

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

**Сборник трудов
VII Конгресса молодых ученых**

Том 1



УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

Санкт-Петербург

2018

Сборник трудов VII Конгресса молодых ученых. Том 1. – СПб.: Университет ИТМО, 2018. – 307 с.

В данном издании публикуются работы по направлениям: компьютерные технологии и управление; фотоника, представленные в рамках VII Конгресса молодых ученых, который состоялся 17–20 апреля 2018 года в Университете ИТМО.

ISBN 978-5-7577-0598-9

ISBN 978-5-7577-0599-6 (Том 1)



УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

Университет ИТМО – ведущий вуз России в области информационных и фотонных технологий, один из немногих российских вузов, получивших в 2009 году статус национального исследовательского университета. С 2013 года Университет ИТМО – участник программы повышения конкурентоспособности российских университетов среди ведущих мировых научно-образовательных центров, известной как проект «5 в 100». Цель Университета ИТМО – становление исследовательского университета мирового уровня, предпринимательского по типу, ориентированного на интернационализацию всех направлений деятельности.

© Университет ИТМО, 2018

© Авторы, 2018

Направление

**КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
И УПРАВЛЕНИЕ**

**Акимов Сергей Владимирович**

Год рождения: 1996

Университет ИТМО, факультет безопасности информационных технологий, кафедра проектирования и безопасности компьютерных систем, студент группы № N4160

Направление подготовки: 11.04.03 – Проектирование электронных средств в защищенной интегрированной среде

e-mail: sergeyakim12@mail.ru

**Кузнецов Александр Юрьевич**

Год рождения: 1989

Университет ИТМО, факультет безопасности информационных технологий, кафедра проектирования и безопасности компьютерных систем, к.т.н., доцент

e-mail: al.ur.kouznetsov@gmail.com

УДК 681.586.54

АКУСТООПТИЧЕСКИЕ ДАТЧИКИ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В РАЗЛИЧНЫХ УСТРОЙСТВАХ И ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКЕ**Акимов С.В.¹****Научный руководитель – к.т.н., доцент Кузнецов А.Ю.¹**¹Университет ИТМО

Работа выполнена в рамках темы НИР № 617026 «Разработка методов интеллектуального управления киберфизическими системами с использованием квантовых технологий».

В работе рассмотрены действия акустооптических датчиков, а именно – акустооптические эффекты, а также примеры использования акустооптических устройств в различных приборах и информационно-измерительных системах.

Ключевые слова: акустооптика, датчики, акустооптический эффект, лазерные сканирующие микроскопы, измерительные системы для измерения температуры.

Введение. Развитие высокопроизводительных технологических процессов и их автоматизация требуют создания большого количества разнообразных преобразователей физических величин с высокими метрологическими характеристиками и расширенными функциональными возможностями. В технике в настоящее время используется множество преобразователей линейных перемещений, основанных на различных физических эффектах. Однако они не в полной мере отвечают комплексу возросших требований к преобразователям перемещений в отношении простоты, надежности, точности и т.д. В то же время в зарубежной и отечественной практике все больше используются преобразователи, основанные на акустооптическом эффекте.

Акустооптика – это раздел науки, изучающей взаимодействия электромагнитных и акустических волн и их применение в технике [1]. Наиболее интенсивно акустооптика развивается с 60-х годов XX века в связи с появлением оптических квантовых генераторов и новых акустических материалов, и в настоящее время акустооптика получила новый толчок к развитию в связи с использованием акустооптических устройств в волоконно-оптических линиях связи.

Акустооптические устройства широко применяются в информационно-измерительной технике, телекоммуникациях, устройствах оптической обработки информации, научных исследованиях и т.д. [2].

Целью работы стало рассмотрение принципов действия акустооптических датчиков, а именно – акустооптические эффекты, а также примеров использования акустооптических устройств в различных приборах и информационно-измерительных системах.

Действие акустооптических датчиков основано на использовании акустооптических эффектов. Акустооптический эффект – это явление дифракции, преломления, отражения или рассеяния света на периодических неоднородностях среды (зонах с разными показателями преломления), вызванных упругими деформациями при прохождении ультразвука [3].

Акустооптические эффекты бывают двух типов.

1. Акустооптический эффект Рамана–Ната. При низкой частоте ультразвука и малой ширине фронта (длине взаимодействия) ультразвуковой волны возникает дифракция Рамана–Ната. Этот тип дифракции наблюдается при произвольных углах падения света на акустооптическую ячейку, а дифракционная картина может содержать много дифракционных максимумов с симметричным распределением интенсивности света.
2. Акустооптический эффект Керра. Если частота ультразвука высока и длина взаимодействия велика, то происходит дифракция Брэгга. Она наблюдается на высоких частотах ультразвука, обычно превышающих 100 МГц. Дифракционная картина даже при большой акустической мощности состоит только из двух дифракционных максимумов нулевого и первого порядков. Однако даже эти максимумы появляются только при определенных углах падения света вблизи так называемого угла Брэгга.

Обязательным условием возникновения рассматриваемого эффекта Керра, также как вышерассмотренного эффекта Рамана–Ната, является наличие ультразвуковой волны, излучаемая пьезоэлементом.

Материалы, в которых имеет место акустооптический эффект носят название акустооптических материалах. Среди жидкостей в большинстве экспериментов используется вода. Среди твердых тел наиболее удобны для использования различные стекла и кристаллы [3].

На основе акустооптических эффектов создаются датчики линейных и угловых перемещений, давления, температуры, газоанализаторы.

Основными преимуществами акустооптических преобразователей являются: сравнительная простота исполнения, компактность, высокая устойчивость к химическому загрязнению окружающей среды, возможность работы в агрессивных средах при высоких давлениях, универсальность, длительный срок службы, отсутствие механического контакта с исследуемой поверхностью, высокая надежность и точность.

К недостаткам следует отнести сравнительно высокую стоимость и сложность монтажа.

Можно сказать, что акустооптические датчики являются ключом к воплощению Индустрии 4.0 в промышленную технологию. Так как для успешного превращения «Индустрии 4.0» из концепции в реальность в значительной степени зависит от качества данных, собираемых и распределяемых среди компонентов цифровой производственной системы. Этого можно достичь с помощью датчиков, выдающих оперативные данные о состоянии технологического процесса и задействованных в нем машин и оборудования [4].

Рассмотрим примеры использования акустооптических устройств в различных приборах и информационно-измерительных системах.

Лазерные сканирующие микроскопы на основе термостабилизированных акустооптических перестраиваемых фильтров в ближайшее время получат широкое распространение для исследования в области биологии, медицины, материаловедения.

Эти микроскопы представляют собой единый комплекс из базового микроскопа, сканирующего модуля, лазерного модуля, электронного модуля управления и компьютерной Hi-End системы. В качестве примера можно привести конфокальный лазерный сканирующий микроскоп LSM 800 (рис. 1) [5], который позволяет получать изображения самого высокого качества.



Рис. 1. Общий вид конфокального лазерного сканирующего микроскопа LSM 800

Устройство прибора для определения дефектов подложки представлен на рис. 2 [1]. Прибор состоит из: лазера дальней области ультрафиолетового излучения (1), лазера видимого излучения (2), расщепителей электронного пучка (3–9, 14–17, 21, 22), акустооптических модуляторов (10–13), пластины (18) с микроканалом, лазерного сканирующего модуля (19), оптического детектора (20), линз (23, 26), фотокамеры (24), блока обработки информации (25), предметного столика (27) с расположенным на нем объектом контроля.

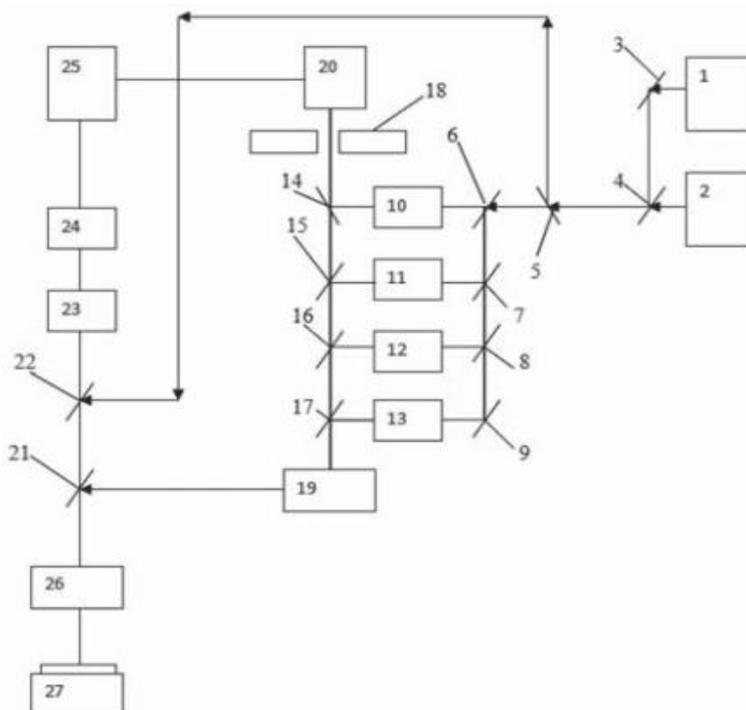


Рис. 2. Схема прибора для определения дефектов подложки

Схема измерительной системы для измерения температуры представлена на рис. 3 [1]. Система содержит источник освещения (1) в виде перестраиваемого лазера, испускающего свет в двух различных длинах волн, а также преобразователь, имеющий оптическую длину пути, которая изменяется как функция температуры.

