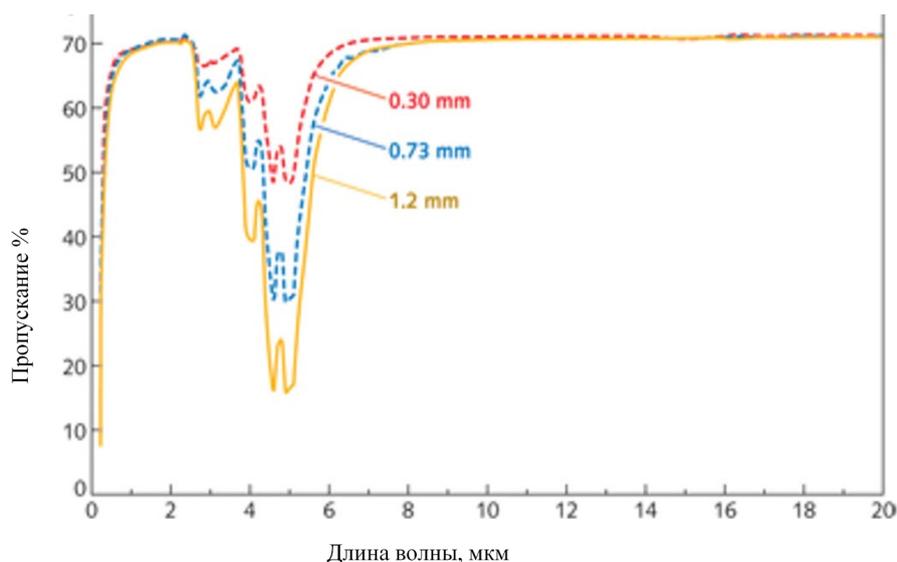


Рисунок. Спектр пропускания беспримесного алмаза

В видимом и ближнем ИК диапазонах спектра совершенный беспримесный алмаз не имеет поглощения. Однако некоторые дефекты решетки избирательно поглощают свет в видимом и ближнем ИК диапазонах электромагнитного спектра. Эти дефекты указаны в таблице 1 и детально описаны в [3].

Таблица 1. Дефекты решетки

Название дефекта	Длина волны поглощения, мкм	Название дефекта	Длина волны поглощения, мкм
N3	0,415	NV0	0,575
GR2	0,429	595	0,5944
N2	0,4772	NV ⁻	0,637
480	0,480	GR1	0,7444
H4	0,4962	H2	0,986
H3	0,5032	H1c	1,934
3H	0,5034	H1b	2,024
550	0,550		

В широком диапазоне ИК-спектра беспримесный алмаз практически прозрачен, так как алмаз – гомополярный кубический кристалл, то есть дипольный момент отсутствует, и, следовательно, его собственное поглощение, обусловленное взаимодействием света с одним из колебаний решетки (фононом), запрещено [2]. Однако примеси и дефекты снимают этот запрет. Также в идеальном алмазе наблюдается поглощение в диапазоне длин волн от 2,6 до 6,2 мкм, которое возникает в результате многофононного поглощения и определяется силами между соседними атомами и симметрией коллективных колебаний решетки [4].

Численные значения показателей преломления и коэффициентов отражения алмаза сведены в таблице 2 [5].

Таблица 2. Значения показателей преломления и коэффициентов отражения алмаза

λ , мкм	n_λ	r_λ	λ , мкм	n_λ	r_λ	λ , мкм	n_λ	r_λ
0,225	2,729	0,2150	0,600	2,415	0,1717	2,000	2,383	0,1671
0,250	2,627	0,2012	0,700	2,405	0,1703	3,000	2,382	0,1670
0,300	2,545	0,1899	0,800	2,400	0,1696	5,000	2,381	0,1669
0,350	2,490	0,1823	0,900	2,396	0,1690	10,000	2,380	0,1668
0,400	2,463	0,1785	1,000	2,394	0,1687	20,000	2,380	0,1668
0,500	2,432	0,1741	1,500	2,386	0,1676			

Как можно видеть из таблицы 2, алмаз обладает высоким показателем преломления, что позволит существенно отклонить луч от источника и избежать ложной регистрации вследствие попадания прямого излучения от источника на приемник. Коэффициенты отражения не имеют существенных различий для разных длин волны оптического диапазона спектра, следовательно, на выбор рабочей длины волны влияния оказывать не будут.

Таким образом, анализ взаимодействия оптического излучения с алмазами показал преимущественно высокую прозрачность алмазов в красном видимом и ближнем ИК диапазонах. Опираясь на теоретические данные и техническое обеспечение, в качестве рабочих длин волн для реализации метода лазерно-трансмиссионного обогащения алмазного сырья были выбраны 0,066 и 0,850 мкм. Также в ходе работы был проведен аналитический обзор оптических свойств сопутствующих минералов и, ввиду отсутствия достаточного количества информации, выявлена необходимость проведения экспериментальных исследований взаимодействия оптического излучения с сопутствующим материалом для оценки различий в спектрах пропускания алмазов и других составляющих кимберлитов.

Литература

1. The properties of Natural and Synthetic Diamond, edited by J. E. Field, Academic Press, London, England (1992).
2. Бокий Г.Б., Безруков Г.Н., Ключев Ю.А., Налетов А.М., Непша В.И. Природные и синтетические алмазы. – М.: Наука, 1986.
3. Collins A.T. (1982) Colour centres in diamond. *Journal of Gemmology*, Vol. 18, No. 1, pp. 37–75.
4. R. P. Mildren, J. R. Rabeau Intrinsic optical properties of diamond / R. P. Mildren, J. R. Rabeau // *Optical Engineering of Diamond*. – 2013. – pp. 1-34.
5. Zaitsev A.M. Optical properties of diamond: data handbook / Zaitsev A.M. – Springer-Verlag Berlin Heidelberg. – 2001. – 486 p.

УДК 681.786

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ОПТИКО- ЭЛЕКТРОННОЙ СИСТЕМЫ ВИДЕОЭНДОСКОПИРОВАНИЯ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ИЗНОСА ЛОПАТОК ПАРОВЫХ ТУРБИН НА ЗАКРЫТОМ ЦИЛИНДРЕ

Родикова Л.С.¹Научный руководитель – д.т.н., профессор Коротаев В.В.¹¹Университет ИТМО

Работа выполнена в рамках темы НИР №620170 «Разработка методов и средств для решения прикладных задач оптоэлектроники и биоинженерии».

В данной работе представлены результаты анализа методов диагностики износа рабочих лопаток паровых турбин. При этом контроль необходимо проводить без вскрытия турбины. Описана методика проведения измерений износа с использованием эндоскопа на закрытом цилиндре при валоповороте. Также были выявлены основные влияющие факторы на погрешность контроля лопаток паровых турбин низкого давления.

Ключевые слова: эрозийный износ, рабочие лопатки, цилиндр низкого давления, контроль износа хорды, видеозонд.

Одним из самых важных элементов паровой турбины являются рабочие лопатки. Они в значительной степени диктуют многие операционные показатели турбины, именно от них зависит конфигурация турбины, включая количество цилиндров низкого давления. Наиболее уязвимыми в лопаточном аппарате являются лопатки последних ступеней, так как они чаще всего поддаются серьёзным разрушениям из-за каплеударных нагрузок и эрозийных процессов. Такие повреждения очень важно диагностировать вовремя и, в случае достижения критического значения износа, вовремя заменить. При повреждении лопаточного аппарата не только ухудшается экономичность и ограничивается срок службы турбины в целом, но и возможны серьёзные повреждения турбины [1].

Целью диагностики ранних стадий разрушения рабочих лопаток является обеспечение безаварийной работы турбин. Определяемыми параметрами при диагностике являются габаритные размеры лопаток. Так, исследуя хорду лопатки на рисунке 1, мы можем судить о состоянии профилей входных и выходных кромок лопаток на рисунке 1 и о наличии на них трещин.

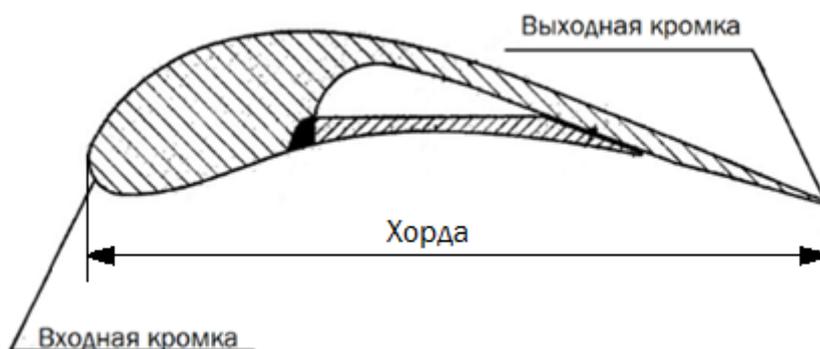


Рис. 1. Хорда, входная и выходная кромки лопатки

Основными методами контроля износа лопаток являются [2, 3]:

- эндоскопический контроль;
- дискретно-фазовый метод контроля;
- метод радиоактивного контроля;

- контроль геометрических параметров измерительным инструментом;
- метод слепков и оттисков;
- вихретоковый контроль;
- цветная дефектоскопия;
- магнитопорошковая дефектоскопия;
- ультразвуковой контроль.

Последние четыре метода дефектоскопии целесообразно применять только при стадиях износа, когда уже появляются трещины или возникают сквозные промывы. Поэтому в рамках решения поставленной задачи они не применимы.

Методы слепков и оттисков, дискретно-фазовый, радиоактивный и контроль геометрических параметров с использованием специального измерительного инструмента применяются только на открытом цилиндре низкого давления при вскрытии турбины. В данном случае применение подобных методов возможно лишь в период ремонтных кампаний при полном останове турбины. Слишком частое проведение подобных мероприятий по осмотру турбины довольно затратно, однако если проводить осмотры со слишком большим интервалом, то могут образоваться уже поздние стадии износа лопаток, сопровождающиеся появлением трещин, сколов и других опасных дефектов. В нашем случае стоит задача именно ранней диагностики стерпеть износа входных и выходных кромок лопаток.

Методами, позволяющими проводить измерение износа именно на закрытом цилиндре, являются дискретно-фазовый и эндоскопический контроль. Суть дискретно-фазового метода заключается в анализе вибрационного состояния лопаток по показаниям неподвижных датчиков, установленных напротив торцов вращающихся лопаток. Однако следует иметь в виду, что с помощью дискретно-фазового метода могут быть измерены только амплитуды или скорости колебаний сечений лопаток, а также обнаружены взаимные смещения лопаток, но нет возможности определять динамические напряжений внутри лопаток.

Наиболее перспективными являются оптико-электронные системы периодического контроля рабочих лопаток с применением специально разработанных эндоскопов. Они часто применяются для контроля состояния газотурбинных двигателей благодаря возможности дистанционного визуального и автоматизированного контроля.

Таким образом, наиболее подходящим методом в рамках поставленной задачи является метод с применением специально разработанной эндоскопической системы.

Предполагается проводить осмотр лопаточного аппарата турбины в режиме валоповорота при вводе зонда видеозонда внутрь турбины. При этом ротор вращается с постоянной скоростью с частотой примерно один оборот в минуту. Камера видеозонда захватывает кадр каждой лопатки, изображение передается в блок обработки информации. В блоке обработки информации вычисляется величина хорды рабочей лопатки как расстояние между входной и выходной кромками в рассматриваемом сечении. Полученное значение сравнивается с базовым значением, которое хранится в компьютере. И далее по результатам сравнения делается вывод о степени износа и необходимости замены лопатки.

Сложность решения поставленной задачи заключается в сложной форме исследуемого объекта, а также в условиях контроля при ограничении межлопаточного пространства. Это накладывает определённые требования на выбираемую видеокамеру, характеризующиеся большой глубиной изображаемого пространства при довольно малой дистанции до объекта контроля. Ограничение расстояние от видеозонда до оси рабочей лопатки обусловлено технологическими возможностями прокладки каналов для осмотра и задаются проектировщиками турбин. С учетом габаритов лопаток и малого расстояния до них видеокамеру необходимо подбирать такую, чтобы она могла обеспечивать требуемое большое угловое поле оптической системы.

Следует также учитывать, что при обследовании лопаточного аппарата видеозонд перемещается от края к основанию лопатки. При перемещении их меняется не только размер хорды, но и угол скручивания лопатки. Из-за этого необходимо учитывать особое расположение видеозонда относительно контролируемого участка поверхности лопатки.

Еще одним важным аспектом при решении данной задачи является то, что лучи, идущие от источника к выходной кромке, могут срезаться входной кромкой ближайшей рабочей лопатки. Это происходит из-за ограничения поля доступа к лопатки перекрывающимися входной и выходной кромками.

Все эти особенности неизменно будут влиять на точность определения величины хорды лопатки. Однако таких параметров может быть несколько. Для того чтобы оценить суммарную погрешность контроля рабочих лопаток системой эндоскопирования, необходимо провести оценку основных источников первичных погрешностей при бесконтактных измерениях геометрических параметров объекта. Для этого необходимо определить возможные факторы влияния на суммарную величину итоговой погрешности [4].

Несложно догадаться, что погрешность определения ширины хорды рабочих лопаток зависит от большого числа влияющих факторов. Целью данного анализа является нахождение этих факторов [5].

Вся совокупность составляющих погрешностей определения величины хорды в зависимости от условий эксплуатации можно разделить на две группы, основные и дополнительные на рисунке 2. Дополнительные погрешности возникают при несоответствии условий эксплуатации системы нормальным условиям. Основные же погрешности можно в свою очередь классифицировать в соответствии с причинами их возникновения на две группы: методические (погрешности вычислений) и инструментальные.

К методическим погрешностям можно отнести:

- допуски и упрощения процедур алгоритмов вычислений.

К инструментальным влияющим факторам следует отнести:

- погрешность фокусного расстояния объектива;
- погрешность расстояния до оси рабочей лопатки до видеозонда;
- шумовая погрешность матричного приёмника оптического излучения.

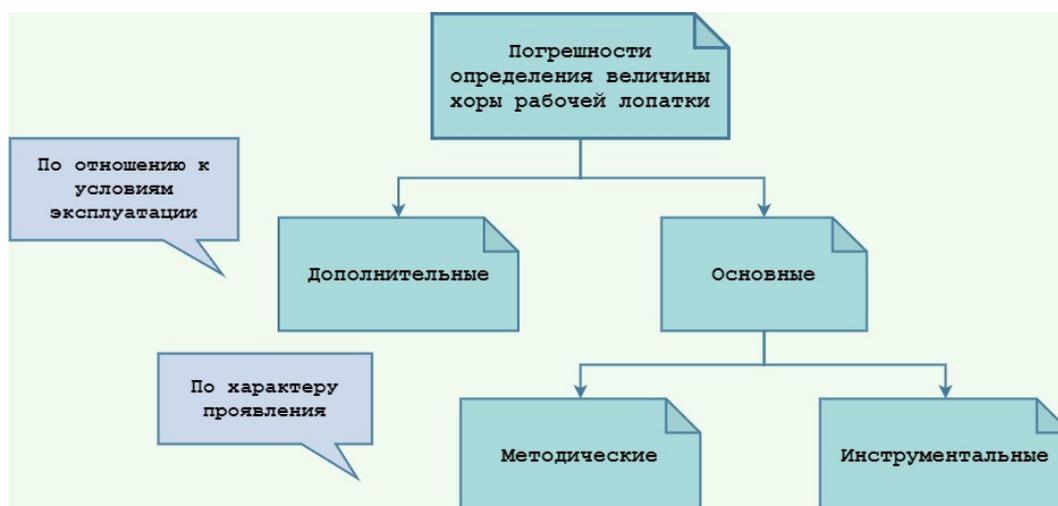


Рис. 2. Погрешности определения ширины хорды

К дополнительным погрешностям оптики-электронной системы можно отнести:

- погрешность, обусловленную температурной деформацией корпуса;
- погрешность, вызванную нестабильностью работы валоповоротного устройства.