Преобразователь содержит: изолятор (2), акустооптическую ячейку Брэгга (3), пьезопреобразователь (4), генератор (5), расщепители электронного пучка (7, 13), линзы (8, 10), зеркала (6, 9, 11, 16–18), пространственный фильтр (12), эталонные оптические измерительные микросхемы (19–21) на основе SiC (карбида кремния), фотодиод (14), фильтр (15). Данная измерительная система благодаря использованию эталонных оптических измерительных систем на основе SiC может также использоваться для измерения давления, химических и биологических измерений, а при нанесении на поверхность монокристалла SiC пористых пленок возможно использование в качестве газоанализатора.

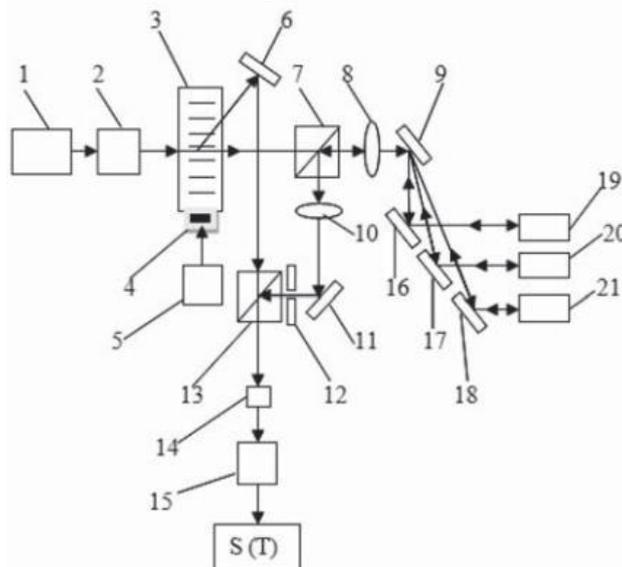


Рис. 3. Схема измерительной системы для измерения температуры

В результате выполнения работы можно сделать выводы, что акустооптические датчики и устройства на акустооптическом эффекте являются высокоточными приборами, область применения которых в будущем будет значительно расширена. Можно сказать, что акустооптические датчики являются одним из ключей к воплощению Индустрии 4.0 в промышленную технологию.

Литература

1. Ваджаев К.В. Акустооптические устройства и их применение в приборах и информационно-измерительных системах // Нефтегазовое дело. – 2012. – Т. 10. – С. 148–151.
2. Ваджаев К.В. Акустооптические преобразователи линейных перемещений: Моделирование и исследование основных характеристик. – Уфа: Уфимский государственный авиационный технический университет, 2003. – 148 с.
3. Акустооптический эффект [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://moslaserlab.narod.ru/information/Acoustooptic_effect_article_rus.pdf, своб.
4. Кнеллер В.Ю. Для осуществимости Индустрии 4.0 необходимо развитие датчиков // Датчики и системы. – 2015. – № 6. – С. 56.
5. Лазерный сканирующий микроскоп ZEISS LSM 800 с технологией Airyscan [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.optecgroup.com/upload/iblock/ab4/Брошюра%20LSM_800.pdf, своб.

**Баев Пётр Альбертович**

Год рождения: 1997

Университет ИТМО, факультет систем управления и робототехники, кафедра систем управления и информатики, студент группы № Р3335

Направление подготовки: 15.03.06 – Мехатроника и робототехника

e-mail: petry322lol@gmail.com

**Осинкин Егор Александрович**

Год рождения: 1997

Университет ИТМО, факультет систем управления и робототехники, кафедра систем управления и информатики, студент группы № Р3335

Направление подготовки: 15.03.06 – Мехатроника и робототехника

e-mail: egoros97@yandex.ru

**Зенкин Артемий Михайлович**

Год рождения: 1997

Университет ИТМО, факультет систем управления и робототехники, кафедра систем управления и информатики, студент группы № Р3335

Направление подготовки: 15.03.06 – Мехатроника и робототехника

e-mail: zenkinartem1997@gmail.com

УДК 004.896

**ПЛАНИРОВАНИЕ ПУТИ И ТРАЕКТОРИИ ДВИЖЕНИЯ
ДЛЯ КВАДРОКОПТЕРА****Баев П.А.¹, Осинкин Е.А.¹, Зенкин А.М.¹****Научный руководитель – к.т.н. Капитонов А.А.¹**¹Университет ИТМО

В работе рассмотрены основные алгоритмы поиска пути и избегания столкновений, применимые для квадрокоптера, находящегося в динамической среде, а также основной инструментарий, с помощью которого реализуется поставленная задача. Квадрокоптер, следуя траектории, построенной с помощью глобального планировщика, в это же время избегает динамические препятствия, благодаря локальному планировщику.

Ключевые слова: поиск пути, избегание столкновений, алгоритмы, робототехника, квадрокоптер, Rapidly Exploring Random Tree, Dynamic Window Approach.

Одна из основных задач робототехники – планирование траектории и динамики движения (path & motion planning). Существуют различные алгоритмы и подходы для ее решения. В качестве объекта управления был выбран дрон Parrot ARDrone 2.0, который предположительно должен выполнять задачи в высоконагруженной, динамически изменяемой среде [1, 2].

Учитывая вышеупомянутое обстоятельство, предложен подход с использованием метода «каскадного программирования», в котором планирование движения разбивается на подзадачи: непосредственно планирование пути до цели, планирование траектории движения, избегание столкновений (рис. 1). Каждый последующий шаг в

последовательности выполняется с большей частотой, чем предыдущие, что позволяет делегировать выполнение поставленной выше задачи на все нижележащие уровни для достижения желаемого быстродействия, а также эффективного использования памяти [3].

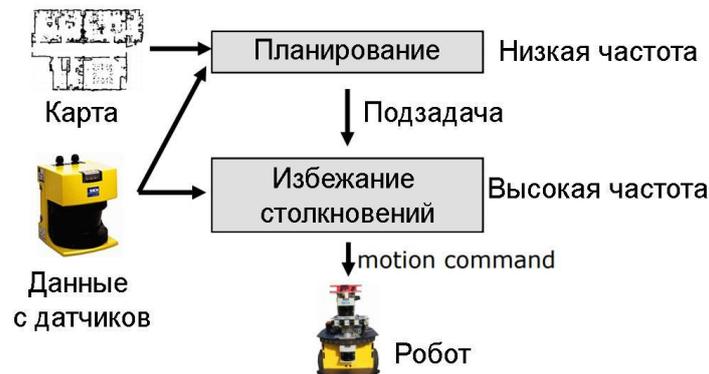


Рис. 1. Общая схема работы

Благодаря данным, полученным с помощью сенсоров: высокочастотная фронтальная камера дрона, ультразвуковой сенсор, установленных на ARDrone, будут построены необходимые карты местности с помощью алгоритмов SLAM.

Облако точек, полученное в результате картирования можно рассматривать как карту препятствий при планировании движения робототехнического устройства. В данной работе был использован монокулярный SLAM (Monocular SLAM) в виду технических характеристик дрона: наличие только одной камеры, низкая грузоподъемность [4].

Если в качестве глобального планировщика (global planner) будет выбран стандартный алгоритм поиска (например: A* или D*), работающий со связными графами, то необходимо преобразовать полученную карту в подходящий формат (дискретизировать пространство состояний). Алгоритмы поиска на графах могут находить как оптимальные траектории за экспоненциальное время, так и неоптимальные траектории за более короткое время [3].

Но есть и альтернативный вариант: выбрать алгоритм по типу RRT* (Rapidly Exploring Random Tree), не требующий форматирования данных об окружении, а готового к работе с картой, представленной как есть, в «сыром» виде, так как они способны работать в непрерывном пространстве состояний, но пути, найденные с их помощью, не будут являться оптимальными в любом случае. Тем не менее, данный класс алгоритмов показывает наиболее высокую производительность, поэтому и был выбран его представитель.

RRT – это алгоритм, предназначенный для эффективного поиска путем построения дерева случайного заполнения. Дерево строится поэтапно, добавляя новые узлы, выбранные из рабочей области, и по своей природе смещается, чтобы расти в сторону более неизведанных областей.

На каждой итерации быстро исследующее случайное дерево (RRT) пытается расширяться, добавляя новые вершины (рис. 2). Алгоритм выбирает вершину, которая уже входит в состав дерева, ближайшую к целевой конфигурации q . Затем алгоритм приближается к q на некоторое фиксированное расстояние E и проверяет перемещение и состояние на допустимость. В результате работы возможно возникновение трех ситуаций: Reached: q напрямую добавлено в дерево, потому что оно находится не дальше E от выбранной вершины и достижимо из нее; Advanced: новое состояние q_{new} не равно q добавлено в дерево; Trapped: предложенная вершина отклонена, так как она не принадлежит C_{free} или недостижима из нее по кратчайшему пути.

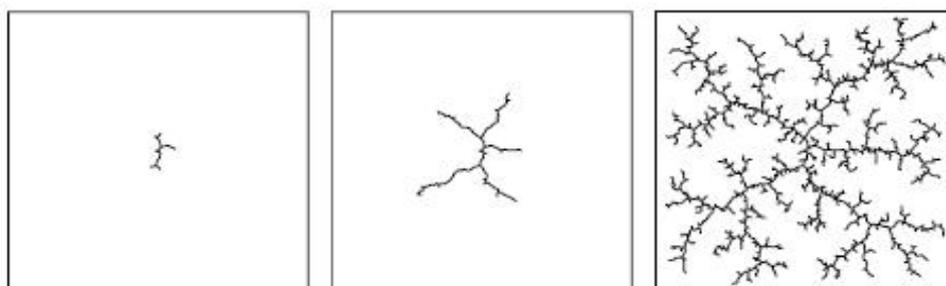


Рис. 2. Пример работы RRT*

Показан рост дерева допустимых положений робота в 2D-пространстве и переходы между ними.

И на низком уровне данной системы работает Dynamic Window Approach (рис. 3).