Измерения происходят при движении лопатки, то есть в режиме валоповорота, поэтому при измерениях присутствует динамическая погрешность, проявляющаяся в виде скоростного смаза изображения.

Все перечисленные погрешности имеют разный характер проявления, который может быть как случайный, так и систематический. Это следует учитывать при анализе возможной компенсации погрешностей, так как существенная особенность систематических погрешностей в том, что их влияние можно в большей степени уменьшить на этапе калибровки системы или при обработке результатов измерений.

К систематическим составляющим погрешности относятся:

- погрешность, вызванная изменениями углов наклона хорды рабочей лопатки;
- погрешность, вызванная неточностью задания расстояния до рабочей лопатки;
- погрешность фокусного расстояния оптической системы.

Так как измерения происходят при вращении ротора цилиндра низкого давления, то при определении границ кромок лопатки на изображении возникает погрешность скоростного смаза. Данная погрешность носит систематический характер.

К случайным относятся такие составляющие суммарной погрешности системы, как погрешности, вызванные изменениями температуры окружающей среды, погрешность, обусловленная нестабильностью вращения ротора турбины, погрешность, вызванная неопределенностью радиуса сечения лопатки, шумовая погрешность матричного приёмника и погрешность, вызванная нестабильностью времени экспозиции видеозонда.

Погрешность оптико-электронной системы в целом определяется совокупностью всех составляющих.

В ходе работы были проанализированы требуемые параметры оптико-электронных компонентов и необходимые соотношения конструкции головки видеозонда эндоскопической системы. Соблюдение этих параметров позволяет обеспечить наблюдение входной и выходной кромок лопатки, без виньетирования в условиях ограниченного межлопаточного пространства. Учтены необходимая глубина изображаемого объекта и особое расположение зонда эндоскопа внутри турбины относительно контролируемого участка поверхности рабочей лопатки. Проанализированы основные составляющие погрешности контроля и влияющие факторы.

Литература

1. Хаимов В.А. Малорасходные режимы ЦНД турбины Т-250/300-240/– СПб: БХВ-Петербург. 2007. 240 с.
2. Явельский М. Б., Котенев А. А. Контроль за процессами износа лопаток турбин с помощью оттисков. - Электрические станции, 1969, №7, с. 82-83
3. ОАО «НТЦ «Промышленная безопасность» Инструкция по продлению срока эксплуатации паровых турбин сверх паркового ресурса, СО 153-34.17.440-2003, выпуск 40, Москва, 2008 г, 158 с.
4. Сарвин А.А. Системы бесконтактных измерений геометрических параметров. - Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1983. 144 с.
5. Латыев С. М. Конструирование точных (оптических) приборов. СПб: Лань, 2015. 560 с.

УДК 538.911

РАДИАЛЬНЫЕ КУЛОНОВСКИЕ КРИСТАЛЛЫ В ЛИНЕЙНЫХ РАДИОЧАСТОТНЫХ ЛОВУШКАХ

Романова А.В.¹, Рудый С.С.¹Научный руководитель – д.ф.-м.н., профессор Рождественский Ю.В.¹¹Университет ИТМО

Работа выполнена в рамках темы НИР № 620167 «Разработка методов, устройств и материалов оптической и квантовой информатики».

В настоящей работе представлено теоретическое описание кулоновских кристаллов, основанное на анализе геометрических параметров таких структур. Представлено математическое моделирование кулоновских кристаллов из ионов Ca^+ , формирующихся в линейной квадрупольной ловушке с запирающими электродами. Показано существование одномерных радиальных ионных кристаллов.

Ключевые слова: ионные ловушки, линейные радиочастотные ловушки, фазовые переходы, упорядоченные структуры, ионные кулоновские кристаллы, математическое моделирование, Wolfram Mathematica.

Ионные кулоновские кристаллы – упорядоченные структуры, формирующиеся в ионных ловушках в результате суперпозиции силы со стороны удерживающего потенциала и сил кулоновского взаимодействия между локализованными ионами [1]. Такие структуры интересны тем, что с их помощью можно моделировать различные системы, недоступные для прямого наблюдения, как, например, поверхность нейтронных звезд. В настоящий момент наиболее часто рассматривают цепочки ионов (1D) и зигзагообразные (2D) структуры, а более сложные случаи, такие как переходы к трехмерным и между трехмерными структурами, изучены мало. Более того, практически не исследованы радиальные кулоновские кристаллы, формирующиеся в сильно деформированном эффективном потенциале одиночной частицы.

Можно наблюдать фазовые переходы между различными кулоновскими структурами, то есть переходы между устойчивыми конфигурациями с различной симметрией. Несмотря на десятилетия исследований в области кулоновских кристаллов, остается множество открытых вопросов. Так, например, неизвестно, существуют ли новые, неизвестные устойчивые конфигурации. Цель данной работы – показать существование ранее не известных радиальных кулоновских кристаллов. Для достижения этой цели в данной работе представлено теоретическое описание и математическое моделирование радиальных 2D и 1D структур, формирующихся из ионов Ca^+ .

Кулоновские кристаллы, формирующиеся в линейных ионных ловушках, можно описать с помощью геометрических параметров, таких как поперечный размер и относительные полярные и радиальные углы.

Поперечный размер кулоновского кристалла есть максимальное отклонение частиц от оси симметрии ловушки z :

$$\rho = \max_{i \in 1, N} \sqrt{x_i^2 + y_i^2} = \max \rho_i,$$

где ρ_i – отклонение i -ой частицы.

Относительный полярный угол определяется разностью полярных углов ϕ между двумя частицами с координатами z_i и z_{i+1}

$$\Delta\phi_i = \phi_{i+1} - \phi_i. \quad (1)$$

Аналогично, относительный азимутальный угол определяется в виде:

$$\Delta\theta = \theta_{i+1} - \theta_i. \quad (2)$$

Система из N локализованных частиц будет характеризоваться $N - 1$ -мерными векторами $\overline{\Delta\phi}$ и $\overline{\Delta\theta}$, где каждая компонента вектора имеет вид (2) и (3), соответственно:

$$\begin{aligned} \overline{\Delta\phi} &= (\Delta\phi_1, \Delta\phi_2, \dots, \Delta\phi_{N-1}) = \left(\arctan \frac{y_1}{x_1} - \arctan \frac{y_2}{x_2}, \dots, \arctan \frac{y_{N-1}}{x_{N-1}} - \arctan \frac{y_N}{x_N} \right), \\ \overline{\Delta\theta} &= (\Delta\theta_1, \Delta\theta_2, \dots, \Delta\theta_i, \dots, \Delta\theta_{N-1}) = \left(\dots, \arctan \frac{\sqrt{x_{N-1}^2 + y_{N-1}^2}}{z_{N-1}} - \arctan \frac{\sqrt{x_N^2 + y_N^2}}{z_N} \right). \end{aligned}$$

Скалярной величиной, описывающей вектор, является норма этого вектора. Следовательно, введем $||\Delta\phi||$ и $||\Delta\theta||$ в виде

$$||\Delta\phi|| = \sqrt{\sum_{i=1}^{N-1} (\Delta\phi_i)^2}, \quad ||\Delta\theta|| = \sqrt{\sum_{i=1}^{N-1} (\Delta\theta_i)^2}.$$

Каждой из устойчивых конфигураций будут соответствовать свои значения ρ , $||\Delta\phi||$ и $||\Delta\theta||$. Так, например, в случае линейного 1D кристалла положения равновесия частиц лежат на оси z . Отклонение частиц от оси z ограничено тепловыми колебаниями. Следовательно, в случае линейного кристалла $\rho \rightarrow 0$, а $||\Delta\phi||$ не определена вследствие $(x_i, y_i) = (0, 0)$. В случае зигзага (2D кристалл) положения равновесия частиц лежат в плоскости xz . Тогда для 2D кристалла $\rho \gg 0$, а относительные полярные углы $\phi_i = \pm\pi$, и, следовательно, норма $||\Delta\phi||/\pi = \sqrt{N-1}$, где N – количество частиц, образующих кулоновский кристалл. В случае 3D кристаллов положения равновесия частиц лежат в пространстве xuz . Следовательно, $\rho \gg 0$, а $||\Delta\phi|| \in (0; 2\pi]$.

Переходы между устойчивыми конфигурациями можно наблюдать при изменении энергии системы. Так, например, на практике фазовые переходы возникают либо при изменении параметров удерживающего потенциала (амплитуда и частота), либо при добавлении в систему новых ионов [2]. Кроме того, фазовые переходы могут наблюдаться при деформации эффективного потенциала одиночной частицы. Такая деформация обусловлена добавлением запирающих электродов и высоким значении подаваемого на них постоянного напряжения V_{end} [3].

Как упоминалось ранее, фазовые переходы – это переходы между устойчивыми структурами с различной симметрией. Так как каждой из конфигураций соответствуют свои значения ρ , $||\Delta\phi||$ и $||\Delta\theta||$, то фазовые переходы также будут сопровождаться изменением геометрических параметров ρ , $||\Delta\phi||$ и $||\Delta\theta||$. Таким образом, анализируя изменение геометрических параметров при изменении энергии системы (добавлении ионов, изменении параметров удерживающего потенциала), можно определить точки фазовых переходов и показать существование различных устойчивых конфигураций.

Для проверки данной теории рассмотрим локализацию частиц в линейной квадрупольной ловушки с четырьмя силовыми и двумя запирающими электродами (рис. 1).

Запирающие электроды находятся на расстоянии $\pm L$ от центра ловушки, где $2L$ – рабочая длина ловушки. Ось симметрии ловушки z проходит через центры запирающих электродов. На пару диагонально расположенных линейных электродов подается переменное напряжение с амплитудой V и частотой Ω , при этом другая пара линейных электродов заземлена. На запирающие электроды подается постоянное напряжение U . Линейные электроды

обеспечивают локализацию в плоскости (x, y) . Запирающие электроды ограничивают движение ионов по оси z .

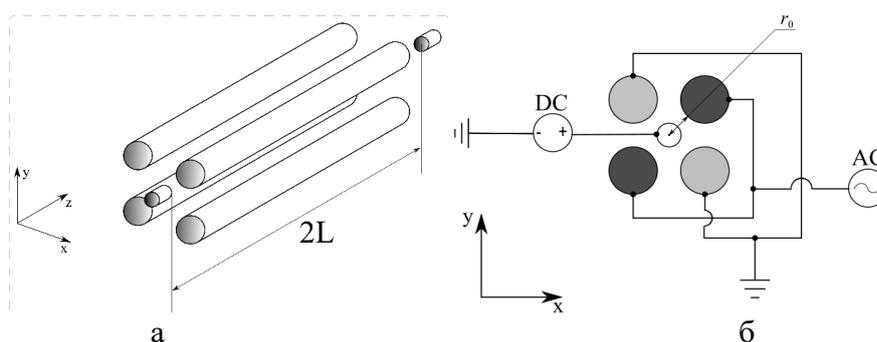


Рис. 1. а) схематическое изображение квадрупольной линейной ловушки с четырьмя линейными и двумя запирающими электродами, $2L$ – длина ловушки; б) схема электрического подключения ловушки. AC – переменный ток, DC – постоянный ток, r_0 – радиус ловушки, V, Ω – амплитуда и частота переменного напряжения

Рассмотрим систему из 7 ионов Ca^+ в случае, когда на силовые электроды подается только переменное напряжение вида $V \cos(\Omega t)$. Будем анализировать фазовые переходы в кулоновской структуре при изменении значения постоянного напряжения на запирающих электродах V_{end} , при этом все остальные параметры (количество ионов, частота и амплитуда переменного напряжения, геометрия ловушки) остаются неизменными. Математическое моделирование проводилось при следующих параметрах: длина ловушки $2L = 60$ мм, радиус запирающих электродов $r_{end} = 4,8$ мм, радиус ловушки $r_0 = 5$ мм, амплитуда и частота переменного напряжения $V = 100$ В и $\Omega = 10$ МГц, соответственно.

На Рисунке 2 представлены графики функций поперечного размера (зеленая линия), относительного полярного угла (синяя линия) и относительного азимутального угла (оранжевая линия) в зависимости от напряжения на запирающих электродах V_{end} , которое изменяется в диапазоне от 0 до 1400 В. Вертикальными пунктирными линиями обозначены точки фазовых переходов. В верхней части рисунка представлен вид структур, формирующихся в данной области параметров.

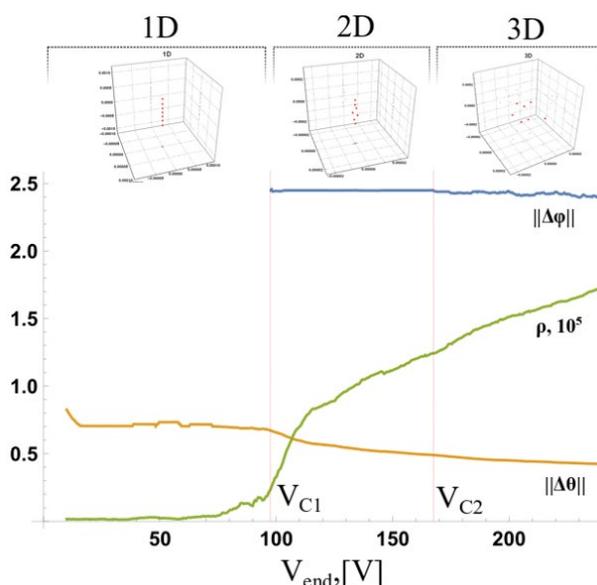


Рис. 2. Функции поперечного размера (зеленая линия), нормы относительного полярного (синяя линия) и азимутального (оранжевая линия) углов в зависимости от напряжения на запирающих электродах $V_{end} \in [0 \text{ В}, 300 \text{ В}]$. Сверху представлены структуры, формирующиеся в данном диапазоне параметров

Точками фазовых переходов будут являться те точки, в которых характер роста функций геометрических параметров резко изменяется. Так, область значений напряжения на запирающих электродах до 100В соответствует линейной структуре, так как все ионы лежат на оси z , значение $\rho \rightarrow 0$, а $\|\Delta\phi\|$ не определена. Фазовому переходу от линейной структуры (1D) к зигзагу (2D) соответствует значение постоянного напряжения 100 В (точка V_{C1}). В точке V_{C1} функция поперечного размера начинает резко расти, а норма относительного полярного угла принимает постоянное значение, равное $\sqrt{N-1} \cong 2,449$. Фазовому переходу от двумерной к трехмерной структуре соответствует точка V_{C2} , в которой относительные полярные углы принимают значения от $(0; 2\pi]$, и значение нормы уже не является постоянным. Так, анализируя изменение функций, можно выделить еще три фазовых перехода – в точках V_{C3} , V_{C4} и V_{C5} (рис. 3). Интересно, что в промежутке $[V_{C4}, V_{C5}]$ формирование той или иной структуры зависит только от начальных условий.

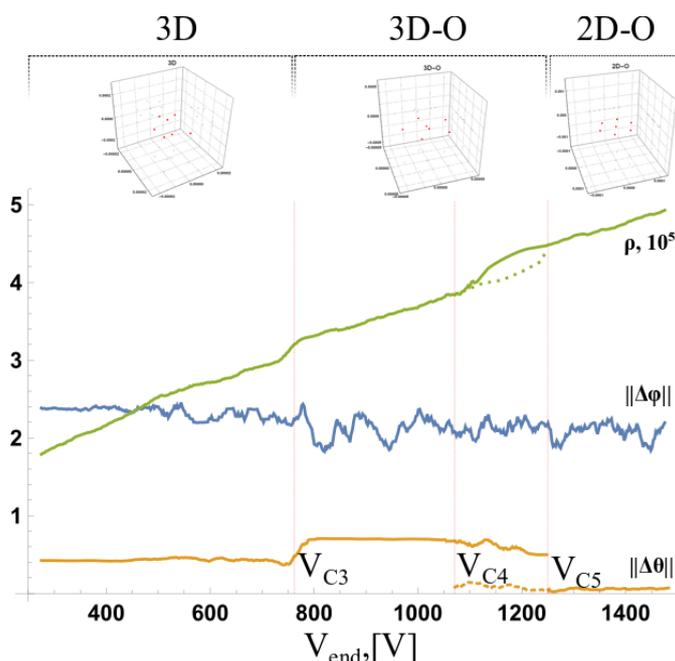


Рис. 3. Функции поперечного размера (зеленая линия), нормы относительного полярного (синяя линия) и азимутального (оранжевая линия) углов в зависимости от напряжения на запирающих электродах $V_{end} \in [300 \text{ В}, 1500 \text{ В}]$. Сверху представлены структуры, формирующиеся в данном диапазоне параметров

Ожидается, что после перехода к трехмерным структурам будут наблюдаться фазовые переходы только между различными трехмерными конфигурациями. Однако из данного моделирования видно, что в точке V_{C5} наблюдается формирование не трехмерной, а двумерной структуры 2D-O (рис. 3). Таким образом, при значительных напряжениях на запирающих электродах возникают радиальные кулоновские кристаллы. Существование таких структур обусловлено сильной деформацией эффективного потенциала одиночной частицы [3].

Еще более интересный случай возникает, если на силовые электроды подается комбинация переменного и постоянного напряжения вида $U_0 + V \cos(\Omega t)$, где U_0 – значение постоянного напряжения, подаваемого на силовые электроды. В этом случае можно наблюдать формирование различных радиальных двумерных и одномерных структур, которые представлены на рисунке 4.

Здесь двумерные кристаллы формируются при 2D-O “B” кристалл при $V_{end} = 1300 \text{ В}$, $U_0 = 1.35 \text{ В}$, 2D-O “C” кристалл при $V_{end} = 800 \text{ В}$, $U_0 = 2.1 \text{ В}$, 1D-O кристалл $V_{end} = 1200 \text{ В}$, $U_0 = 2 \text{ В}$. Такие кристаллы подобны «классическим» 1D кулоновским кристаллам, однако они ориентированы перпендикулярно оси симметрии ловушки. Ранее такие 1D кристаллы не наблюдались ни теоретически, ни экспериментально.

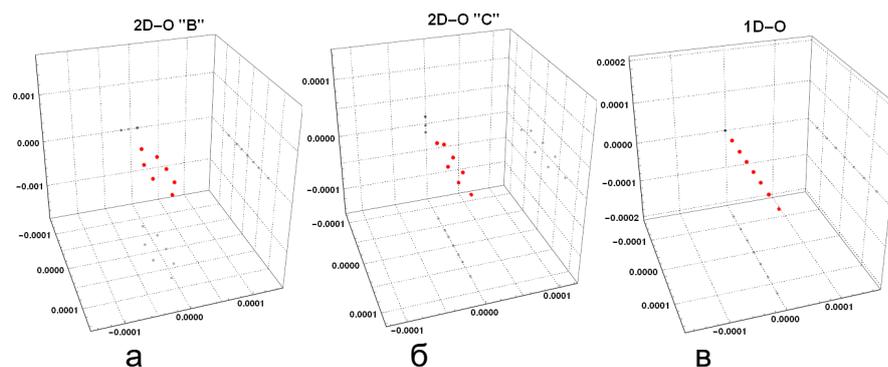


Рис. 4. Радиальные 2D и 1D кулоновские кристаллы, формирующиеся при подаче напряжения вида $U_0 + V\cos(\Omega t)$ на силовые электроды а) 2D при $U_0 = 1.35\text{В}$, $V_{\text{end}} = 1300\text{В}$; б) 2D при $U_0 = 2.1\text{В}$, $V_{\text{end}} = 800\text{В}$; в) 1D при $U_0 = 2\text{В}$, $V_{\text{end}} = 1200\text{В}$

Из результатов данного моделирования видно, что в сильно деформированном эффективном потенциале одиночной частицы даже при малых значениях постоянного напряжения на силовых электродах форма кулоновского кристалла может существенно изменяться. При этом в зависимости от напряжения на запирающих электродах V_{end} и компоненты постоянного напряжения U_0 могут формироваться как двумерные, так и одномерные радиальные кулоновские кристаллы.

Таким образом, в ходе данной работы показаны фазовые переходы в системе из 7 ионов Ca^+ при увеличении напряжения на запирающих электродах V_{end} . Формирующиеся кулоновские кристаллы и фазовые переходы между возможными конфигурациями были описаны с помощью геометрических параметров кулоновского кристалла ρ , $|\Delta\phi|$ и $|\Delta\theta|$. Рассмотрен случай, при котором на силовые электроды подается напряжение вида $V\cos(\Omega t)$, $V = 100\text{В}$. При значительном напряжении на запирающих электродах V_{end} наблюдается формирование радиальных 2D кристаллов. Затем рассмотрен случай, при котором на силовые электроды подается напряжение вида $U_0 + V\cos(\Omega t)$. Показано, что в этом случае наблюдается формирование радиальных 2D кристаллов и ранее неизвестных 1D кристаллов.

Радиальные 2D и 1D кристаллы в линейных ловушках Пауля перспективны для реализации квантовых вычислений. 2D кристаллы особенно интересны для применения в области квантового моделирования, так как позволяют реализовать эффективное взаимодействие между кубитами [4, 5]. Способность точно управлять структурой кулоновских кристаллов открывает путь к решению открытых вопросов в теории многих тел и экспериментальной реализации масштабируемых квантовых систем.

В дальнейшем планируется экспериментальная реализация радиальных кулоновских кристаллов в линейной квадрупольной ловушке при подаче на линейные электроды комбинации переменного и постоянного напряжений.

Литература

1. Yan L. L. et al. Exploring structural phase transitions of ion crystals //Scientific reports. 2016. Т. 6. №. 1. С. 1-9.
2. Thompson R. C. Ion coulomb crystals //Contemporary Physics. 2015. Т. 56. №. 1. С. 63-79.
3. Rudyi S. S. et al. Outside localization around a toroidal electrode of a Paul trap //Journal of Physics Communications. 2020. Т. 4. №. 1. С. 015022.
4. D'Onofrio M. et al. Radial two-dimensional ion crystals in a linear Paul trap //arXiv preprint arXiv:2012.12766. 2020.
5. Wang S. T., Shen C., Duan L. M. Quantum computation under micromotion in a planar ion crystal //Scientific reports. 2015. Т. 5. №. 1. С. 1-5.

УДК 533.951, 52-17

**ОБРАБОТКА ВОЛНОВОГО СОБЫТИЯ 11 НОЯБРЯ 2013 ГОДА
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ МИССИИ
VAN ALLEN PROBE**

Смотровая Е.Е.^{1,2}

Научные руководители – к.т.н. Ежова В.В.¹; к.ф.-м.н. Михайлова О.С.²

¹ Университет ИТМО

² Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск, Россия

Данная работа посвящена изучению основных аспектов обработки спутниковых данных волновых событий, происходящих в магнитосфере Земли. В процессе работы был написан набор программ для обработки спутниковых данных миссии Van Allen Probe. При отработке данных программ было рассмотрено событие 11 ноября 2013 года и дана его начальная интерпретация.

Ключевые слова: УНЧ-волны, взаимодействие волна-частица, магнитосфера, обработка данных.

Диагностика магнитосферы Земли, включающая в себя анализ и интерпретацию волновых событий, является одной из актуальных задач в настоящее время. Подобные исследования имеют большую ценность. С одной стороны, они могут помочь найти ответы на фундаментальные вопросы о взаимодействии плазмы с электромагнитными полями в околоземном космическом пространстве. С другой стороны, практическим применением таких исследований могут стать предсказания космической погоды. Подобные прогнозы существуют, однако при увеличении периода прогнозирования их точность заметно снижается. Более точные и достоверные прогнозы позволят предотвратить возможные сбои наземной и космической аппаратуры, а также обеспечить более безопасные для человека космические перелеты.

Одним из методов диагностики магнитосферы является анализ и интерпретация волновых событий, которые связаны с геомагнитными пульсациями – колебаниями геомагнитного поля, а также их взаимодействием с потоками энергичных частиц. Большая часть геомагнитных пульсаций включает в себя ультранизкочастотные волны (УНЧ-волны) с периодом колебания от 1 мГц до 5 Гц. Существует большое количество спутников для обработки подобных событий. Нами были выбраны данные двух космических аппаратов миссии Van Allen Probe, целью которых является изучение процессов, происходящих в радиационных поясах Земли.

В данном тексте рассмотрим базовые принципы обработки данных волновых событий на примере анализа волнового события 11 ноября 2013 года. Основными данными, необходимыми для обработки, являются данные электрического и магнитного полей, а также данные о потоках энергичных частиц, таких как электроны и протоны. Для этого нами были использованы инструменты EFW, EMFISIS и ECT MAEGIS, расположенные на аппаратах Van Allen Probe [1, 2, 3].

Стоит отметить, что исходные данные, такие как магнитное поле и потоки энергичных частиц, могут содержать в себе информацию как о возмущённой, так и невозмущённой составляющей магнитного поля Земли, поэтому при обработке эти данные необходимо разделить. Для этой цели используются цифровые фильтры. Для выделения невозмущённой (фоновой) компоненты используется фильтр низких частот, для возмущённой компоненты применяют полосовой фильтр с заданным диапазоном частот (периодов).

При обработке данных магнитного поля полосовым фильтром становится возможным определить наличие или отсутствие возмущений поля в заданном интервале частот. Фоновая компонента магнитного поля служит для следующих целей:

1. Сведение физических величин к единой системе координат для удобства интерпретации и последующей обработки. В силу того, что исходные данные могут быть представлены в разных системах координат, нами было принято все величины сводить к ортогональной системе координат, ориентированной вдоль силовых линий магнитного поля.

2. Использование данных для расчета основных характеристик среды.

Анализ магнитного и электрического поля 11 ноября 2013 года показал наличие пульсаций в диапазоне частот Pc5 (от 1 до 7 мГц), что показано на рисунке 1. При этом возмущение всех трех компонент магнитного поля наблюдалось в момент времени с 8 до 9:30 часов по UT, а для азимутальной и радиальной компонент магнитного поля также различимы пульсации с 7 до 7:30 часов по UT.

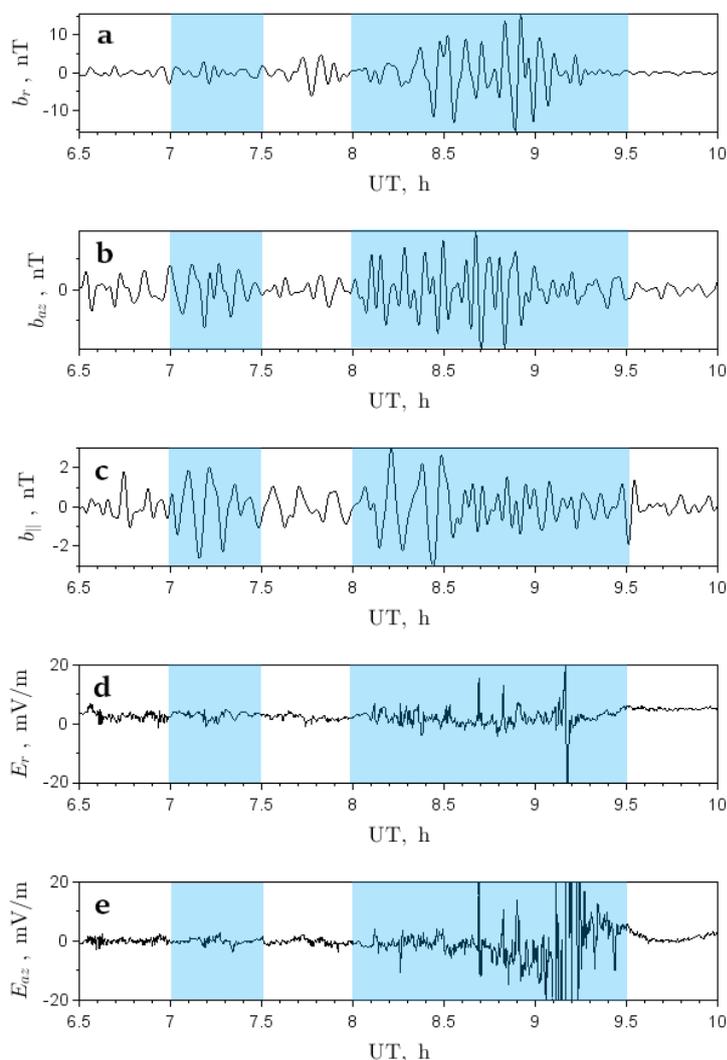


Рис. 1. Магнитные (b) и электрические (E) компоненты поля волны: а) радиальная компонента b_r , б) азимутальная компонента b_a , в) компонента вдоль силовой линии магнитного поля $b_{||}$, д) радиальная компонента E_r , е) азимутальная компонента E_a

По полученным отфильтрованным данным можно постараться определить частоты полученных возмущений с помощью дискретного вейвлет-преобразования, позволяющего увидеть частотно-временное представление сигнала. Динамические спектры компонент магнитного поля с использованием вейвлет-функции Морлет представлены на рисунке 2. При расчете были вычислены 99% спектральные уровни достоверности с использованием соответствующих спектров белого шума для спектра Морлет [4]. Согласно полученным спектрам, в первый промежуток времени азимутальное и продольное магнитные поля имеют частоты от 1 до 3 мГц, что ниже частот во втором временном промежутке, когда возмущение наблюдалось для всех трех компонент магнитного поля. Частоты для радиальной и азимутальной компоненты колеблются от 2 до 6 мГц. Амплитуда радиальной компоненты магнитного поля преобладает, что говорит о полоидальной поляризации волны.