Это метод, разработанный для избежания столкновений в ограниченном пространстве состояний с учетом динамики робота. Следуя полученному пути с помощью глобального планировщика, выбирается траектория с наибольшим весом, вычисленной по функции: $NF = \alpha \cdot vel + \beta \cdot nf + \gamma \cdot \Delta nf + \delta \cdot goal$ [3, 5].

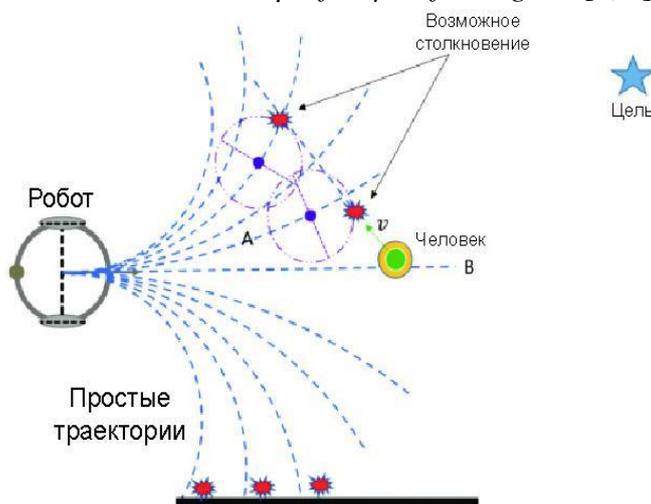


Рис. 3. Иллюстрация работы алгоритма DWA (Dynamic Window Approach)

Литература

1. Potyagaylo S., Rand O., Kanza Y. Motion Planning for an Autonomous Helicopter in a GPS-denied Environment [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.225.4521&rep=rep1&type=pdf>, своб.
2. Wang X.B. et al. Obstacles Avoidance for UAV SLAM Based on Improved Artificial Potential Field // Applied Mechanics and Materials. – 2013. – V. 241–244. – P. 1118–1121.
3. Bullo F., Smith S.L. Lectures on Robotic Planning and Kinematics [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://motion.me.ucsb.edu/book-lrpk/pdfs/LecturesPlanningKinematics-FB+SLS-v0.91.pdf>, своб.
4. Tateno K., Tombari F., Laina I. and Navab N. CNN-SLAM: Real-time dense monocular slam with learned depth prediction [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://openaccess.thecvf.com/content_cvpr_2017/papers/Tateno_CNN-SLAM_Real-Time_Dense_CVPR_2017_paper.pdf, своб.
5. Hagelbäck J. Multi-Agent Potential Field Based Architectures for Real-Time Strategy Game Bots [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:835046/FULLTEXT01.pdf>, своб.

**Белов Роман Дмитриевич**

Год рождения: 1999

Университет ИТМО, факультет безопасности информационных технологий, кафедра проектирования и безопасности компьютерных систем, студент группы № N3147

Направление подготовки: 10.03.01 – Информационная безопасность

e-mail: varlex99@yandex.ru

**Мухаметшина Анастасия Валерьевна**

Год рождения: 1992

Университет ИТМО, центр сопровождения инклюзивного образования

e-mail: anastasia_.92@bk.ru

**Гнездилова Светлана Александровна**

Год рождения: 1976

Университет ИТМО, центр сопровождения инклюзивного образования

e-mail: gnesvetlana@yandex.ru

sagnezdilova@corp.ifmo.ru

УДК 378.14**АССИСТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, УЛУЧШАЮЩИЕ КАЧЕСТВО ЖИЗНИ ЛЮДЕЙ С ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ ЗДОРОВЬЯ****Белов Р.Д.¹, Мухаметшина А.В.¹****Научный руководитель – к.т.н. Гнездилова С.А.¹**¹Университет ИТМО

В работе рассмотрен предмет ассистивных технологий (разнообразных средств и услуг, предназначенных для того, чтобы поддерживать на прежнем уровне или повысить функциональные возможности и автономность людей с инвалидностью, тем самым способствуя повышению их качества жизни), функции, выполняемые с помощью данных технологий и важность ассистивных технологий в разрезе обучения.

Ключевые слова: ассистивные технологии, функциональные возможности, качество жизни, инклюзия, инвалидность, ограниченные возможности здоровья.

Цель работы – выявить значимость ассистивных технологий в процессе получения высшего образования.

Задачи: провести аналитический обзор источников информации по теме статьи; рассмотреть основные виды ограничений здоровья, а также технологий и средств, предназначенных для их преодоления; выделить ассистивные технологии и средства, используемые для создания и организации доступной среды в сфере высшего образования.

По данным мировой статистики около 23% от всего населения планеты являются людьми, имеющих инвалидность, что, в общей сложности, составляет более 1 млрд людей. Всемирная организация здравоохранения отмечает ежегодную тенденцию



Рис. 2. Трость для слепых и слабовидящих (а); подъемник на гусеничном ходу (б)

Существует большое количество разделений по различным видам инвалидности, в том числе существует разделение на четыре группы:

1. нарушения статодинамической функции (двигательной);
2. нарушения функций кровообращения, дыхания, пищеварения, выделения, обмена веществ и энергии, внутренней секреции;
3. сенсорные нарушения (зрения, слуха, обоняния, осязания);
4. психические (восприятия, внимания, памяти, мышления, речи, эмоций, воли) [2].

Для каждой отдельной группы людей существуют специальные ассистивные технологии, включающие в себя методики и средства, предназначенные для компенсации конкретных видов ограничений по здоровью.

Отдельно необходимо отметить значение использования ассистивных технологий в образовательном процессе. На сегодняшний день получение среднего и высшего профессионального образования лицами с инвалидностью и ОВЗ связано с рядом трудностей – это и отсутствие доступной среды в зданиях учебных организаций, и неготовность преподавательского и руководящего состава вносить коррективы в образовательные процессы для реализации обучения данной категории людей. По сведениям Центра занятости населения Санкт-Петербурга на 27.03.2018, процент лиц из числа инвалидов, имеющих высшее профессиональное образование, составил 44,1% или 5047 человек; доля лиц, имеющих среднее профессиональное образование, составила 36,5% или 4171 человек. Также необходимо отметить, что возможность получения среднего и профессионального образования инвалидами непосредственно зависит от уровня развития инклюзии (создания необходимых условий) в образовательных учреждениях.

Развитие ассистивных технологий для обучения способствует реализации инклюзивного образования на практике, как итог – совместное обучение людей с инвалидностью и ОВЗ с их сверстниками, не имеющими ограничений по здоровью. К ассистивным технологиям в образовательном процессе относятся устройства, программные и иные средства, использование которых позволяет расширить возможности лиц с особыми образовательными потребностями в процессе приема информации, их адаптации к условиям жизни и социальной интеграции [3]. Ассистивные технологии позволяют обеспечить равный доступ к образованию для всех обучающихся с учетом разнообразия особых образовательных потребностей.

В условиях инклюзивного образования меняется качество и эффективность этого образования, результативность освоения учебных дисциплин. Обучающиеся с особенностями развития и другими ограничениями по здоровью осваивают не только теоретические знания по предметам, но и окружающий мир и действительность. В связи с этим проблема совершенствования условий и механизмов обучения лиц с особыми образовательными потребностями, поиска и внедрения эффективных средств,

развивающих адекватные адаптивные возможности, обеспечивающих успешную адаптацию обучающихся в новых социальных условиях, в том числе в условиях образовательного пространства образовательного учреждения, является весьма актуальной [4].

Важно отметить, что развитие прикладных технических наук, в том числе разработка нового программного и аппаратного обеспечения, позволяет расширить функциональные возможности базовых ассистивных средств и разработать новые. Так, например, на современном рынке появляются такие устройства, как система ориентации «говорящий город», «умная одежда», универсальные средства передвижения, программные решения, позволяющие управлять компьютером или другой «умной» техникой через нейроинтерфейс.

Постоянное совершенствование ассистивных технологий помогает сделать шаг в сторону создания общества без барьеров и границ, где люди с инвалидностью могут самостоятельно участвовать в социальной и экономической жизни государства, заниматься научно-исследовательской, профессиональной и проектной деятельностью. Данные технологии позволяют лицам с инвалидностью самостоятельно справляться с трудностями, возникающими в повседневной жизни, полностью или частично вернуть утраченную свободу передвижения, получать качественное образование по востребованным специальностям, посещать культурно-массовые мероприятия, вести активное экономическое и социальное взаимодействие, расширять кругозор путешествуя.

Литература

1. Ерусланова Р.И. Технологии социального обслуживания лиц пожилого возраста и инвалидов на дому. Учебное пособие для бакалавров. – 5-е изд. – М.: Дашков и К, 2017. – 168 с.
2. Приказ Минтруда России от 17.12.2015 № 1024н (ред. от 05.07.2016) «О классификациях и критериях, используемых при осуществлении медико-социальной экспертизы граждан федеральными государственными учреждениями медико-социальной экспертизы» (Зарегистрировано в Минюсте России 20.01.2016 № 40650).
3. Карпов А.А. Ассистивные информационные технологии на основе аудиовизуальных речевых интерфейсов // Труды СПИИРАН. – 2013. – Вып. 4(27). – С. 114–129.
4. Гончаров В.Г., Подопригора В.Г., Гончарова С.И. Комплексное медико-психолого-педагогическое сопровождение лиц с ОВЗ в условиях непрерывного инклюзивного образования. – Красноярск: Сиб.фед.ун-т, 2014. – 248 с.

**Бондарева Анастасия Дмитриевна**

Год рождения: 1995

Университет ИТМО, факультет безопасности информационных технологий, кафедра проектирования и безопасности компьютерных систем, студент группы № N4154

Направление подготовки: 10.04.01 – Информационная безопасность

e-mail: Bondareva.AD@yandex.ru

**Созинова Екатерина Николаевна**

Год рождения: 1986

Университет ИТМО, факультет безопасности информационных технологий, кафедра проектирования и безопасности компьютерных систем, к.т.н., доцент

e-mail: s.ekaterina-nik@mail.ru

УДК 004.5**РИСКИ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В СИСТЕМАХ ТИПА
«УМНЫЙ ДОМ»****Бондарева А.Д.¹, Созинова Е.Н.¹****Научный руководитель – к.т.н., доцент Созинова Е.Н.¹**¹Университет ИТМО

Работа выполнена в рамках темы НИР № 617026 «Разработка методов интеллектуального управления киберфизическими системами с использованием квантовых технологий».

В работе осуществлен анализ и оценка рисков информационной безопасности автоматизированных систем управления зданием «Умный дом». Определен уровень исходной защищенности активов, оценены вероятности и опасности наступления угроз, степень их ущерба. В результате работы получена обобщенная оценка рисков информационной безопасности систем типа «Умный дом».

Ключевые слова: информационная безопасность, риск, Умный дом, свойство безопасности информации, автоматизированная система управления зданием.

«Умный дом» (УД) в настоящее время является набирающей популярность технологией, которая начинает повсеместно внедряться в жилые дома. Данная система представляет собой автоматизированную систему управления зданием [1], которая предназначена для модернизации жилого пространства владельца системы за счет автоматизации процессов управления всеми домашними устройствами. Так как на данный момент система является довольно дорогостоящей, то и позволить ее себе могут только обеспеченные люди, чьи активы представляют ценность для возможных нарушителей.

В целях определения меры возможного ущерба от реализации угроз безопасности информации (БИ) необходимо провести оценку рисков информационной безопасности (ИБ) УД для подготовки и принятия экономически обоснованных решений по защите информации в системах УД.

В соответствии с [2] уровень исходной защищенности автоматизированной системы управления зданием (АСУЗ), которой является система УД, определен как низкий. Показатели исходной защищенности приведены в табл. 1.

Таблица 1. Показатели исходной защищенности АСУЗ

Технические и эксплуатационные характеристики АСУЗ		Уровень защищенности
Показатель	Значение	
1. По территориальному размещению	Локальная АС, развернутая в пределах одного здания	высокий
2. По наличию соединения с сетями общего пользования	АС, имеющая многоточечный выход в сеть общего пользования	низкий
3. По встроенным (легальным) операциям с защищаемой информацией	модификация, передача	низкий
4. По разграничению доступа к данным	АС, к которой имеют доступ определенные пользователи УД и его владелец	средний
5. По наличию соединений с другими базами данных иных АС	АС, в которой используется одна база данных, принадлежащая владельцу УД	высокий
6. По уровню обобщения данных	АС, в которой предоставляемые пользователю данные не являются обобщенными	низкий
7. По объему данных, которые предоставляются сторонним пользователям без предварительной обработки	АС, не предоставляющая никакой информации	высокий

Таким образом, для эффективного решения задачи представляется целесообразным исследовать данную систему на всех уровнях устройств. В соответствии с ранее выделенными категориями защищаемой информации были определены типы информационных активов УД, представленные в табл. 2.

Таблица 2. Перечень типов информационных активов УД

Тип информационного актива	Свойства информационной безопасности		
	Конфиденциальность (К)	Целостность (Ц)	Доступность (Д)
Входная (выходная) информация		+	+
Критически важная технологическая информация	+	+	+
Личная информация пользователя (включая банковскую информацию)	+	+	+
Управляющая информация		+	+
Контрольно-измерительная информация		+	+

Так как объектом исследования является условная система «Умный дом», то невозможна полная конкретизация активов владельца системы и точная оценка материального ущерба от возможной реализации угроз информационной безопасности. Исходя из этого, невозможно провести количественную оценку риска ИБ такой системы. Следовательно, методика оценки риска должна быть качественной.

Однако для точного отражения всей опасности ситуации использования незащищенных систем, возможно оценить ущерб в процентном соотношении с активами владельца «Умного дома».

Оценка была произведена на основе методики оценки рисков нарушения информационной безопасности РС БР ИББС-2.2-2009 [3]. В соответствии с ней, информационные активы рассматриваются в совокупности с соответствующими им объектами среды. В данном случае информационными актива УД являются различные категории защищаемой информации, объектами среды – оборудование УД: устройства управления, контроллеры и исполнительные механизмы, а также помещение, в котором установлена АСУЗ. Результаты оценки рисков ИБ «Умного дома» приведены в табл. 3.

Таблица 3. Оценка рисков ИБ системы «Умный дом»

Объект угрозы	Способ реализации угроз ИБ	Нарушаемое свойство БИ	Оценка СВР угроз ИБ	Величина СВР _{кол}	Оценка СТП нарушения ИБ	Величина СТП _{кол}	Допустимость риска	Оценка РИБ	
Уровень операторского управления	Личная информация пользователя	Перехват информативного сигнала по каналу ПЭМИН от основных технических средств и систем (ОТСС)	К	Нереализуемая	0	Средняя	1,5%	Допустимый	0,0%
		Перехват информации по видовым техническим каналам утечки информации (ТКУИ)		Средняя	0,5	Минимальная	0,5%		0,3%
		Перехват информативного сигнала по ТКУИ с использованием закладных устройств		Нереализуемая	0	Средняя	1,5%		0,0%
		Несанкционированный доступ (НСД) к информации		Критическая	1	Высокая	3,0%	Недопустимый	3,0%
		Преднамеренное уничтожение информации	Д, Ц	Высокая	0,8	Средняя	1,5%		1,2%
		Непреднамеренное искажение или удаление информации		Критическая	1				1,5%
		Угроза перехвата данных,	К		Высокая	3,0%	3,0%		

Объект угрозы	Способ реализации угроз ИБ	Нарушаемое свойство БИ	Оценка СВР угроз ИБ	Величина СВР _{кол}	Оценка СТП нарушения ИБ	Величина СТП _{кол}	Допустимость риска	Оценка РИБ	
		передаваемых по вычислительной сети							
	Банковская информация	Перехват банковской информации при передаче через Интернет		Высокая	0,8			2,4%	
Уровень операторского управления	Банковская информация	Перехват информативного сигнала по каналу ПЭМИН от ОТСС	К	Нереализуемая	0	Высокая	3,0%	Допустимый	0,0%
		Перехват информации по видовым ТКУИ		Средняя	0,5			Недопустимый	1,5%
		Перехват информативного сигнала по ТКУИ с использованием закладных устройств		Нереализуемая	0			Допустимый	0,0%
Уровень автоматического управления	Технологическая информация	Нарушение целостности управляющей информации	Ц	Высокая	0,8				
		Сбор статистики о состояниях Умного дома	К						Средняя
	Оборудование УД	Подключение к контроллеру в обход устройств управления	К, Д, Ц	Средняя	0,5	Критическая	>3,0%		>1,5%
		Модификации программного обеспечения контроллеров		Д, Ц	Минимальная				0,2
	Атаки на сигнальные цепи		Средняя			1,5%			
АСУЗ	Оборудование	Восстановление аутентификационной информации учетной записи пользователя в системе	К	Средняя	0,5	Критическая	>3,0%	Недопустимый	>1,5%

Объект угрозы	Способ реализации угроз ИБ	Нарушаемое свойство БИ	Оценка СВР угроз ИБ	Величина СВР _{кол}	Оценка СТП нарушения ИБ	Величина СТП _{кол}	Допустимость риска	Оценка РИБ	
	Подключение к сети УД в обход процедуры аутентификации		Минимальная	0,2				>0,6%	
	Внедрение вредоносного кода за счет посещения зараженных сайтов в сети Интернет	К, Д, Ц	Высокая	0,8				>2,4%	
АСУЗ	Оборудование УД	Атака со стороны информационно-телекоммуникационных сетей	К, Д, Ц	Критическая	1	Критическая	>3,0%	Недопустимый	>3%
		Некорректное использование функционала Умного дома	Д, Ц	Высокая	0,8	Минимальная	0,5%	Допустимый	0,4%
		Приведение системы в состояние «отказ в обслуживании»	Д	Средняя	0,5	Высокая	3,00%	Недопустимый	1,5%
		Насыщение информационной системы							
		Потеря источника электропитания	Д, Ц	Высокая	0,8				2,4%
		Кража оборудования	К, Д, Ц	Средняя	0,5				1,5%
	Помещение	Наводнение, затопление помещения	Д, Ц	Минимальная	0,2	Критическая	>3,0%		>0,6%
Пожар									

Исходя из представленных данных, наиболее опасными являются угрозы несанкционированного доступа к информации, перехвата данных, передаваемых по вычислительной сети, включая перехват банковской информации при передаче через Интернет. Данные угрозы опасны тем, что нарушитель получает доступ к личным сведениям владельца УД или его банковским счетам, после чего может использовать их для вымогательства или мошеннических операций в своих личных целях.

Также серьезны такие угрозы, как атаки со стороны информационно-телекоммуникационных сетей и внедрение вредоносного кода за счет посещения зараженных сайтов в сети Интернет. Они опасны тем, что могут повлечь как получение информации третьими лицами, так и перехват управления всей системой УД.

Потеря источника электропитания может привести к нарушению функционирования всех устройств, не имеющих резервных источников электропитания, например, если замок на входной двери является электронным, то, в случае отключения электроэнергии, он будет автоматически открыт. При этом охранная сигнализация не будет работать, что может привести к хищению материального имущества владельца системы.

Кроме этого, наводнение и пожар в помещении могут уничтожить не только оборудование УД и имущество, расположенное в данном помещении, но и подвергнуть опасности жизнь и здоровье людей, находящихся в помещении.

В результате проведенного исследования, следует сделать вывод, что система УД на данный момент не является полностью безопасной для использования. Пользователям УД следует более внимательно относиться к выбору необходимого им функционала системы, так как новый функционал приносит новые уязвимости и связанные с ними угрозы безопасности.