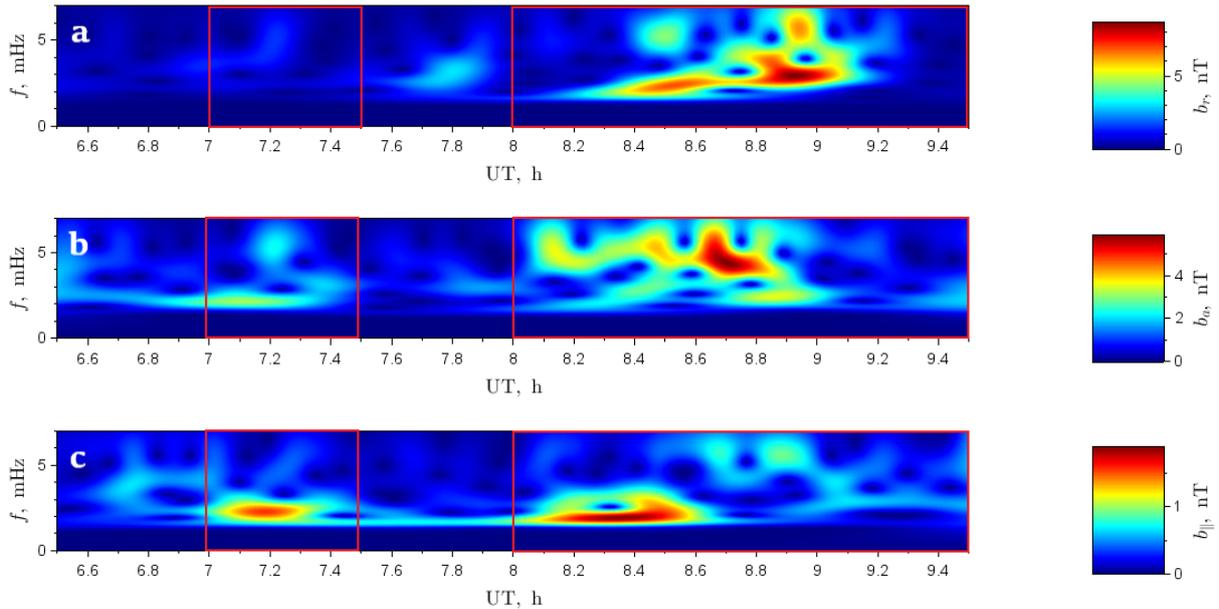


Рис. 2. Динамические спектры компонент магнитного поля волны: а) радиальная компонента b_r , б) азимутальная компонента b_a , в) компонента вдоль силовой линии магнитного поля $b_{||}$

Волны, распространяющиеся в магнитосфере, всегда сопровождаются изменением потока энергичных частиц. Анализ этих потоков позволяет определить, была ли наблюдаемая волна образована резонансным взаимодействием типа волна-частица, а также некоторые параметры волнового события, например, характеристики сгенерированной волны. Используемый нами инструмент ECT MAEGIS фиксирует данные о потоках частиц в среднем диапазоне энергий: для протонов – от 60 до 1300 кэВ, для электронов – от 20 до 4000 кэВ [3].

Первым пунктом обработки является определение наличия модуляций в интересующие нас промежутки времени и, в случае нахождения, определение возможного значения резонансной энергии каждого сорта частиц. Дифференциальные неотфильтрованные потоки протонов и электронов при питч-угле частиц, равным 90° , представлены на рисунке 3.a и 3.b соответственно. По спектрограмме можно отметить, что повышенный поток протонов на меньших уровнях наблюдался в течение всего времени наблюдения, в то время как для электронов сильная модуляция произошла во временной промежуток с 8:30 до 8:42 по времени UT.

Нахождение резонансной энергии возможно путем пропускания потоков частиц через полосовой фильтр в том же диапазоне частот, что и наблюдаемая геомагнитная пульсация. Резонансная энергия определяется по резкому возрастанию амплитуды колебаний или по схожести формы колебаний потоков с колебанием геомагнитных пульсаций. Потоки частиц для первых трех каналов энергий, пропущенных через полосовой фильтр в диапазоне частот Pc5, представлен на рисунке 3.c для протонов и рисунке 3.d для электронов. Для данного события резонансные энергии составляют 58 кэВ для протонов и 33 кэВ для электронов.

Определение типа резонансного взаимодействия возможно путем построения распределения отфильтрованных потоков частиц на полученных резонансных энергиях в зависимости от питч-угла частиц. Анализ подобных распределений показал равномерное распределение колебаний потоков частиц на резонансных энергиях по всем питч-углам, что говорит о невозможности точного определения типа резонансного взаимодействия между волной и частицами. Однако стоит отметить, что в колебаниях потоков протонов было замечено слабое взаимодействие между волной в диапазоне Pc5.

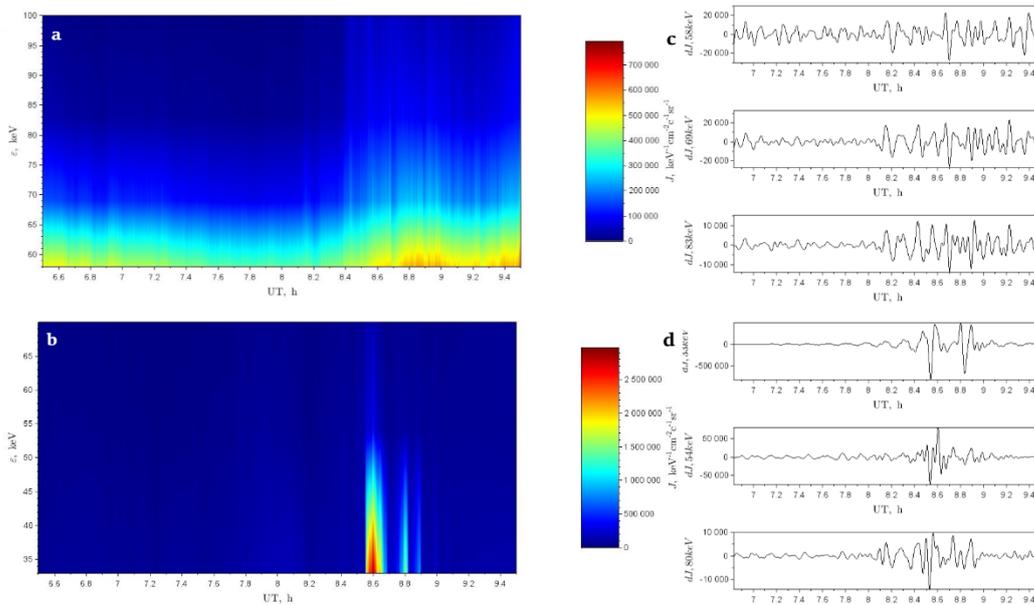


Рис. 3. Потоки заряженных частиц: а) дифференциальный поток протонов, б) дифференциальный поток электронов, с) отфильтрованные потоки протонов на трех каналах энергии, д) отфильтрованные потоки электронов на трех каналах энергии

Последним пунктом обработки данных в рассматриваемом нами событии является построение графиков спектральной плотности мощности (СПМ или PSD от Power Spectral Density). Данная функция описывает распределение мощности сигнала в зависимости от частоты. Построение подобных графиков для компонент магнитного поля и потоков частиц на соответствующих им резонансных энергиях позволяет оценить частоту волны, на которой произошло резонансное взаимодействие между рассматриваемой геомагнитной пульсацией и энергетическими частицами.

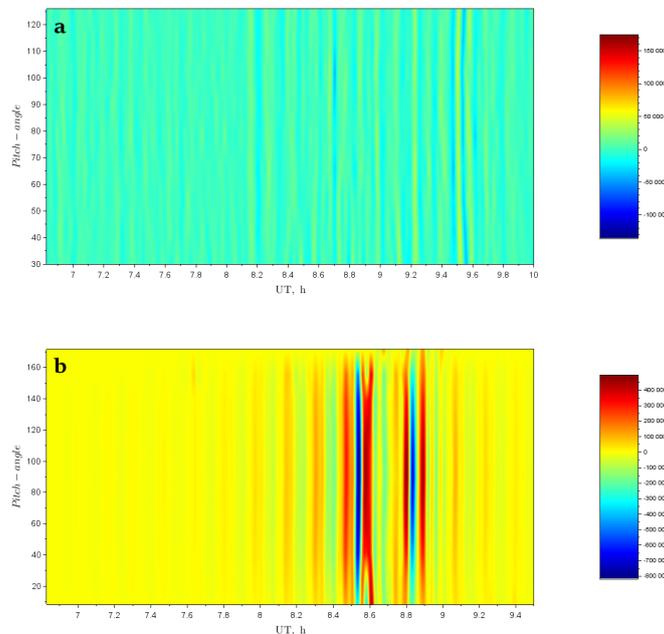


Рис. 4. Распределение потока заряженных частиц по питч-углам: а) протоны с энергией 58 кэВ, б) электроны с энергией 33 кэВ

Результаты вычисления спектральной плотности мощности продемонстрированы на рисунке 4. В азимутальной и продольной компонентах магнитного поля присутствует частота 1.7 МГц, которая присутствует в обоих потоках энергетических частиц. По значению

амплитуды данное значение сильнее частоты выражено в потоке электронов, что свидетельствует о присутствии резонансном взаимодействии волны с частотой 1.7 мГц с электронами. Одна из сильных гармоник в 2.5 мГц присутствует в радиальной компоненте магнитного поля, при этом такая же частота присутствует в потоке протонов. Однако, учитывая слабое взаимодействие протонов с волной, что выражено в малости значения амплитуды графика PSD в сравнении с другими, можно сказать, что появление гармоники в 2.5 мГц не объясняется взаимодействием волна-частица. Это говорит о присутствии других процессов, требующих отдельного изучения.

Таким образом, нами были изучены основы обработки спутниковых данных на примере миссии Van Allen Probe и написан пакет программ для обработки. Отработка была сделана путем первичной обработки и начальной интерпретации события 11 ноября 2013 года. Данное событие включает в себя цепочку из нескольких событий, одним из которых является резонансное взаимодействие электронов с энергией 33 кэВ с УЧН-волной частотой 1.7 мГц, в то же время наиболее существенным является спектральный пик в радиальной компоненте магнитного поля при 2,5 Гц, спектральный пик с близкой частотой 2,6 Гц наблюдается также в потоках протонов. Как уже упоминалось, мы наблюдаем облако высокоэнергичных заряженных протонов и электронов, часть из частиц провзаимодействовала с наблюдаемой волной, однако полную картину взаимодействия волна-частица еще предстоит установить.

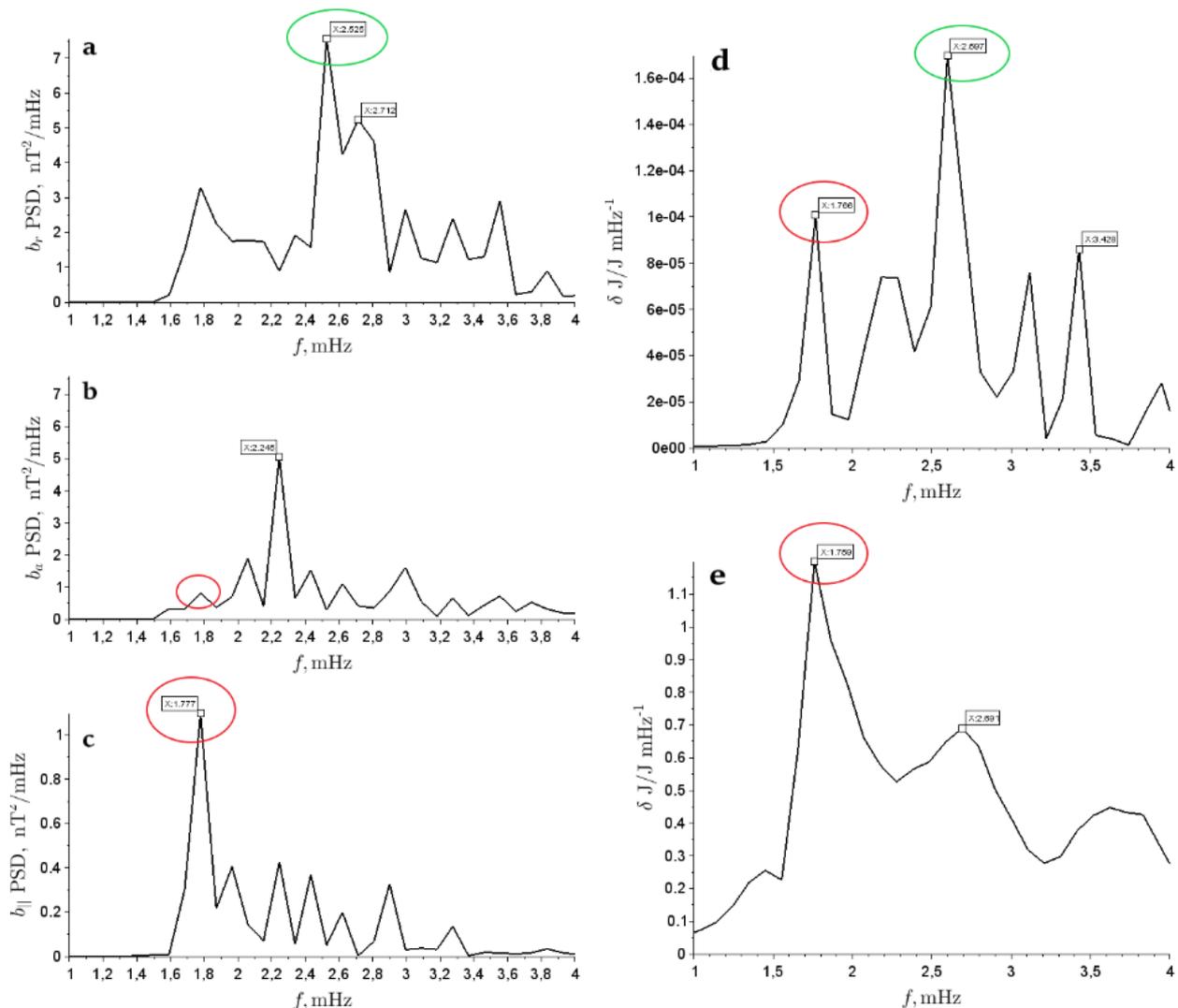


Рис. 5. Графики спектральной плотности мощности (PSD) компонент магнитного поля волны (а-с), отфильтрованных потоков протонов с энергией 58 кэВ (d) и электронов с энергией 33 кэВ (е). Красным отмечены пики с частотой 1.7 мГц, зеленым – с частотой 2.5 мГц

В дальнейшем планируется доработка программ и освоение новых методов, которые позволят вычислять характеристики генерируемых волн. Также в планах начать изучение основ обработки оптических данных камер всего неба, а именно обработка изображений полярных сияний. Совмещение оптических данных и радионаблюдений позволит делать комплексный анализ процессов, начиная с магнитосферы и заканчивая атмосферой.

Литература

1. Wygant, J. R. The electric field and waves instruments on the radiation belt storm probes mission / Wygant, J. R., Bonnell, J.W., Goetz, K., Ergun, R. E., Mozer, F. S., Bale, S. D., et al.// Space Science Reviews. 2013. Vol. 179. P. 183–220. <https://doi.org/10.1007/s11214-013-0013-7>.
2. Kletzing, C. A. The Electric and Magnetic Field Instrument Suite and Integrated Science (EMFISIS) on RBSP / Kletzing, C. A., Kurth, W. S., Acuna, M., MacDowall, R. J., Torbert, R. B., Averkamp, T., et al. //Space Science Reviews. 2013. Vol. 179. P. 127–181. <https://doi.org/10.1007/s11214-013-9993-6>.
3. Spence, H. E. Science goals and overview of the Radiation Belt Storm Probes (RBSP) Energetic Particle, Composition, and Thermal Plasma (ECT) suite on NASA's Van Allen Probes mission/ Spence, H. E., Reeves, G. D., Baker, D. N., Blake, J. B., Bolton, M., Bourdarie, S., et al.// Space Science Reviews. 2013. Vol. 179. P. 312-336. <https://doi.org/10.1007/s11214-013-0007-5>.
4. Chelpanov, M. A. Experimental evidence of drift compressional waves in the magnetosphere: An Ekaterinburg coherent decameter radar case study/ Chelpanov, M. A., Mager, P. N., Klimushkin, D. Y., Bergardt, O. I., & Mager, O. V. //Journal of Geophysical Research: Space Physics. 2016.Vol. 121. P. 1315–1326. <https://doi.org/10.1002/2015JA022155>.

УДК 681.784

**РАЗРАБОТКА ПОЛЯРИЗАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ КОНТРОЛЯ
УРОВНЯ ГЕМАТОКРИТА**

Хлынов Р.Д.¹, Рыжова В.А.¹

Научный руководитель – к.т.н., доцент Рыжова В.А.¹

¹Университет ИТМО

Работа финансируется Министерством науки и высшего образования РФ (грант 08-08).

В работе рассматривается разработка оптико-электронной поляризационной системы, предназначенной для бесконтактного измерения и мониторинга уровня гематокрита. Принцип работы системы основан на одновременном измерении параметров вектора Стокса рассеянного образцом поляризованного излучения и определении уровня гематокрита, зависящем от параметров анизотропии крови.

Ключевые слова: поляризационная система, гематокрит, вектор Стокса, анизотропия рассеяния, оптические сигналы, матрица Мюллера.

Введение

В настоящее время для диагностики состояния пациента в медицинской сфере используют приборы и системы на основе инвазивного исследования крови: глюкометры, гемоглобинометры, билирубинометры и другие. Применение их в медицинских областях, таких как педиатрия, хирургия, венерология, кардиология и другие, ограничено в связи с невозможностью автоматизации и непрерывного контроля, длительной обработкой и малой информативностью.

Поэтому перспективным представляется исследование и разработка оптико-электронных приборов и систем, основанных на бесконтактном измерении уровня гематокрита, и, в частности, развитие методов активной поляриметрии, основанных на регистрации изменения анизотропного состояния крови. Их главными преимуществами перед методами, основанными на прямом заборе крови, являются высокоточная и оперативная диагностика; высокая чувствительность к концентрации и размерам форменных элементов крови; учет индивидуальных особенностей каждого пациента (возраста, пола и кожного покрова), что обуславливает потенциальную востребованность оптико-электронных приборов при решении ряда медицинских задач.

Прибор, разработанный на основе представляемой поляризационной системы, может использоваться как для непрерывного мониторинга измерения уровня гематокрита в медицинских центрах при выполнении операционного вмешательства, так и в условиях чрезвычайных ситуаций, а также для качественного и самостоятельного контроля уровня гематокрита пациентами, страдающими различными заболеваниями сосудов (например, инфаркт, инсульт, варикозное расширение вен, тромбоз). Это позволит своевременно выявить доклинические формы заболевания сосудов и осуществить коррекцию гипервязкости крови, что предотвратит развитие тяжелых осложнений этих заболеваний и соответственно снизит количество летальных исходов.

Основная часть

В качестве схемы-аналога для предлагаемой поляризационной системы выбран визуальный четырехканальный Стокс-поляриметр, позволяющий одновременно и быстро получать информацию о распределении параметров вектора Стокса выходного излучения [1, 2]. Приемный блок системы сформирован таким образом, что длина оптического пути рассеянного образцом излучения от приемной оптической системы до чувствительных площадок матричных фотоприемников каждого канала одинакова. При этом все четыре изображения кружка рассеяния излучения с поверхности образца имеют одинаковое увеличение и одинаковую частотно-контрастную характеристику для каждого канала по всему полю зрения матрицы, что позволяет регистрировать изображения без искажений.

Так как лазерное оптическое излучение не должно оказывать биологическое действие на эритроциты, которое проявляется в их деформируемости и изменению структуры крови [3], необходимо в качестве источника оптического излучения использовать маломощные лазеры с высокой степенью направленности излучения. На основе исследования влияния длины волны излучения на оптические свойства крови было определено, что наибольшая разница между рассеивающей и пропускающей способностью крови наблюдается на длине волны вблизи терапевтического окна (0,6 – 1,6 мкм). Данное свойство используется при построении поляризационной схемы для регистрации рассеянного назад излучения от биоткани. На рисунке представлена конструкция визуального Стокс-поляриметра, который состоит из передающего и приемного блоков.

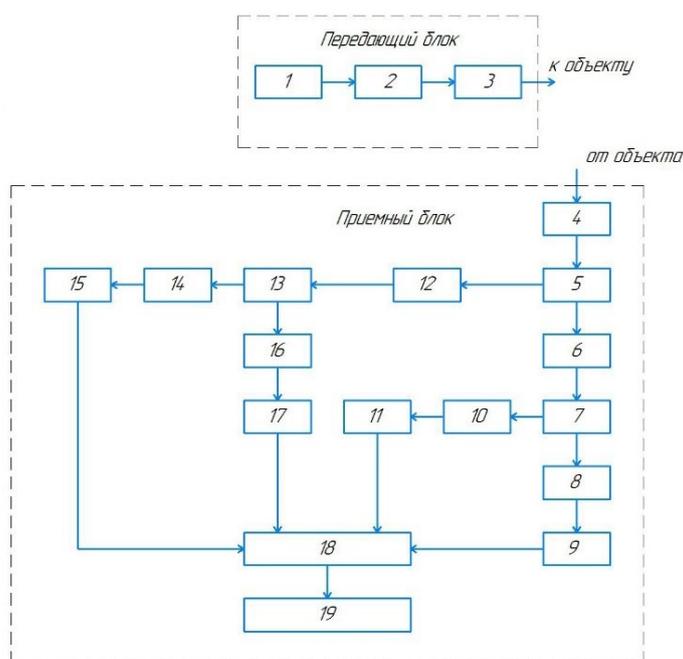


Рисунок. Схема Стокс-поляриметра

Передающий блок содержит источник оптического излучения 1 и оптические элементы (поляризатор 2; четвертьволновая пластинка 3) для формирования заданного состояния поляризации зондирующего биоткань излучения. Приемный блок содержит оптические элементы (объектив 4; светоделительный кубик 5; полуволновая пластинка 6, светоделительный поляризационный кубик 7, 13; четвертьволновая пластинка 12; компенсационный блок – кварцевая пластинка 8, 10, 14, 16) для получения четырех распределений интенсивности на каждом матричном приемнике оптического излучения (9, 11, 15, 17) для дальнейшей их обработки в электронном блоке обработки сигналов 18. Для визуализации результатов используется устройство отображения информации 19.

В схеме реализована следующая ориентация анизотропных осей поляризационных элементов: быстрая анизотропная ось полуволновой пластинки 6 ориентирована под углом 22,5°, а ось четвертьволновой пластинки 12 ориентирована под углом 45° к выбранной плоскости, содержащей направление распространения пучка (плоскости референции).

Вектор Стокса вычисляется для каждого пикселя изображения по формуле [4]:

$$S = \begin{bmatrix} I_{0^\circ} + I_{90^\circ} \\ I_{0^\circ} - I_{90^\circ} \\ I_{45^\circ} - I_{-45^\circ} \\ I_r - I_l \end{bmatrix}, \quad (1)$$

где I_{0° , I_{90° , I_{45° , I_{-45° , I_r , I_l – интенсивности волн, прошедших через идеальные поляризаторы, пропускающие линейно-поляризованные составляющие излучения с азимутами,

соответственно, 0° , 90° , $+45^\circ$ и -45° , а также право- и левоциркулярно поляризованные составляющие излучения.

Матричный приемник каждого канала регистрации детектирует поток излучения с заданным состоянием поляризации. Выходной электрический сигнал i_m ($m = 0, 1, 2, 3$ – номер фотоприемника) пропорционален мощности потока. Выходной сигнал m -го матричного приемника представляет собой линейную комбинацию четырех параметров вектора Стокса падающего света, т.е.:

$$i_m = \sum_{n=0}^3 a_{mn} \cdot S_n, \quad (2)$$

где n – номер параметра вектора Стокса.

Определяя выходной электрический сигнал на выходе каждого матричного фотоприемника и определяя полный вектор Стокса, получаем следующее выражение:

$$\begin{aligned} i_0 &= (a_{00} \cdot S_0) + (a_{01} \cdot S_1) + (a_{02} \cdot S_2) + (a_{03} \cdot S_3) \\ i_1 &= (a_{10} \cdot S_0) + (a_{11} \cdot S_1) + (a_{12} \cdot S_2) + (a_{13} \cdot S_3) \\ i_2 &= (a_{20} \cdot S_0) + (a_{21} \cdot S_1) + (a_{22} \cdot S_2) + (a_{23} \cdot S_3) \\ i_3 &= (a_{30} \cdot S_0) + (a_{31} \cdot S_1) + (a_{32} \cdot S_2) + (a_{33} \cdot S_3) \end{aligned} \quad (3)$$

Выражение (3) может быть представлено в матричном виде:

$$\begin{bmatrix} i_0 \\ i_1 \\ i_2 \\ i_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{00} & a_{01} & a_{02} & a_{03} \\ a_{10} & a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{20} & a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{30} & a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} S_0 \\ S_1 \\ S_2 \\ S_3 \end{bmatrix}. \quad (4)$$

Для четырехканальной системы соответствующий набор выходных электрических сигналов i_m , где $m = 0, 1, 2, 3$, определяет вектор тока $\mathbf{I} = [i_0 \ i_1 \ i_2 \ i_3]^T$, который линейно связан с параметрами входного вектора Стокса \mathbf{S} рассеянного излучения по формуле:

$$\mathbf{I} = \mathbf{A} \cdot \mathbf{S}, \quad (5)$$

где верхний индекс T означает, что матрица транспонирована; \mathbf{A} – приборная матрица, соответствующая матрице в выражении (4).

Таким образом, каждая строка приборной матрицы соответствует первой строке матрицы Мюллера, описывающей действие оптических элементов каждого из каналов системы в отдельности.

Для нахождения приборной матрицы измеряют оптический сигнал в четырех соответствующих каналах поляриметра. Предполагая идеальные поляризационные элементы, отсутствие инструментальной поляризации в линзах, отсутствие зависимости от угла поля и длины волны, матрицы Мюллера оптических элементов для пути сигнала в соответствующем канале приемного блока задаются в виде [1, 2]:

$$\begin{aligned} \mathbf{M}_1 &= \mathbf{PBSC}_{(\text{проп.})} \cdot \mathbf{Ret}_{(22,5^\circ, \lambda/2)} \cdot \mathbf{PPol}_{(\text{проп.})} = \\ &= \begin{bmatrix} 0,5 & 0,5 & 0 & 0 \\ 0,5 & 0,5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0,5 & 0,3 & 0 & 0 \\ 0,3 & 0,5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0,4 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,4 \end{bmatrix}, \end{aligned} \quad (6)$$

где \mathbf{M}_1 – результирующая матрица Мюллера для первого пути; $\mathbf{PBSC}_{(\text{проп.})}$ – матрица Мюллера для светоделительного поляризационного кубика 7, работающего на пропускание;

$\mathbf{Ret}_{(22,5^\circ, \lambda/2)}$ – матрица Мюллера для полуволновой пластинки $\lambda/2$ (6), ориентированной под углом $22,5^\circ$; $\mathbf{PPol}_{(\text{проп.})}$ – матрица Мюллера для светоделительного кубика 5, работающего на пропускание;

$$\begin{aligned} \mathbf{M}_2 &= \mathbf{PBSC}_{(\text{проп.})} \cdot \mathbf{Ret}_{(22,5^\circ, \lambda/2)} \cdot \mathbf{PPol}_{(\text{отр.})} = \\ &= \begin{bmatrix} 0,5 & 0,5 & 0 & 0 \\ 0,5 & 0,5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0,5 & -0,3 & 0 & 0 \\ -0,3 & 0,5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -0,4 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -0,4 \end{bmatrix}, \end{aligned} \quad (7)$$

где \mathbf{M}_2 – результирующая матрица Мюллера для второго пути; $\mathbf{PPol}_{(\text{отр.})}$ – матрица Мюллера для светоделительного кубика 5, работающего на отражение;

$$\begin{aligned} \mathbf{M}_3 &= \mathbf{PBSC}_{(\text{отр.})} \cdot \mathbf{Ret}_{(45^\circ, \lambda/4)} \cdot \mathbf{PPol}_{(\text{проп.})} = \\ &= \begin{bmatrix} 0,5 & -0,5 & 0 & 0 \\ -0,5 & 0,5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0,5 & 0,3 & 0 & 0 \\ 0,3 & 0,5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0,4 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,4 \end{bmatrix}, \end{aligned} \quad (8)$$

где \mathbf{M}_3 – результирующая матрица Мюллера для третьего пути; $\mathbf{PBSC}_{(\text{отр.})}$ – матрица Мюллера для светоделительного поляризационного кубика 7, работающего на отражение; $\mathbf{Ret}_{(45^\circ, \lambda/4)}$ – матрица Мюллера для четвертьволновой пластинки $\lambda/4$ (12), ориентированной под углом 45° ;

$$\begin{aligned} \mathbf{M}_4 &= \mathbf{PBSC}_{(\text{отр.})} \cdot \mathbf{Ret}_{(45^\circ, \lambda/4)} \cdot \mathbf{PPol}_{(\text{отр.})} = \\ &= \begin{bmatrix} 0,5 & -0,5 & 0 & 0 \\ -0,5 & 0,5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 0,5 & -0,3 & 0 & 0 \\ -0,3 & 0,5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -0,4 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -0,4 \end{bmatrix}, \end{aligned} \quad (9)$$

где \mathbf{M}_4 – результирующая матрица Мюллера для четвертого пути.