Литература

1. Бондарева А.Д., Созинова Е.Н., Фаязов К.А. Модель защищаемой информации в системах типа «Умный дом» // Научно-технический вестник Поволжья. – 2017. – № 6. – С. 173–175.
2. Методика определения актуальных угроз безопасности персональных данных при их обработке в информационных системах персональных [Электронный ресурс]. – Электронный ресурс: <https://fstec.ru/component/attachments/download/290>, своб.
3. Методика оценки рисков нарушения информационной безопасности РС БР ИББС-2.2-2009 [Электронный ресурс]. – Электронный ресурс: http://sudact.ru/law/rekomendatsii-v-oblasti-standartizatsii-banka-rossii-obespechenie_9/, своб.



Бортейн Наран Мингиянович

Год рождения: 1995

Университет ИТМО, факультет программной инженерии и компьютерной техники, кафедра графических технологий, студент группы № P4172

Направление подготовки: 09.04.02 – Информационные системы и технологии

e-mail: nmbortein@gmail.com

УДК 004.58

МЕТОДЫ РЕАЛИЗАЦИИ СИСТЕМ ОБУЧЕНИЯ И ПОДДЕРЖКИ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ В ВИДЕОИГРАХ

Бортейн Н.М.¹

Научный руководитель – к.филос.н. Смолин А.А.¹

¹Университет ИТМО

Работа выполнена в рамках темы НИР № 617026 «Разработка методов интеллектуального управления киберфизическими системами с использованием квантовых технологий».

Работа посвящена изучению и классификации существующих методов реализации систем обучения и поддержки игроков в видеоиграх. В своих проектах разработчики используют большое количество разных форм системы обучения и поддержки игроков. От качества их исполнения, а порой и отсутствия, напрямую зависят первое впечатление от игры, следовательно, общая удовлетворенность пользователей, их удержание на ранних этапах взаимодействия, что имеет влияние на финансовую и общую успешность видеоигры. Автор дает определение системы обучения и поддержки игроков и описывает существующие методы ее реализации.

Ключевые слова: видеоигры, пользовательский опыт, геймдизайн, проектирование взаимодействия, интерфейсы, обучение, поддержка, методика.

Игровая индустрия развлечений – одна из трех самых быстро развивающихся и богатых отраслей мировой экономики. Согласно данным масштабного исследования рынка видеоигр по итогам 2017 года, проведенного аналитической компанией SuperData, игры заработали \$100,5 млрд без учета ритейла и киберспорта. В разработке, продвижении и продаже игр, в том числе организации киберспорта работают сотни тысяч человек самых разных специальностей по всему миру. Помимо прочего, видеоигры были признаны отдельным видом искусства. Аудитория крупных игровых проектов достигает нескольких десятков миллионов пользователей. И всех этих людей было и остается необходимо обучать играть и давать им возможность улучшать свои навыки [1–9].

В своих проектах разработчики используют большое количество разных форм системы обучения и поддержки игроков. Обучение – первое, с чем сталкивается игрок при взаимодействии с видеоигрой, оно помогает ему узнать и освоить правила и механики игры. От качества его исполнения, а порой и отсутствия, напрямую зависят первое впечатление от игры, следовательно, общая удовлетворенность пользователей, их удержание в игре на ранних этапах взаимодействия имеет влияние на финансовую и общую успешность видеоигры. Процесс поддержки же нацелен на дальнейшую помощь игрокам в освоении игровых механик и взаимодействии с продуктом в целом.

Система обучения и поддержки пользователей в видеоигре – это комплекс технических, геймдизайнерских, интерфейсных и иных решений, позволяющих игроку:

1. узнать и понять правила игры, возможности и ограничения;
2. научиться ими пользоваться;
3. освоить игровую механику, получать советы и подсказки об игровом процессе и возможностях интерфейса видеоигры;
4. иметь доступ к справочной информации и пользоваться ей;
5. быть в курсе каких-либо нововведений внутри игры.

В эру аркадных автоматов большинство игр было сделано так, чтобы любой мог сразу же начать играть: в них была либо простая механика, либо простейшие правила, например, «нажимайте вправо, чтобы двигаться» и «прыгните на существо, чтобы ударить его». Из-за этого подобные игры не имели системы обучения вовсе. Дело изменили домашние консоли. Сегодня разработчики часто экспериментируют с формами реализации обучения в своих проектах: от простых экранов с информацией с инструкциями в виде текста и картинок до встраивания обучения в сюжет.

Система обучения и поддержки игроков – это не только первоначальное обучение игрока до начала игрового процесса. В эту систему также включены иные компоненты, создаваемые различными специалистами:

1. обучающие уровни со своими целями и специальными условиями (например, операции в игре «Tom Clancy's Rainbow Six Siege»);
2. всевозможные подсказки и советы, которые показываются по ходу игрового процесса, на загрузочных экранах и т.д.;
3. виртуальные помощники:
 - персонажи, помогающие игроку в освоении игры (например, Афина из «Overwatch»);
 - «адресное обучение» и персональные помощники на основе чат-ботов и машинного обучения. Подобные системы отслеживают прогресс, предоставляют статистические данные в реальном времени и дают советы, основываясь на анализе поведения игрока («Sam» от Ubisoft);
4. внутриигровые энциклопедии («Цивилопедия» в серии игр «Civilization», «Энциклопедия Total War» в серии игр «Total War») и иные справочные материалы («Бестиарий» в серии игр «Ведьмак»);
5. видеоматериалы (обучающие видеоролики в «Tom Clancy's Rainbow Six Siege»);
6. информационные экраны (экраны «Hero Info» в «Overwatch»).

Методы реализации системы обучения и поддержки игроков – это различные комбинации данных компонентов, а также методика их разработки и оформления.

Проблема заключается в малой степени научной разработанности данного вопроса при его достаточной важности для профессиональной и творческой деятельности разработчиков и отсутствии эмпирических подтверждений имеющихся теоретических знаний.

Цель данного исследования – систематизировать знания о методах реализации систем обучения и поддержки игроков в рамках одного отдельно взятого жанра или типа игр, провести их сравнительный анализ, используя разработанные для этого критерии оценки на основе знаний о психологии человеко-компьютерного взаимодействия, юзабилити и геймдизайна. Результаты возможно использовать в разработке наиболее эффективной по выведенным критериям методики реализации системы обучения и поддержки игроков в целях ее воспроизведения в процессе разработки видеоигр различными разработчиками.

Литература

1. 4 Ways to Teach Your Players How to Play Your Game [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://gamedevelopment.tutsplus.com/tutorials/4-ways-to-teach-your-players-how-to-play-your-game--cms-22719>, своб.

2. Adams E. The designer's notebook: Eight ways to make a bad tutorial [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.gamasutra.com/view/feature/134774/the_designers_notebook_eight_.php?page=1, своб.
3. Andersen E., O'Rourke E., Liu Y.-E., Snider R., Lowdermilk J., Truong D., Cooper S., Popović Z. The Impact of Tutorials on Games of Varying Complexity // Conference Proceedings – The 30th ACM Conference on Human Factors in Computing Systems. – 2012. – P. 59–68.
4. Good Video Game Tutorial [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://schoolofgamedesign.com/project/good-video-game-tutorial/>, своб.
5. Important Tips for Effective Tutorial Game Design [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://game-wisdom.com/critical/important-tips-tutorial-game-design>, своб.
6. Green M.C., Khalifa A., Barros G.A.B. and Togelius J. Press Space To Fire. Automatic Video Game Tutorial Generation [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://arxiv.org/pdf/1805.11768.pdf>, своб.
7. Ray S.G. Tutorials: Learning to play [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.gamasutra.com/view/feature/134531/tutorials_learning_to_play.php, своб.
8. Teaching Game Mechanics [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://game-wisdom.com/critical/teaching-game-mechanics>, своб.
9. Desurvire H., Wiberg C. User Experience Design for Inexperienced Gamers: GAP-Game Approachability Principles // Game User Experience Evaluation. – 2015. – P. 169–186.

**Гайош Александр Иванович**

Год рождения: 1996

Университет ИТМО, факультет программной инженерии и компьютерной техники, кафедра вычислительной техники, студент группы № Р4103

Направление подготовки: 09.04.01 – Проектирование встраиваемых вычислительных систем и систем на кристалле
e-mail: alexander.gaiosh@gmail.com**Корепанов Павел Юрьевич**

Год рождения: 1994

Университет ИТМО, факультет программной инженерии и компьютерной техники, кафедра вычислительной техники, студент группы № Р4103

Направление подготовки: 09.04.01 – Проектирование встраиваемых вычислительных систем и систем на кристалле
e-mail: P.Korepanov1@yandex.ru

УДК 004.415.2

**РАЗРАБОТКА ИНТЕРФЕЙСА ЗАГРУЗКИ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ
ДЛЯ РЕКОНФИГУРИРУЕМОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ПЛАТФОРМЫ****Гайош А.И.¹, Корепанов П.Ю.¹****Научный руководитель – к.т.н. Пенской А.В.¹**¹Университет ИТМО

Работа выполнена в рамках темы НИР № 617026 «Разработка методов интеллектуального управления киберфизическими системами с использованием квантовых технологий».

Разработка встраиваемых и киберфизических систем требует создания специализированных вычислителей. Данная область обладает рядом проблем: высокая сложность систем автоматизированного проектирования и непрозрачность методов синтеза, высокие требования к знанию схемотехники, долгий процесс синтеза. Одним из проектов, направленных на решение этих проблем, является реконфигурируемая вычислительная платформа NITTA. В рамках работы рассмотрен процесс записи программного обеспечения в специализированный вычислитель на базе указанной платформы, продемонстрированы полученные результаты и их работоспособность в составе платформы NITTA.

Ключевые слова: встраиваемые системы, HLS, вычислительная платформа NITTA, вычислительные системы, программатор, реконфигурируемость.

Введение. Встраиваемые системы (ВСС) являются самыми распространенными вычислительными средствами, и объем их рынка с каждым годом увеличивается [1]. Однако, несмотря на это, долгое время основным направлением науки в области вычислительной техники являлась обработка информации в вычислительных системах (ВС) общего назначения. Понимание того, что технологии и инженерные методы, которые требуются для проектирования и анализа ВСС, отличаются от тех, что применяются для систем общего назначения, пришло относительно недавно. Это позволило направлению встраиваемых систем обратить на себя более пристальное внимание со стороны исследователей и разработчиков и образовать собственную область науки [2].

Направления разработки встраиваемых систем. Чаще всего в процессе разработки ВСС подразумевается создание специализированных вычислителей. В этом процессе можно условно выделить три этапа [2]:

1. фаза решения задачи на прикладном уровне;
2. фаза проектирования;
3. фаза реализации.

Как правило, задачи проектирования и реализации вычислителей решаются на уровне передачи данных между регистрами (RTL) с использованием технологий Verilog, VHDL, SystemC. Разработка на этом уровне требует глубоко понимания цифровой схемотехники. Решения по микроархитектуре принимаются на ранних этапах проектирования и строго завязаны на целевой алгоритм. Любое изменение алгоритма приводит к необходимости изменений микроархитектурных механизмов и повторного процесса синтеза. Это сильно усложняет работу, так как инструментальные средства этого уровня обеспечивают довольно медленную симуляцию и отладку [3].

Магистральным направлением, занимающимся решением обозначенных проблем, является высокоуровневый синтез (HLS, High Level Synthesis). Данный подход менее требователен к уровню компетенции разработчика за счет использования языков программирования высокого уровня для описания прикладной задачи. HLS выполняет моделирование высокоуровневого описания вместо процесса симуляции. Однако высокая сложность и непрозрачность существующих систем автоматизированного проектирования не позволяют прогнозировать последствия изменения целевого алгоритма и не дают возможность повторного использования доступных вычислительных блоков при изменении алгоритма, из-за чего приходится повторять процесс синтеза, что приводит к увеличению временных и экономических затрат на разработку [3].

Вычислительная платформа NITTA. Одним из проектов, направленных на решение этой проблемы, является реконфигурируемая вычислительная платформа (ВПЛ) NITTA. В основе вычислительного процесса данной ВПЛ лежит обмен данными между вычислительными блоками без использования системы команд.

В соответствии с подходом HW/SW Co-Design, процесс проектирования в NITTA разделяется на две связанные ветви:

1. планирование вычислительного процесса: генерация программного обеспечения (ПО), состоящего из начального состояния вычислительных блоков и микрокода, соответствующего заданному прикладному алгоритму и конкретной микроархитектуре;
2. синтез аппаратной составляющей: генерация микроархитектуры специализированного вычислителя, генерация RTL, описания на языке Verilog, синтез конфигурации для программируемой логической интегральной схемы.

В соответствии с концепцией ВПЛ NITTA, нужно иметь возможность изменять ПО в составе вычислителя без повторного синтеза аппаратной составляющей. Этот механизм позволит значительно ускорить процесс разработки за счет сокращения времени итераций «изменение-запуск-проверка-результат», прибегая к изменению аппаратной составляющей только в случае необходимости. В рамках данной работы рассмотрен процесс записи ПО в специализированный вычислитель на базе указанной ВПЛ.

Проектирование интерфейса загрузки ПО. Был предложен следующий подход: программное обеспечение, которое необходимо записать в вычислитель, хранится в специализированном блоке. С приходом управляющего сигнала содержимое этого

блока выгружается и распределяется по вычислительным блокам микроархитектуры. Таким образом, целевой алгоритм вычислителя изменяется без повторения синтеза.

Процесс загрузки ПО в вычислитель НИТТА состоит из следующих этапов:

1. установка внутренних ресурсов вычислителя (вычислительных блоков) в начальное состояние;
2. загрузка микрокода в память специализированного вычислителя.

Основную сложность записи ПО в целевой вычислитель представляет его гетерогенная структура. Она выражается в разнотипных вычислительных блоках, наличии множества независимых транспортных шин и управляющих блоков. Все это требует организации управления процессом программирования, для чего предлагаются соответствующие решения:

- формат хранения ПО;
- алгоритмы планирования процесса записи ПО в вычислитель;
- аппаратные механизмы, в составе вычислителя непосредственно обеспечивающие загрузку ПО.

Формат хранения ПО. Рассмотрен формат хранения на примере конкретной микроархитектуры (рис. 1). Программное обеспечение состоит из начального состояния вычислительных блоков (ВБ) FRAM1 и FRAM2 и микропрограммы. Для других микроархитектур формат хранения ПО будет отличаться в зависимости от состава ВБ.

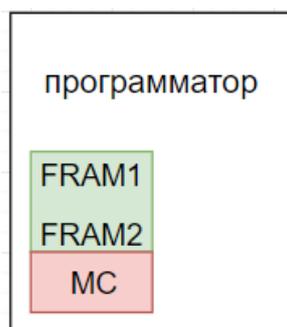


Рис. 1. Память в ВБ p_i_prog с разделенными блоками

Структурно ПО можно разделить на несколько блоков, один из которых хранит микропрограмму, а другие хранят начальные значения вычислительных блоков. Микропрограмма состоит из множества микрокоманд, ширина которых соответствует количеству сигнальных линий. Формат блока, задающего начальное значение ВБ, определяется его типом. Например, FRAM1 и FRAM2 являются идентичными, ширина слова блока данных определяется разрядностью шины данных и шины атрибутов данных. Количество слов определяется количеством регистров в составе ВБ FRAM.

Способ кодирования ПО. Блоки в ПО расположены следующим образом. Сначала идут данные начальных состояний ВБ, затем идет блок микропрограммы.

Из-за того, что ширина слов в блоках может отличаться, требуется механизм выравнивания. Ввиду особенностей архитектуры вычислителей НИТТА, ширина слова берется равной ширине шины данных. Для ВБ типа FRAM ширина слов задается согласно формату хранения ПО. Для блока микрокода возможны три случая:

1. ширина шины больше ширины микрокода, при этом микрокод дополняется нулями;
2. ширина шины равна ширине микрокода;
3. ширина шины меньше, чем ширина микрокоманды, при этом микрокоманда разделяется на несколько слов. Последнее слово дополняется до ширины данных нулями.

Вычислительный блок программатора. Было принято решение передавать через шину данных для того, чтобы минимизировать коммуникационную составляющую. Для этого были предложены модификация блока управления для организации процесса программирования и ВБ программатор, задача которого – хранение и загрузка ПО для процессора через внешний интерфейс.

Для возможности перепрограммирования процессора был добавлен новый вычислительный блок, изображенный на рис. 1. Программное обеспечение для программатора может быть заранее загружено в память вычислительного блока или передаваться через внешний интерфейс.

Для обеспечения работы программатора были добавлены следующие сигнальные линии и модифицирован уже существующий набор (рис. 2). Signal_unload выгружает данные из внутренней памяти на шину данных. Flag_prog_done сигнализирует о завершении загрузки ПО.

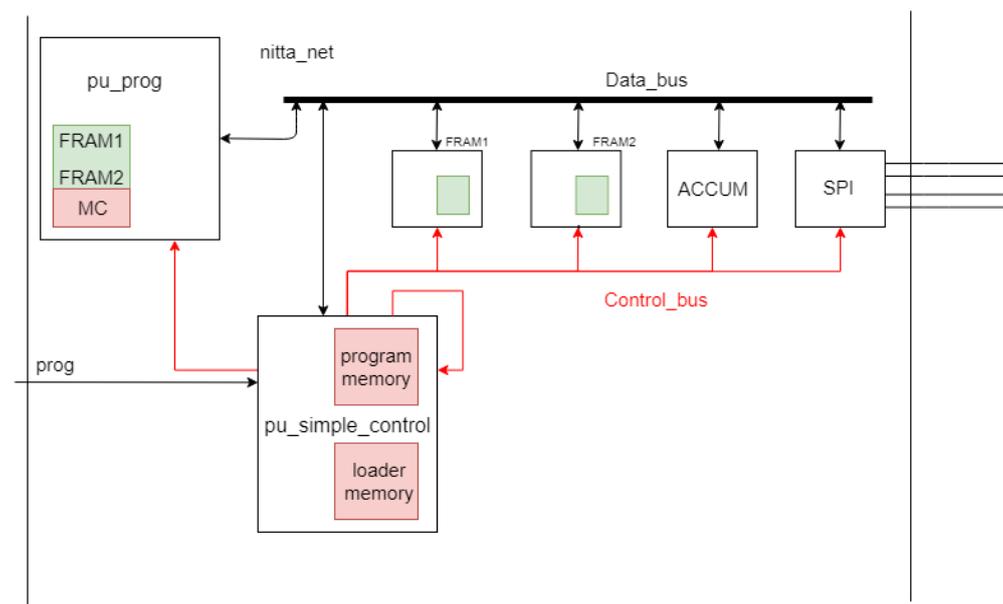


Рис. 2. ВС с аппаратным механизмом программирования

Модификация вычислительного блока управления. Для control_unit был добавлен режим программирования, активируемый сигналом «prog», в рамках которого управление передается загрузчику, встроенному в ВБ.

Программа загрузчика реализует выгрузку данных из программатора и их сохранение в соответствующие ВБ и генерируется в процессе синтеза микроархитектуры вычислителя. При этом программа загрузчика является штатным ПО процессора NITTA.

Генерация ПО загрузчика для микроархитектуры, приведенной на рис. 2, выглядит следующим образом. Согласно формату ПО, сначала идет загрузка соответствующих ВБ. Блок управления инициализирует последовательное чтение с шины данных во внутренние регистры для блоков FRAM. Далее загрузчик (loader memory) считывает микрокод из программатора (pu_prog, MC) в память команд устройства управления (program memory). Первая строка микрокода является количеством микрокоманд программы.