Матрицы Мюллера для оптических систем каждого из каналов системы с учетом параметров оптических элементов схемы представлены ниже:

$$\mathbf{M}_1 = \begin{bmatrix} 0,25 & 0,15 & 0,2 & 0 \\ 0,25 & 0,15 & 0,2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \mathbf{M}_2 = \begin{bmatrix} 0,25 & 0,15 & -0,2 & 0 \\ 0,25 & -0,15 & -0,2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad (10)$$

$$\mathbf{M}_3 = \begin{bmatrix} 0,25 & -0,15 & 0 & -0,2 \\ -0,25 & -0,15 & 0 & 0,2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \mathbf{M}_4 = \begin{bmatrix} 0,25 & -0,15 & 0 & 0,2 \\ -0,25 & 0,15 & 0 & -0,2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}. \quad (11)$$

Первые строки матрицы Мюллера каждого канала формируют приборную матрицу системы и выглядят следующим образом:

$$\begin{aligned} \mathbf{A}_1 &= [0,25 \quad 0,15 \quad 0,20 \quad 0,00] \\ \mathbf{A}_2 &= [0,25 \quad 0,15 \quad -0,20 \quad 0,00] \\ \mathbf{A}_3 &= [0,25 \quad -0,15 \quad 0,00 \quad -0,20] \\ \mathbf{A}_4 &= [0,25 \quad -0,15 \quad 0,00 \quad 0,20] \end{aligned} \quad (12)$$

Подставляя полученные первые строки матриц Мюллера каждого канала в приборную матрицу \mathbf{A} , получаем:

$$\mathbf{I} = \begin{bmatrix} i_1 \\ i_2 \\ i_3 \\ i_4 \end{bmatrix} = \mathbf{A} \cdot \mathbf{S} = \begin{bmatrix} 0,25 & 0,15 & 0,20 & 0,00 \\ 0,25 & 0,15 & -0,20 & 0,00 \\ 0,25 & -0,15 & 0,00 & -0,20 \\ 0,25 & -0,15 & 0,00 & 0,20 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} S_0 \\ S_1 \\ S_2 \\ S_3 \end{bmatrix}. \quad (13)$$

Таким образом, вектор Стокса может быть восстановлен из измеренных оптических сигналов путем нахождения вырожденной приборной матрицы:

$$\mathbf{S} = \mathbf{A}^{-1} \cdot \mathbf{I} = \begin{bmatrix} 1,00 & 1,00 & 1,00 & 1,00 \\ 1,67 & 1,67 & -1,67 & -1,67 \\ 2,50 & -2,50 & 0,00 & 0,00 \\ 0,00 & 0,00 & -2,50 & 2,50 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} i_1 \\ i_2 \\ i_3 \\ i_4 \end{bmatrix}, \quad (14)$$

где \mathbf{A}^{-1} – матрица, обратная матрице \mathbf{A} .

Для такой системы нулевой вектор Стокса S_0 (полная интенсивность) представляет собой сумму измеренных интенсивностей всех четырех путей. Первый вектор Стокса S_1 пропорционален разности между суммой интенсивностей 1-го и 2-го пути и суммой интенсивностей 3-го и 4-го пути. Второй вектор Стокса S_2 пропорционален разности измеренной интенсивности 1-го и 2-го пути, а третий вектор Стокса S_3 пропорционален разности 4-го и 3-го пути.

Подход к измерению уровня гематокрита и его реализация в разработанной системе на основе измерения параметров вектора Стокса рассеянного объектом излучения является полностью неинвазивным и заключается в сопоставлении полученных данных с калибровочными кривыми для разных значений уровня гематокрита, предварительно получаемых эмпирическим путем.

Заключение

Разработана поляризационная система Стокс-поляриметра для мониторинга уровня гематокрита в режиме реального времени. Система не содержит движущихся элементов, позволяет генерировать одновременно четыре линейно независимых проекции неизвестного вектора Стокса падающего света. Предложен подход определения вектора Стокса путем измерения в каждом из четырех каналов приемного блока оптических сигналов и нахождения обратной приборной матрицы системы.

Литература

1. J. Larry Pezzaniti, David Chenault, Mike Roche, John Reinhardt, Howard Schultz. Wave slope measurement using imaging polarimetry. Proceeding of SPIE – The International Society for Optical Engineering Vol. 7317 73170B-1 (2009), <https://doi.org/10.1117/12.819031>.
2. J. Larry Pezzaniti, David Chenault, Mike Roche, John Reinhardt, Howard Schultz. Four camera complete Stokes imaging polarimeter. Proceedings of SPIE – The International Society for Optical Engineering Vol. 6972 69720J (2008), <https://doi.org/10.1117/12.784797>.
3. Гейниц А. В., Москвин С.В., Ачилов А.А. Внутривенное лазерное облучение крови. – М.– Тверь: ООО «Издательство «Триада», 2012. 336 с.
4. Симоненко Г. В., Тучин В. В. Оптические свойства биологических тканей. Учебно-методическое пособие. 2007. С. 48.

УДК 681.786

**РАЗРАБОТКА СТЕНДА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ
ПОЛЯРИЗАЦИОННОГО МЕТОДА КОНТРОЛЯ ВЗАИМНОЙ УГЛОВОЙ
ОРИЕНТАЦИИ ОБЪЕКТОВ****Чистякова А.Д.¹****Научный руководитель – к.т.н., доцент Рыжова В.А.¹**¹Университет ИТМО

Работа финансируется Министерством науки и высшего образования РФ (грант 08-08).

Данная работа посвящена созданию оптико-электронного стенда, который предназначен для исследования метрологических параметров и характеристик поляризационной системы для измерения угла скручивания. Принцип измерения состоит в определении пространственной ориентации вектора поляризации оптического излучения, которая соответствует текущему угловому положению объекта контроля.

Ключевые слова: поляризационные угломеры, линейно-поляризованное излучение, угол скручивания, амплитудно-фазовая модуляция, лабораторный стенд.

В современное время в ряде отраслей науки и техники поляризация света применяется для извлечения или визуализации полезной информации об исследуемом объекте. Сферы применения поляризационных приборов варьируются от развлечений (например, 3D-кино) до промышленного и медицинского контроля [1].

Поляризационные приборы могут применяться для измерения и мониторинга угловых деформаций крупногабаритных объектов, таких как стволов шахт, туннелей гидротехнических сооружений, нефте- и газопроводов, корпусов ракет и судов. Возможность измерения деформации объектов, подвергающихся постоянной нагрузке (например, плотин и мостов) в реальном времени поможет предотвратить аварии, связанные с разрушением этих объектов.

Главным преимуществом поляризационных угловых измерений является то, что информация о состоянии поляризации излучения сосредоточена в параксиальной области оптической системы устройства. В связи с этим к поляризационным элементам применяются относительно высокие требования к качеству изготовления, но ко всем остальным элементам оптической системы данные требования не предъявляются [2].

Разработанный стенд может быть применен при взаимном пространственном позиционировании исследуемых объектов в лабораторных условиях, а также при контроле углового смещения объекта или при измерении угла поворота азимута поляризации излучения вследствие его взаимодействия с оптически активной средой. При неподвижном положении базового и контролируемого объектов наличие угла скручивания может говорить об изменении состава среды распространения излучения. Принцип работы системы основан на регистрации переменной составляющей потока линейно-поляризованного излучения, пропорциональной измеряемому углу скручивания.

При анализе работы поляризационного угломера особое значение имеет выбор метода модуляции поляризованного излучения. Метод модуляции влияет на потенциальную точность измерения, дистанцию работы, а также может определять элементный состав и режим функционирования поляризационного прибора [2].

На основе обзора и сравнительного анализа схем реализации поляризационных приборов с различными способами модуляции информационных параметров поляризованного излучения был выбран аналог для разработки – схема дифференциального поляризационного угломера на основе амплитудно-фазовой модуляции оптического сигнала. Указанная схема построения стенда обеспечивает высокую потенциальную точность измерения угла скручивания и относительно небольшие потери энергии излучения в оптической системе, что позволяет использовать относительно маломощные источники излучения при сохранении малой величины шумовой составляющей погрешности угломера [2].

Для эксплуатации стенда в лабораторных условиях, а также для упрощения процедуры его юстировки целесообразно не использовать при формировании схемы электрооптические и магнитооптические модуляторы, требующие применения источников большого тока, а также линзовые или зеркальные фокусирующие элементы со сферическими поверхностями, вносящих искажения в параметры поляризации излучения.

Таким образом, при разработке стенда реализуется схема с дискретной модуляцией азимута поляризованного излучения с использованием внешней механической модуляции мощности источника излучения. В качестве источника оптического излучения выбран лазер с малой выходной мощностью, обеспечивающей безопасную эксплуатацию и с малой угловой расходимостью лучей во избежание погрешностей измерения.

На рисунке 1 изображена структурная схема поляризационного стенда для контроля взаимной угловой ориентации объектов и исследования метрологических характеристик поляризационного угламера.

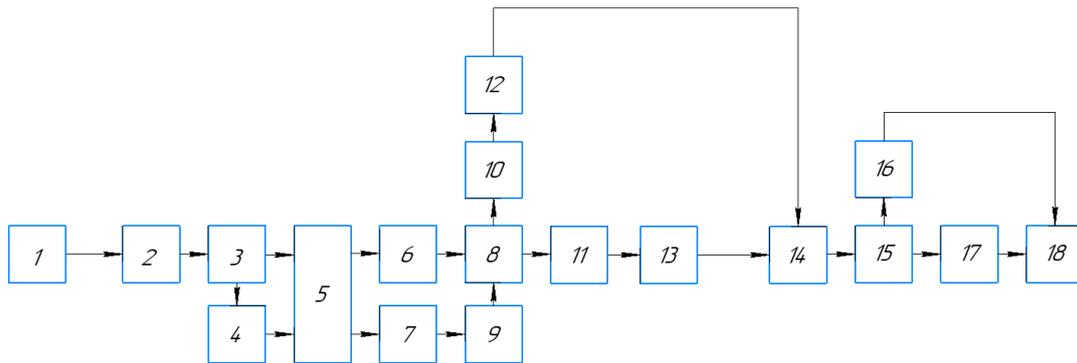


Рис. 1. Схема структурная лабораторного стенда

Стенд содержит передающий блок и приемные блоки измерительного и опорного каналов. Передающий блок состоит из измерительного и опорного каналов преобразования сигнала.

Измерительный канал содержит блок формирования входного состояния поляризации излучения (лазер 1, поляризатор 2 с осью пропускания $\alpha_1 = 45^\circ$), оптический передающий блок (светоделительные призмы кубики 3 и 8, механический модулятор 5, поляризатор 6 с осью пропускания $\alpha_2 = 0^\circ$), оптико-электронного блока приема и обработки измеряемого сигнала (анализатор 11, ось которого ориентирована под углом $45^\circ - \varphi$, где φ – измеряемый угол скручивания, фотоприемник 13).

Опорный канал содержит блок формирования входного состояния поляризации излучения (лазер 1, поляризатор 2 с осью пропускания $\alpha_1 = 45^\circ$), оптический передающий блок (светоделительные призмы кубики 3 и 8, зеркала 4 и 9, механический модулятор 5, поляризатор 7 с осью пропускания $\alpha_3 = 90^\circ$), оптико-электронный блок приема и обработки опорного сигнала (анализатор 10, ось которого ориентирована под углом 45° , фотоприемник 12).

Величина φ измеряется амплитудно-фазовым детектором 14 и после аналого-цифрового преобразования в блоке 15 запоминается в блоках памяти 16 и 17, далее информация обрабатывается вычислительным блоком 18.

Стенд работает следующим образом. На выходе поляризатора 2 лазерный луч становится линейно-поляризованным с ориентацией плоскости поляризации под углом 45° , который отсчитывается от оси X, совпадающей с направлением колебания s-составляющей оптического излучения (рис. 2). Данный линейно-поляризованный луч с помощью системы двух светоделительных призм 3 и 8 и зеркал 4 и 9 разделяется на два световых пучка, соответствующих измерительному и опорному каналам. Потоки излучения, проходящие через каналы передающего блока, модулируются механическим модулятором-прерывателем, который изменяет амплитуду и фазу оптических сигналов.

Далее поток излучения Φ_{I1} измерительного канала проходит поляризатор 6 с азимутом оси пропускания 90° и направляется светоделительной призмой 8 на анализатор 11 , ось пропускания которого ориентирована под углом 45° , и на фотоприемник 13 для формирования измеряемого сигнала. Поток излучения Φ_{I2} опорного канала проходит поляризатор 7 с азимутом оси пропускания 0° и направляется зеркалом 9 и светоделительной призмой 8 на анализатор 10 , ось пропускания которого ориентирована под углом 0° , и на фотоприемник 12 для формирования опорного сигнала.

При отсутствии поворота объекта на угол скручивания φ потоки излучения Φ_{I1} и Φ_{I2} , прошедшие через поляризаторы с взаимно перпендикулярными азимутами осей пропускания, сформируют на чувствительной площадке фотоприемника 13 равномерное распределение облученности (рис. 2,а). Поэтому регистрируемая электронным блоком переменная составляющая оптического сигнала будет равна нулю.

При повороте приемника 13 на угол φ относительно оптической оси системы изменится ориентация плоскости пропускания анализатора 11 , соотношение потоков изменится, и появляется переменная составляющая, амплитуда которой пропорциональна величине измеряемого угла скручивания φ , а фаза соответствует направлению поворота (рис. 2,б).

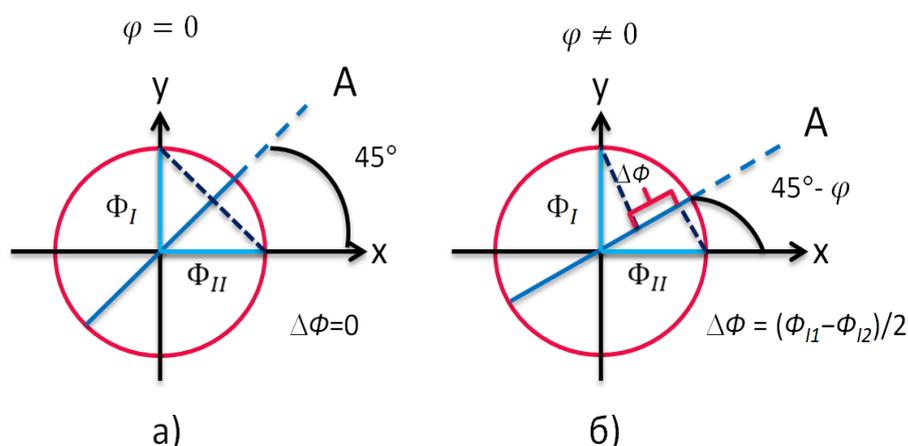


Рис. 2. Принцип действия схемы с амплитудно-фазовой модуляцией потоков излучения при $\varphi=0$ (а), $\varphi \neq 0$ (б)

Постоянная составляющая потока излучения, падающего на приемник оптического излучения, равна

$$\Phi_{I=} = \Phi_I' \cdot \cos^2(\varphi_0),$$

где Φ_I' – поток излучения, падающий на приемник, если бы азимут осей пропускания поляризатора и анализатора совпадали; φ_0 – угол между осями пропускания анализатора и поляризатора при отсутствии угла скручивания.