Заключение. В рамках проделанной работы:

- предложен способ программирования вычислителя на базе ВПЛ NITTA;
- создан аппаратный механизм программирования, имеющий специализированный интерфейс и решающий вопрос реконфигурируемости системы.

Проверка работоспособности созданного аппаратного блока программатора и модификаций ВС проводилась в среде симуляции ModelSim. Результаты симуляции показали, что работа в режиме программирования соответствует той функциональности, которая была описана в предыдущих разделах.

В дальнейших планах разработка алгоритма генерации микрокода для загрузчика и программатора, а также расширение функциональности программатора для возможности чтения с внешних устройств.

Литература

1. Embedded System Market Size, Share, Trends, Report, 2020 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.radiantinsights.com/research/embedded-system-market> (дата обращения: 25.03.2018).
2. Быковский С.В., Горбачев Я.Г., Ключев А.О., Пенской А.В., Платунов А.Е. Сопряженное проектирование встраиваемых систем (Hardware/Software Co-Design). Часть 1. Учебное пособие. – СПб.: Университет ИТМО, 2016. – 108 с.
3. Penskoï A., Gaiosh A., Platunov A., Kluchev A. Specialised computing platform for system dynamics // International Multidisciplinary Scientific GeoConference-SGEM: 18th International Multidisciplinary Scientific Geoconference. – 2018. – V. 18. – № 2.1. – P. 709–716.



Гайфулина Диана Альбертовна

Год рождения: 1995

Университет ИТМО, факультет безопасности информационных технологий, кафедра безопасности киберфизических систем, студент группы № N4159

Направление подготовки: 10.04.01 – Информационная безопасность

e-mail: wing7803@yandex.ru

УДК 004.056

**ВЫЯВЛЕНИЕ ТИПОВЫХ СТРУКТУР ПАКЕТОВ СЕТЕВОГО ТРАФИКА
КИБЕРФИЗИЧЕСКИХ СИСТЕМ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ
И ИДЕНТИФИКАЦИИ АНОМАЛИЙ**

Гайфулина Д.А.¹

Научный руководитель – д.т.н., доцент Беззатеев С.В.¹

¹Университет ИТМО

Работа выполнена в рамках темы НИР № 617026 «Разработка методов интеллектуального управления киберфизическими системами с использованием квантовых технологий».

В работе проведена разработка методики выявления типовых структур сетевого трафика в условиях неопределенных сетевых протоколов взаимодействия для последующего исследования и идентификации сетевых аномалий. Для этого проведено исследование особенностей структуры сетевого трафика киберфизических систем. Определены требования к разрабатываемой методике. Составлена модель методики типовых структур сетевого трафика в условиях неопределенных сетевых протоколов взаимодействия.

Ключевые слова: киберфизические системы, обнаружение аномалий, анализ сетевого трафика, безопасность киберфизических систем, структура сетевого трафика.

Одним из важных элементов в работе киберфизических систем (КФС) является организация надежного обмена данными между их компонентами, представляющими собой физические устройства и вычислительные модули. Для обеспечения безопасности передачи данных в КФС используются различные методы, в частности, анализ сетевой активности с целью обнаружения аномалий в данных сетевого трафика. Под аномалиями понимаются ситуации, в которых поведение инфраструктуры или ее отдельных элементов отличается от нормального, т.е. соответствующего штатному режиму работы системы.

К особенностям сетевой архитектуры КФС можно отнести неопределенность среды передачи данных, в том числе протоколов сетевого взаимодействия. По причине своей разнородности часть сетевого трафика может быть структурно не определена. Вследствие чего анализ данных сетевого обмена является достаточно сложной вычислительной задачей. Данный факт, в свою очередь, обуславливает трудности в построении подсистем обнаружения аномального поведения сетевого трафика.

Цель исследования – разработка методики выявления типовых структур пакетов сетевого трафика в киберфизических системах в условиях неопределенных сетевых протоколов взаимодействия (НСПВ) для последующего исследования и идентификации сетевых аномалий. Задачами исследования являлись:

1. выявление особенностей структуры сетевого трафика КФС;
2. определение характеристик сетевого трафика КФС в условиях НСПВ;
3. определение требований к методике выявления типовых структур пакетов сетевого трафика;
4. разработка модели методики выявления типовых структур пакетов в сетевом трафике в условиях НСПВ.

Совокупность средств, необходимых для организации обмена данными, принято называть интерфейсом. Сетевым интерфейсом называют логическую и (или) физическую границу между устройством и средой передачи информации [1]. Сетевой трафик КФС представляет собой объем информации, передаваемой через сетевые интерфейсы системы за определенный период времени, представленной в виде пакетов, состоящих из управляющей информации и полезной нагрузки.

В соответствии с моделью OSI содержимое пакета может быть проинтерпретировано посредством стека заголовков сетевых протоколов. Обычно порядок следования этих заголовков естественный – от протоколов более низкого уровня к протоколам более высокого уровня. Соответствие протоколов интерфейсов микроконтроллеров модели OSI представлено в табл. 1, беспроводных интерфейсов – в табл. 2.

Таблица 1. Соответствие интерфейсов микроконтроллеров модели OSI

№	Модель OSI	UART	SPI	I ² C	CAN	1-Wire	Ethernet
7	Прикладной				CANopen, DeviceNet, SDS, CAN, Kingdom и др.		
6	Представления						
5	Сеансовый						
4	Транспортный						
3	Сетевой						
2	Канальный	Modus, Profibus, P-NET, LIN		I ² C	LLC CAN MAC CAN	1-Wire	Ethernet
1	Физический	RS-232, RS-422, RS-485	PHY SPI	PHY I ² C	CAN bus	PHY 1- Wire	PHY Ethernet

Таблица 2. Соответствие беспроводных интерфейсов модели OSI

№	Модель OSI	ZigBee/IEEE 802.15.4	Bluetooth/IEEE 802.15.1	Wi-Fi/IEEE 802.11	GSM	
7	Прикладной	APL (APS, ZDO, AO) ZigBee	Application			
6	Представления					
5	Сеансовый					SDP
4	Транспортный					
3	Сетевой	NWK ZigBee	L2CAP			CM MM RRM, BSSAP, BTSM
2	Канальный	LLC IEEE 802.15.4 SSCS IEEE 802.15.4 MAC IEEE 802.15.4	LMP, HCI	LLC IEEE 802.11 MAC IEEE 802.11	LAPD, SCCP	
1	Физический	PHY IEEE 802.15.4	PHY IEEE 802.15.1	PLCP IEEE 802.11	MTP	

№	Модель OSI	ZigBee/IEEE 802.15.4	Bluetooth/IEEE 802.15.1 (Baseband, LMP)	Wi-Fi/IEEE 802.11 PMD IEEE 802.11	GSM

Передача данных по сетевым интерфейсам КФС осуществляется преимущественно на низких уровнях взаимодействия, осуществляющих передачу битов данных по физическим каналам связи в виде некоторых кадров. Анализ подобных данных является сложной задачей, так как требует повышенных знаний сетевых протоколов и узкоспециализированных алгоритмов функционирования устройств конкретных производителей. Таким образом, анализ сетевого трафика КФС в условиях неопределенных протоколов взаимодействия является актуальной задачей в рамках обеспечения безопасности функционирования КФС.

Общая схема анализа данных сетевого трафика состоит из следующей последовательности шагов [2]:

1. захват пакетов, проходящих через контролируемое сетевое соединение – результатом является получение объекта анализа в виде сетевых пакетов;
2. агрегирование пакетов в потоки по некоторым адресным признакам – объекта для анализа в виде сетевого потока;
3. выполнение классификации по протоколу прикладного уровня или конкретному сетевому приложению – объект для анализа в виде сетевого потока конкретного протокола или приложения.

При анализе сетевого трафика исходными данными служит ряд признаков, характеризующих функционирование сетевой инфраструктуры. Информация от датчиков и сенсоров используется для анализа истории сетевого взаимодействия, в частности, появления нераспознаваемых сообщений, увеличение числа сообщений, возникновение или изменение задержек откликов устройств, увеличение числа потерянных сообщений и т.д. В данном случае важным аспектом является идентификация параметров сетевых пакетов: сетевых адресов, флагов сообщений, запросов соединений [3, 4].

В процессе разбора в пакете выделяются заголовки протоколов, анализируются значения полей этих заголовков. Если структура заголовка определяется спецификацией, то полезная нагрузка может содержать произвольным образом организованные данные, хотя обычно представляет собой пакет протокола более высокого уровня.



Рис. 1. Категории признаков сетевого трафика в КФС

Можно выделить следующие категории признаков сетевого трафика: индикационные, количественные, временные и частотные. Классификация данных признаков сетевого трафика КФС для анализа сетевых пакетов и сетевых потоков представлена на рис. 1.

Для выполнения анализа сетевого трафика КФС в условиях неопределенных сетевых протоколов взаимодействия (НПСВ) следует определить типовую структуру пакета сетевого трафика. Данную процедуру можно осуществить путем выявления схожих битовых последовательностей длинами K_1, K_2, \dots, K_m в сетевом потоке длиной в N байт.

Принцип действия разрабатываемой методики представлен на рис. 2.