Амплитуда переменной составляющей потока излучения:

$$\Delta\Phi_I' = \frac{\Phi_{I1} - \Phi_{I2}}{2} = \frac{\Phi_I' \cdot \sin(2\varphi_0) \sin(2\varphi)}{2}.$$

Временные диаграммы оптических сигналов на рисунке 3 поясняют принцип поляризационного метода измерения с использованием амплитудно-фазовой модуляции.

Для эксплуатации стенда в лабораторных условиях рабочая дистанция прибора не должна превышать 1 м. Исходя из конструктивных соображений, выбрали расстояние между оптическими компонентами лабораторного стенда. Исходя из всех выбранных расстояний, получаем оптическую принципиальную схему, которая приведена на рисунке 4.

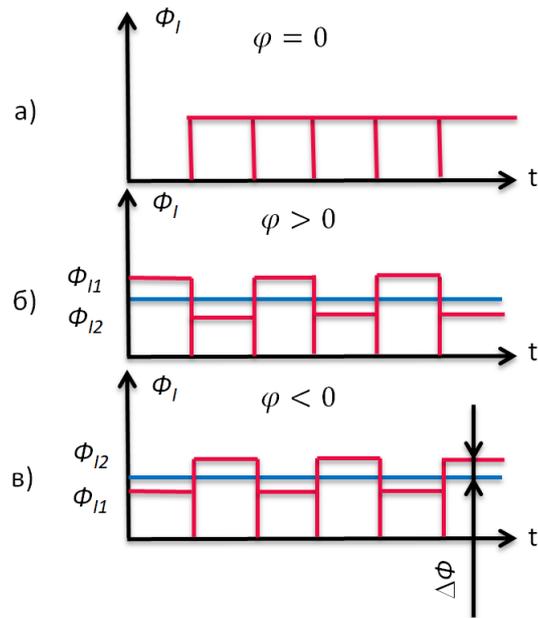


Рис. 3. Временные диаграммы: а, б, в- поток излучения, падающего на приемник оптического излучения, при $\varphi=0$ (а), $\varphi>0$ (б), $\varphi<0$ (в)

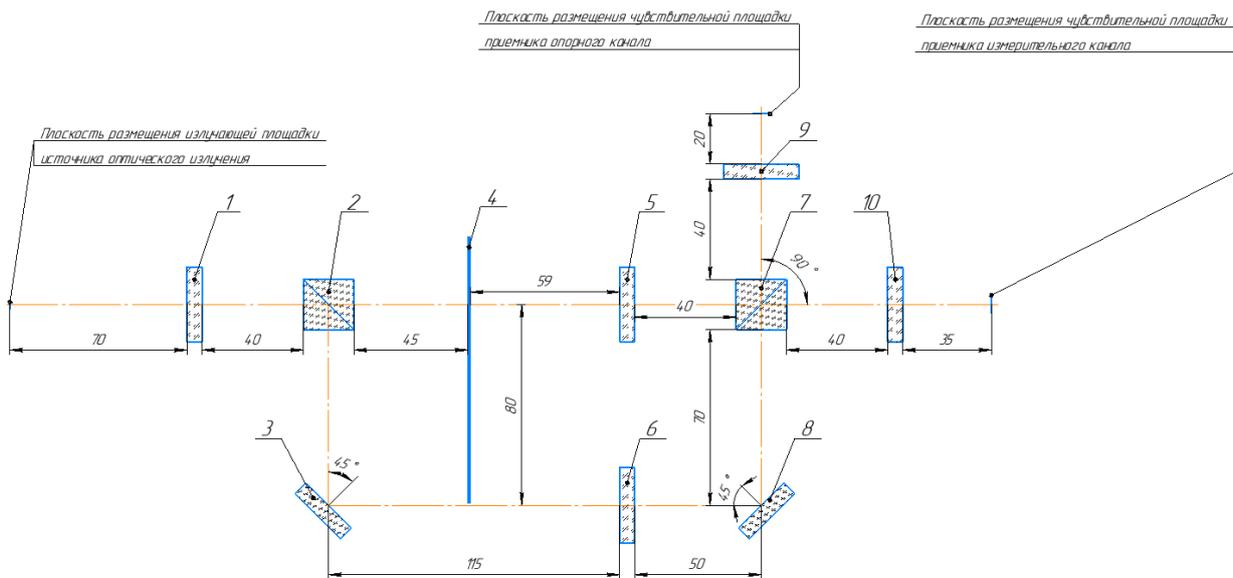


Рис. 4. Схема оптическая принципиальная лабораторного стенда

В зависимости от функционального назначения критерии качества работы оптико-электронных приборов могут быть различными. Для оптико-электронных измерительных приборов при гауссовой статистике шумов наиболее распространенным критерием качества работы является минимальное значения потока излучения, при котором обеспечивается отношение сигнал-шум, необходимое для надежного прием сигнала на фоне помех и шумов.

При определении качества измерения с использованием поляризационного стенда необходимо учитывать, что информацию о величине угла скручивания несет переменная составляющая амплитуды излучения, обусловленная разностью потоков, прошедших поляризаторы с взаимно ортогональными осями пропускания.

Таким образом, необходимо подтвердить превышение переменной составляющей полезного сигнала величины порогового значения потока выбранного фотоприемника. Для нашего приёмного устройства (кремниевый фотодиод HamamatsuS13955 с чувствительностью для длины волны 630нм – 0,48А/Вт [3]), с учётом того, что расстояние от источника излучения

до приёмного устройства много больше размера излучающей поверхности, поток, падающий на фоточувствительный элемент, определяется по формуле [4]

$$\Phi_I = \tau \cdot L_e \cdot \frac{\pi \cdot D^2 \cdot A_2}{4 \cdot l^2},$$

где τ – коэффициент пропускания оптических систем (для измерительного канала с учетом пропускания элементов схемы $\tau_{\text{изм}} = 0,15$; для опорного канала $\tau_{\text{оп}} = 0,12$); A_2 – площадь чувствительной площадки приемника оптического излучения; D – диаметр пучка лазера; l – дистанция измерения; L_e – яркость лазерного пучка мощностью P и углом расходимости θ , которая рассчитывается по формуле:

$$L_e = \frac{4P}{(\pi D \theta)^2} = 6,62 \cdot 10^6 \left[\frac{\text{Вт}}{\text{ср} \cdot \text{м}^2} \right].$$

Тогда потоки излучения, падающие на фоточувствительные элементы приемников оптического излучения в измерительном и опорном каналах, будут соответственно равны $\Phi_{I \text{ изм}} = 4,35$ мкВт и $\Phi_{I \text{ оп}} = 3,48$ мкВт.

Перейдем к расчету порогового потока, падающего на приемник излучения $\Phi_{\text{п}}$, то есть минимальный поток, при котором сигнал с приемника оптического излучения равен сигналу, эквивалентному его уровню шумов [5]:

$$\Phi_{\text{п}} = \frac{\sqrt{\bar{I}^2}}{S_{I2}} = \frac{\sqrt{I_{\text{др}}^2 + \bar{I}_T^2 + I_{\text{тш}}^2}}{S_{I2}},$$

где \bar{I}^2 – дисперсия шумов. Основными видами шумов выбранного фотодиода являются тепловой шум (он же шум Джонсона), дробовый шум (шум Шоттки), токовый шум. С учетом сказанного пороговый поток будет равен $\Phi_{\text{п}} = 26,2$ пВт.

Переменная составляющая потока $\Phi_{I \sim}$, несущая информацию о величине измеряемого угла скручивания, должна быть больше порогового потока. В нашем случае данное условие выполняется, так как $\Phi_{I \sim} = 2.175$ мкВт больше $\Phi_{\text{п}} = 26,2$ пВт.

Таким образом, на основании анализа преобразования сигнала в схеме разработанного поляризационного стенда и результатов энергетического расчета можно сделать вывод, что прием сигнала, необходимого для надежного срабатывания прибора на фоне помех и шумов, обеспечивается тем, что переменная составляющая потока, несущая информацию о величине измеряемого угла скручивания, существенно превышает пороговый поток фотоприемника.

Литература

1. Atkinson, Gary A., Ernst, Jürgen D.: High-sensitivity analysis of polarization by surface reflection. *Mach. Vis. Appl.* 29(7), 1171–1189 (2018).
2. Панков Э.Д., Коротаев В.В. Поляризационные угломеры. М.: Недра, 1992.-240 с.
3. Siphodiode [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.hamamatsu.com/eu/en/product/type/S13955-01/index.html> (Дата обращения: 20.01.2021).
4. Якушенков Ю.Г. Основы оптико-электронного приборостроения. Учебник. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Логос, 2012. – с.: ил.
5. Ишанин Г.Г. Приёмники излучения оптических и оптико-электронных приборов.– Л.: Машиностроение, 1986.

Оглавление

Биотехнологии и низкотемпературные системы	7
Антипова С.В. СДЕРЖИВАЮЩИЕ ФАКТОРЫ ПРОИЗВОДСТВА БИОГАЗА В РОССИИ	8
Артемьев Д.В., Зайцев А.В. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ОРЕБРЕНИЯ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ МНОГОПОТОЧНОГО ТЕПЛООБМЕННИКА	10
Барбанэль П.Ф. АНАЛИТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА ТОПЛИВА ИЗ ТКО	16
Баринов Г.В. ВЛИЯНИЕ СИЛЫ ЗАТЯЖКИ ПРИЖИМНОЙ ГАЙКИ КОРПУСА ШНЕКА, НА ИЗНОС ПАРЫ НОЖ-РЕШЕТКА.....	20
Беднова М.В., Черников И.Г., Стрельников А.В. ОСОБЕННОСТИ ВЫБОРА СРЕДСТВ ИСПЫТАНИЙ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ЗОНДОВ	23
Бобылькова О.М., Егорова О.А. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ОБРАБОТКИ НА КАЧЕСТВО ПЕКТИНА.....	28
Васильева М.О. ИЗУЧЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ, РЕЖИМОВ ПРОИЗВОДСТВА И РЕЦЕПТУРЫ БИОРАЗЛАГАЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ	33
Вдовина И.О. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ В ЖИЗНЕННОМ ЦИКЛЕ ТЕПЛОВОГО АККУМУЛЯТОРА.....	37
Вихрова М.А. ОБОСНОВАНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЛЬНЯНОЙ МУКИ В РЕЦЕПТУРЕ ДИЕТИЧЕСКОГО ХЛЕБА	41
Вольф М.Н. РЕКОМЕНДУЕМАЯ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ЭТАПОВ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ КОМПЛЕКТУЮЩИХ, ИЗГОТОВЛЕННЫХ ПО АДДИТИВНЫМ ТЕХНОЛОГИЯМ.....	44
Герасютенко В.В., Шарков А.В., Кораблев В.А., Яворская И.А. КАЛОРИМЕТРИЧЕСКИЙ МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ МОЩНОСТИ ТЕПЛОТЫДЕЛЕНИЙ В ЭЛЕМЕНТАХ ЭЛЕКТРОНИКИ	48
Гнатенко К.В., Орипова А.А. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ СЕНСОРНЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУХА НАД ПОЛИГОНАМИ ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ.....	54
Еврейская А.А. ПОДБОР УСЛОВИЙ ДЛЯ РЕПРОГРАММИРОВАНИЯ ФИБРОБЛАСТОВ ЛИСИЦЫ В ИНДУЦИРОВАННЫЕ ПЛЮРИПОТЕНТНЫЕ СТЕЛОВЫЕ КЛЕТКИ	60
Ерёмченко А.А., Сергиенко О.И. УНИВЕРСИТЕТЫ КАК ПЛАТФОРМЫ ОЗЕЛЕНЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЭКОСИСТЕМ	63
Железняк И.А. РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ИДЕНТИФИКАЦИИ ЦИРКУЛИРУЮЩИХ ОПУХОЛЕВЫХ КЛЕТОК ПЕРИФЕРИЧЕСКОЙ КРОВИ ПАЦИЕНТОВ С РАКОМ ПРЕДСТАТЕЛЬНОЙ ЖЕЛЕЗЫ.....	68
Забелина А.В. СБОР, ТРАНСПОРТИРОВАНИЕ И УТИЛИЗАЦИЯ ОТХОДОВ, СОДЕРЖАЩИХ ОРГАНО-МИНЕРАЛЬНУЮ ФРАКЦИЮ, В СООТВЕТСТВИИ С ПРИНЦИПАМИ ЦИРКУЛЯРНОЙ ЭКОНОМИКИ	72
Земерова Т.П., Рубель М.С. РАЗРАБОТКА МУЛЬТИПЛЕКСНОЙ ТЕСТ-СИСТЕМЫ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ПАТОГЕНОВ ЧЕЛОВЕКА НА ОСНОВЕ БИНАРНЫХ ДЕЗОКСИРИБОЗИМОВ.....	75
Иванов Л.В., Кравченко Д.В., Михеенкова А.А. МЕТОДИКА ПОДБОРА ТИПА И ФОРМЫ ПРОДУКТОВОГО КРИОГЕННОГО ТАНКА СПГ ДЛЯ РЕЧНОГО ТАНКЕРА	79
Иванова Д.И. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СОСТАВА ПИТАТЕЛЬНЫХ СРЕД ДЛЯ МИКРОКЛОНАЛЬНОГО РАЗМНОЖЕНИЯ КАРТОФЕЛЯ	82
Калашникова Л.И. АНАЛИЗ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАКОНОДАТЕЛЬНОЙ ОСНОВЫ ДЛЯ ВНЕДРЕНИЯ ОЖЦ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ	85

Камара С. СОЛНЕЧНЫЕ КОЛЛЕКТОРЫ КОМБИНИРОВАННОГО ТИПА	89
Карпова Н.Г., Хамзина А.М. СТРАТЕГИЯ РОССИИ ПО ОТКАЗУ ОТ ОЗОНОРАЗРУШАЮЩИХ ВЕЩЕСТВ И ПЕРЕХОДУ НА АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ХЛАДАГЕНТЫ.....	95
Киляшов А.А. АНАЛИЗ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕПЛООВОГО КОНТАКТНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ОРЕБРЕННЫХ БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ТРУБ АППАРАТОВ ВОЗДУШНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ.....	100
Кузнецова А.П. ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ БИОРАЗЛОЖЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ В УСЛОВИЯХ КОМПОСТИРОВАНИЯ.....	104
Забелина А.В., Кузнецова Е.А. ОЦЕНКА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ПРЕВРАЩЕНИЯ ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ В ЭНЕРГИЮ	108
Курбонова М.К. СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ ПО ИССЛЕДОВАНИЮ ЭКЗОПОЛИСАХАРИДОВ БАКТЕРИЙ РОДА <i>LACTOBACILLUS</i>	111
Лихолитов Д.С., Зайцев А.В. СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ ИЗВЛЕЧЕНИЯ С2+ И С3+ КОМПОНЕНТОВ ИЗ ПРИРОДНОГО ГАЗА	114
Лоскутова А., Кузнецова К. ВЛИЯНИЕ СОСТАВА СУБСТРАТА НА КАЧЕСТВЕННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЛИЧИНОК МУХ ЧЕРНАЯ ЛЬВИНКА <i>HERMETIA ILLUCE</i> В ПРОЦЕССЕ КУЛЬТИВИРОВАНИЯ.....	117
Мальгинова Н.А., Фахртдинова С.З., Тюрикова Е.П. ДЕТЕКТОРЫ ФРЕОНОВ В БАЗЕ ЕВРОПЕЙСКОГО ПАТЕНТНОГО ВЕДОМСТВА ESPACENET	124
Машина Е.А., Мушенцова М.В. ПОДГОТОВКА ДАННЫХ ДЛЯ ПРЕДОБУЧЕНИЯ НЕЙРОСЕТИ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ СОСТАВА ПАХОТНОГО ГОРИЗОНТА АВТОМАТИЗИРОВАННЫМ МЕТОДОМ ФИТО-ИНДИКАЦИИ	127
Молдованов Д.В. ОБЗОР ЭКСТРУДИРОВАННЫХ СНЕКОВ: ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ ОБРАБОТКИ	131
Нежурин Е.В. ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ХАБ - СИСТЕМА ЭФФЕКТИВНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭНЕРГИИ.....	135
Пичугина К.А. ВЫЯВЛЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЗНАЧИМЫХ АСПЕКТОВ В ЖИЗНЕННОМ ЦИКЛЕ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО МОДУЛЯ	138
Предко К. ВНЕДРЕНИЕ НДТ ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОГО ОБРАЩЕНИЯ С ОТХОДАМИ СТРОИТЕЛЬСТВА И СНОСА.....	142
Пухальская. Т.В., Чулпанова. Д.С. МЕЗЕНХИМНЫЕ СТВОЛОВЫЕ КЛЕТКИ СО СВЕРХЭКСПРЕССИЕЙ TRAIL ИНДУЦИРУЮТ АПОПТОЗ В КЛЕТКАХ МЕЛАНОМЫ ЧЕЛОВЕКА <i>IN VITRO</i>	146
Румянцева В.И. ЭФФЕКТИВНЫЕ 3D-СТРУКТУРЫ ДЛЯ РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩЕГО ПРОИЗВОДСТВА ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПРОДУКТОВ.....	151
Санкина Ю.Н. АНАЛИЗ ПРОЦЕССА СТРАТИФИКАЦИИ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА В ПОМЕЩЕНИИ.....	155
Середенко Е.С. ВЫБОР ЭФФЕКТИВНОЙ КОНСТРУКЦИИ И ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ РЕЗЕРВУАРА ДЛЯ ХРАНЕНИЯ СПГ	160
Тонкова К.В. ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ, СВЯЗАННЫЕ СО СНИЖЕНИЕМ ПЛАТЫ ЗА НЕГАТИВНОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ, ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СВАЛОЧНОГО ГАЗА В КАЧЕСТВЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМОГО ИСТОЧНИКА ЭНЕРГИИ.....	164
Фахртдинова С.З., Тюрикова Е.П., Мальгинова Н.А., Тимофеева И.В. ГАЗОАНАЛИЗАТОРЫ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОСТАВА ВЕЩЕСТВА В ПАТЕНТНОЙ БАЗЕ США	168

Фомина Е.А., Суздальцева О.А. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЯЗКОСТНЫХ СВОЙСТВ И ЭНЕРГИИ АКТИВАЦИИ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ СВЕКЛОВИЧНОЙ МЕЛАССЫ В ШИРОКОМ ДИАПАЗОНЕ ТЕМПЕРАТУР И СКОРОСТЕЙ СДВИГА.....	172
Халиманчик А.О., Зайцев А.В. ВЫБОР РЕЖИМА РАБОТЫ УСТАНОВКИ СЖИЖЕНИЯ ПРИРОДНОГО ГАЗА НА БАЗЕ ДРОССЕЛЬНО-ДЕТАНДЕРНОГО ЦИКЛА.....	177
Хамзина А.М., Карпова Н.Г., Быковская Е.А. НАИЛУЧШИЕ СИСТЕМЫ И УСТРОЙСТВА ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ ФРЕОНОВ, ОТРАЖЕННЫЕ В РОССИЙСКОЙ ПАТЕНТНОЙ БАЗЕ	180
Чаплина А.А. АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В ТЕХНОЛОГИИ КОНДИТЕРСКИХ ИЗДЕЛИЙ	184
Шанин В.А., Леу А.Г. РАЗРАБОТКА ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ЭКСТРАКЦИИ	187
Шевченко М.А. ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПОЛИГОНА ТБО НА КАЧЕСТВО ГРУНТОВЫХ ВОД... ..	190
Трансляционные информационные технологии.....	194
Андреева П.О. ИССЛЕДОВАНИЕ ФУНКЦИЙ ПОТЕРЬ ДЛЯ МЕТОДОВ ОБУЧЕНИЯ ВЕКТОРНЫХ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ НА ГРАФОВЫХ ДАННЫХ	195
Блудов В.А. ГИБРИДНЫЙ МУРАВЬИНЫЙ АЛГОРИТМ ПОСТРОЕНИЯ ПУТИ РОБОТА В СЛОЖНОЙ СРЕДЕ	200
Бокарева А.А. РАЗРАБОТКА И ПЕРСПЕКТИВЫ ВНЕДРЕНИЯ НОВОГО ЭФФЕКТИВНОГО СПОСОБА ПОЛУЧЕНИЯ ДАННЫХ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ПРЕДИКТОРОВ ТЕЧЕНИЯ ВТОРИЧНЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ ПРИ COVID-19	205
Волков А.А. АГРЕГАЦИЯ ГЕТЕРОГЕННЫХ ИСТОЧНИКОВ ДАННЫХ В СИСТЕМЕ УМНОГО ГОРОДА	208
Глухов В.Н. ОБЗОР ТЕКУЩЕГО СОСТОЯНИЯ МУЛЬТИВАРИАТИВНЫХ МЕТОДОВ И АЛГОРИТМОВ ОТБОРА ПРИЗНАКОВ, ОСНОВАННЫХ НА АНСАМЛЯХ	214
Евсеева Е.С. РЕАЛИЗАЦИЯ МОДЕЛИ ДЛЯ ПОДСЧЕТА ЧИСЛА ДИКТОРОВ НА ОСНОВЕ РЕКУРРЕНТНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ	217
Егорова Е.В. МОДЕЛЬ ЭМОЦИОНАЛЬНОГО АНАЛИЗА РУССКОЯЗЫЧНЫХ ТЕКСТОВ	221
Иванов Е.А. ЯЗЫК ВИЗУАЛЬНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ ДЛЯ СОСТАВЛЕНИЯ ВЫРАЖЕНИЙ КАК ЧАСТЬ ЯЗЫКА ВИЗУАЛЬНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ НА ОСНОВЕ ВИЗУАЛЬНОЙ ГРАММАТИКИ	226
Мамаев Н.К. ОБУЧЕНИЕ НЕЦЕЛЕОРИЕНТИРОВАННОЙ НЕЙРОННОЙ ДИАЛОГОВОЙ МОДЕЛИ НА ОСНОВЕ GPT-2	229
Матвеев Г.А. СОЗДАНИЕ ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ УГЛУБЛЕННОГО ПОИСКА ЛЮДЕЙ В СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЯХ.....	232
Наумов Р.К. СПОСОБЫ КЛАСТЕРИЗАЦИИ ДАННЫХ СРЕДСТВАМИ СУБД.....	236
Низомутдинов Б.А., Углова А.Б. АНАЛИЗ ЦЕННОСТНО-СМЫСЛОВЫХ АСПЕКТОВ ВОСПРИЯТИЯ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯМИ СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЕЙ.....	241
Пац К.М. КЛАСТЕРИЗАЦИЯ НА ОСНОВЕ СТРУКТУРНЫХ ДЕСКРИПТОРОВ ДЛЯ ПОИСКА ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ В СТРУКТУРАХ РЕЦЕПТОРА ВИТАМИНА D.....	245
Пинаев З.А. АВТОМАТИЧЕСКИЙ ВИДЕОКОНТРОЛЬ СОСТОЯНИЯ БДИТЕЛЬНОСТИ ВОДИТЕЛЯ.....	248
Полевода К.Д., Царёв Д.В. АГЕНТНО-ОРИЕНТИРОВАННАЯ МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ КОЛЛЕКТИВНЫХ ЭМОЦИЙ В СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЯХ	252

Рыбин А.С. АНАЛИЗ ПОДХОДОВ К ОБРАБОТКЕ И АНАЛИЗУ ТЕКСТОВ, СОДЕРЖАЩИХ МАТЕМАТИЧЕСКИЕ ВЫРАЖЕНИЯ.....	257
Сайтов И.А., Гороховатский Л.Ю. АНАЛИЗ ВЗАИМОСВЯЗИ ЛИЧНОСТНЫХ ЧЕРТ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ И ИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ В СОЦИАЛЬНОЙ СЕТИ.....	261
Самигулин Т.Р. РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМА АНАЛИЗА ТОНАЛЬНОСТИ ТЕКСТА В ЧАТЕ ВИДЕОКОНФЕРЕНЦСВЯЗИ	266
Тимофеева Е.П. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕРЕКРЫТИЙ В РЕЧИ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДОВ COUNTNET И PYANNOTATE.AUDIO.....	270
Щепина Е.К., Егорова Е.В., Федотов П.А. МУЛЬТИМОДАЛЬНОЕ ПРОСТРАНСТВО ИНТЕРЕСОВ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ В СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЯХ	274
Ян Ци CROSS-SOURCE MULTI-VIEW LEARNING FOR PERSONALITY PROFILING	280
Фотоника.....	284
Адам Ю.А. АЛГОРИТМ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ ФАНТОМНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА БЕГУЩЕЙ СТРОКИ	285
Ахмеров А.Х. ГЕОМЕТРИЧЕСКИЙ МЕТОД ФИЛЬТРАЦИИ ОПОРНЫХ ТОЧЕК ДЛЯ РАЗНОРАКУРСНОГО КОМПЛЕКСИРОВАНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ ЛОПАТОК ПАРОВЫХ ТУРБИН	288
Беляков Н.А., Козырева О.А.СИСТЕМА ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ SCREEN-CAMERA.....	295
Быков Д.И. ПОДБОР ОПТИЧЕСКОГО ЦВЕТНОГО СТЕКЛА ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЕГО В СИСТЕМЕ ТРЁХЦВЕТНОГО ИНДИКАТОРА ВИЗУАЛЬНОЙ ГЛИССАДЫ	300
Виссарионова Е.С., Аксарин С.М. ИССЛЕДОВАНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИАГРАММЫ НАПРАВЛЕННОСТИ ВОЛОКНА С ЭЛЛИПТИЧЕСКОЙ СЕРДЦЕВИНОЙ С СИЛЬНО ЛЕГИРОВАННОЙ СЕРДЦЕВИНОЙ С 20% МОЛЬ GeO ₂	304
Ворожцова Ю.С., Слободов А.А., Усманова Ф.Г. АНАЛИЗ ПРИЧИН ОБРАЗОВАНИЯ ГАЗОВЫХ ГИДРАТОВ И ВЫБОР ЭФФЕКТИВНЫХ ИНГИБИТОРОВ ДЛЯ ЕГО ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ	310
Козлова О.К., Цяо Сюаньлинь РАЗРАБОТКА И АНАЛИЗ ОПТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ САДОВО-ПАРКОВОГО СВЕТИЛЬНИКА	314
Кокорина О.О. УПРАВЛЕНИЕ УГЛОВОЙ ОРИЕНТАЦИЕЙ ДВУХАТОМНОЙ ЗАРЯЖЕННОЙ СТРУКТУРЫ В КВАДРУПОЛЬНОМ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОМ ПОЛЕ.....	317
Лаушкина А.А., Рослякова С.В., Брагина Т.В., Землянова Е. И. ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ КОРРЕЛИРОВАННЫХ ЦВЕТОВЫХ ТЕМПЕРАТУР И ОСВЕЩЕННОСТИ НА ПСИХОЭМОЦИОНАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ ЧЕЛОВЕКА В ОФИСНОМ ПРОСТРАНСТВЕ	323
Морозова П.А., Тучин В.С., Костерной И.А. ДЕМОНСТРАЦИЯ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА АНСАМБЛЬ ЧАСТИЦ В ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКОЙ ЛОВУШКЕ	329
Нигаматдянов М.Г., Чиркунова Н.В. НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ АНОДОВ ЛИТИЙ-ИОННЫХ АККУМУЛЯТОРОВ	333
Паншин И.В. ПРИНЦИПЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ КООРДИНАТ ОБЪЕКТА ПО ИЗОБРАЖЕНИЮ С МАТРИЧНОГО ПРИЁМНИКА.....	337
Пихота Н.С. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАБОЧЕЙ ДЛИНЫ ВОЛНЫ ИЗЛУЧАТЕЛЯ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ЛАЗЕРНО-ТРАНСМИССИОННОГО МЕТОДА ОБОГАЩЕНИЯ АЛМАЗНОГО СЫРЬЯ	340
Родикова Л.С. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОЙ СИСТЕМЫ ВИДЕОЭНДОСКОПИРОВАНИЯ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ИЗНОСА ЛОПАТОК ПАРОВЫХ ТУРБИН НА ЗАКРЫТОМ ЦИЛИНДРЕ	343
Романова А.В., Рудый С.С. РАДИАЛЬНЫЕ КУЛОНОВСКИЕ КРИСТАЛЛЫ В ЛИНЕЙНЫХ РАДИОЧАСТОТНЫХ ЛОВУШКАХ.....	347

Смотрова Е.Е. ОБРАБОТКА ВОЛНОВОГО СОБЫТИЯ 11 НОЯБРЯ 2013 ГОДА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ МИССИИ VAN ALLEN PROBE.....	352
Хлынов Р.Д., Рыжова В.А. РАЗРАБОТКА ПОЛЯРИЗАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ КОНТРОЛЯ УРОВНЯ ГЕМАТОКРИТА	358
Чистякова А.Д. РАЗРАБОТКА СТЕНДА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОЛЯРИЗАЦИОННОГО МЕТОДА КОНТРОЛЯ ВЗАИМНОЙ УГЛОВОЙ ОРИЕНТАЦИИ ОБЪЕКТОВ	363

Сборник трудов X Конгресса молодых ученых Том 2

Редакционно-издательский отдел Университета ИТМО

Зав. РИО

Дизайн обложки

Вёрстка

Подписано к печати 16.12.2021

Заказ № 4531 от 16.12.2021

Тираж 100 экз.

Печатается в авторской редакции

Н.Ф. Гусарова

Н.О. Терещенко

К.Д. Бутылкина