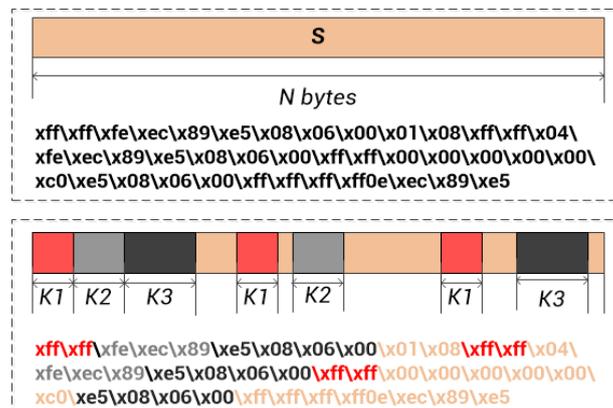


Рис. 2. Выявление заголовков пакетов в сетевом трафике в условиях НПСВ

По результатам исследования характеристик сетевого трафика КФС к разрабатываемой методике выявления типовых структур сетевых пакетов определены следующие требования:

1. содержательность исходных данных;
2. упорядоченность исходных данных;
3. схожесть структуры заголовков пакетов;
4. возможность работы с большим объемом данных;
5. простота интерпретации результатов;
6. адаптация к изменяющемуся поведению системы.

Исходными данными разрабатываемой методики является множество записей о полученных пакетах сетевого трафика, представляющее собой последовательность байт (бит) S . Выходными данными методики Y являются словарь типовых последовательностей («слов») сетевого трафика W , и словарь типовых структур для исходных данных сетевого трафика Pt , где каждая структура d_j состоит из некоторого числа «слов». Таким образом, формализованное математическое описание разрабатываемой модели имеет вид:

$$Y(S) = \{W, Pt\},$$

где $S = \{s_1, s_2, \dots, s_N\}$ – последовательность байт (бит) сетевого трафика; N – количество байт (бит); $W = \{(iw_1, w_1), (iw_2, w_2), \dots, (iw_M, w_M)\}$ – словарь типовых последовательностей байт (бит); iw – численный индекс; w – «слово»; M – количество «слов»; $Pt = \{p_1, p_2, \dots, p_L\}$ – словарь типовых структур сетевого трафика; L – число типовых структур.

Для получения данного вектора выходных значений по заданным входным параметрам необходимо выполнение следующих шагов.

Шаг 1. Нахождение типовых последовательностей («слов»). Словарь типовых последовательностей составляется путем разбиения исходного ряда данных на отрезки длиной K байт (бит) в несколько итераций и нахождением схожих отрезков, представляющих собой повторяющиеся «слова». Каждому «слову» присваивается численный индекс. Выходные данные: $W = \{(iw_1, w_1), (iw_2, w_2), \dots, (iw_M, w_M)\}$.

Шаг 2. Упорядочивание индексов типовых последовательностей. Использование данного словаря позволяет составить упорядоченный список индексов типовых последовательностей в данных сетевого трафика. Выходные данные: $IW = \{iw \& W\}$.

Шаг 3. Определение типовых структур сетевого трафика. Полученный список индексов аналогично разбивается на отрезки. Производится вычисление корреляционной матрицы, позволяющей определить, насколько пропорциональна изменчивость двух отрезков при изменении их длины. Определяется максимальное подобие последовательности индексов, позволяющее определить типовые структуры сетевых пакетов в исходных данных сетевого трафика. Выходные данные: $Pt = \{p_1, p_2, \dots, p_L\}$.

Графическое представление разрабатываемой методики приведено на рис. 3.

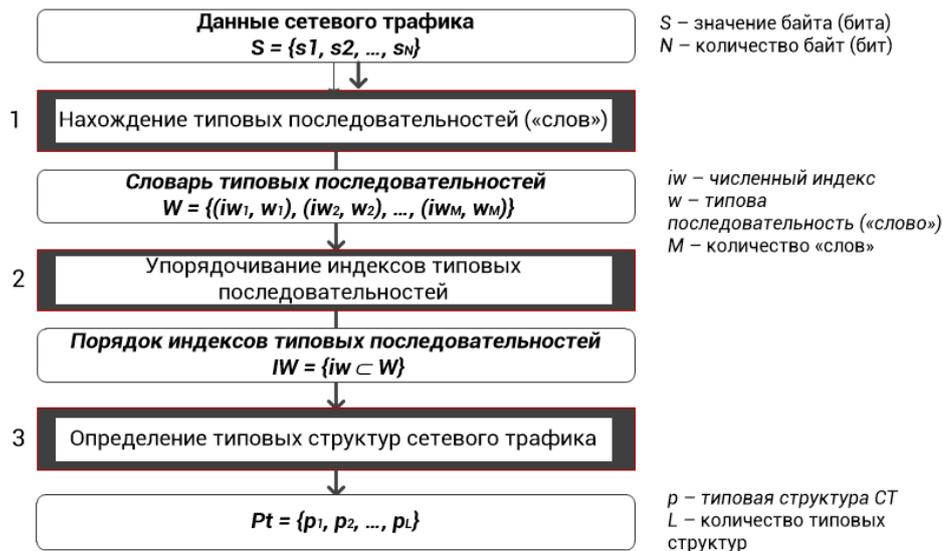


Рис. 3. Модель методики выявления типовых структур сетевого трафика

Данная методика может применяться для предварительной обработки сетевого трафика КФС для последующего анализа и оценки защищенности КФС.

В результате проведенных исследований были определены особенности структуры сетевого трафика КФС. Определены характеристики сетевого трафика КФС в условиях неопределенных сетевых протоколов взаимодействия. Выявлены требования, и разработана обобщенная методика к алгоритму выявления типовых структур пакетов сетевого трафика.

Направлением дальнейшего исследования является разработка программного модуля предварительной обработки сетевого трафика.

Литература

1. Денисенко В.В. Компьютерное управление технологическим процессом, экспериментом, оборудованием. – М.: Горячая линия-Телеком, 2014. – 608 с.
2. Гетьман А.И., Евстропов Е.Ф., Маркин Ю.В. Анализ сетевого трафика в режиме реального времени: обзор прикладных задач, подходов и решений [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.ispras.ru/preprints/docs/prep_28_2015.pdf (дата обращения: 10.04.2018).
3. Vazhayev N., Lebedev I., Korzhuk V., Zikratov I. Monitoring of the information security of wireless remote devices // Proc. 9th Int. Conf. on Application of Information and Communication Technologies. – 2015. – P. 233–236.
4. Шелухин О.И., Симонян А.Г., Ванюшина А.В. Влияние структуры обучающей выборки на эффективность классификации приложений трафика методами машинного обучения // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2017. – Т. 11. – № 2. – С. 25–31.



Головин Артем Андреевич

Год рождения: 1994

Университет ИТМО, факультет систем управления и робототехники, кафедра систем управления и информатики, студент группы № Р4235

Направление подготовки: 15.04.06 – Интеллектуальные технологии в робототехнике

e-mail: asd-1234@yandex.ru

УДК 681.5.015

ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ НАСТРОЙКА ПЬЕЗОАКТЮАТОРА НА МАКСИМАЛЬНОЕ БЫСТРОДЕЙСТВИЕ

Головин А.А.¹

Научный руководитель – к.т.н., доцент Бойков В.И.¹

¹Университет ИТМО

Работа выполнена в рамках темы НИР № 617026 «Разработка методов интеллектуального управления киберфизическими системами с использованием квантовых технологий».

Рассмотрен вопрос согласования параметров цепи питания пьезоактюатора для достижения в системе максимального быстродействия при учете ограниченной пиковой мощности каскада питающего усилителя. Предложен способ настройки параметров цепи пьезоактюатора, при которых достигается максимальное быстродействие объекта. Рассмотрены энергетические показатели, и даются рекомендации по выбору номиналов элементов цепи питания.

Ключевые слова: согласование характеристик, параметрическая настройка, максимальное быстродействие, диаграмма Вышнеградского, пьезоактюатор, пьезодвигатель, индуктивный компенсатор, технический оптимум.

С точки зрения оценки качества разработанной системы управления длительность переходного процесса является одним из основных показателей. Повышение быстродействия регулирования силового привода с пьезоактюатором позволит за более короткий срок обрабатывать входные задающие воздействия, что само по себе ведет к повышению производительности устройств, качества работы и эффективности применения в таких областях как оптика, точная механика, микробиология, робототехника, микроэлектроника и др.

В современном мире, которому присуща тенденция развития нанотехнологий, пьезопроводы, способные работать в мире малых величин, находят свое применение в самых передовых разработках. Это идеальный инструмент для применения в решении важных задач медицины, в составе сканирующих микроскопов, микро моторов для хирургических операций, а также генных манипуляторов. Пьезоактюаторы хорошо зарекомендовали себя в автомобильной промышленности, в качестве инжекторных клапанов впрыска топлива, приводов регулировки системы подвески, зеркал, фар, сидений. Также приобретает популярность использования их в микролитографии, для настройки оптических инструментов, подавления вредных активных вибраций, управления клапанами и высокоскоростными сервоприводами.

Силовые пьезоактюаторы применяются в тех случаях, где необходимо прикладывать большие усилия для передвижения нагрузки. Особенность их заключается в больших габаритах, что связано с увеличением электрической емкости, которая привносит в систему инерционность, негативно сказываясь на быстродействии.

Исполнительные устройства, реализованные на принципах пьезоэффекта, можно с уверенностью отнести к особому классу быстродействующих объектов. Основная проблема при создании устройств для микроперемещений – возбуждение высокочастотных колебаний, которые сам актюатор подавить не в состоянии. В качестве аналога такого поведения можно представить движение массы на пружине с определенной упругостью, величина которой в мире малых перемещений оказывается достаточно существенной. Для того чтобы загасить резонанс, применяются алгоритмы управления. Но при попытке синтеза скоростного управления возникают проблемы из-за колебательных свойств системы.

Данное исследование являлось продолжением работы [1] о согласовании параметров цепи усилитель-пьезоактюатор. В ходе изучения способов управления пьезоактюатором в работах [2] был сделан вывод, что наилучшим и простым из рассмотренных способов является управление по напряжению. Рассмотрим математическую модель пьезоактюатора и высоковольтного усилителя, подробно рассмотренную в [3]. Мощность последнего в таком случае напрямую связана с быстродействием. Схема моделирования системы в среде MATLAB представлена на рис. 1.

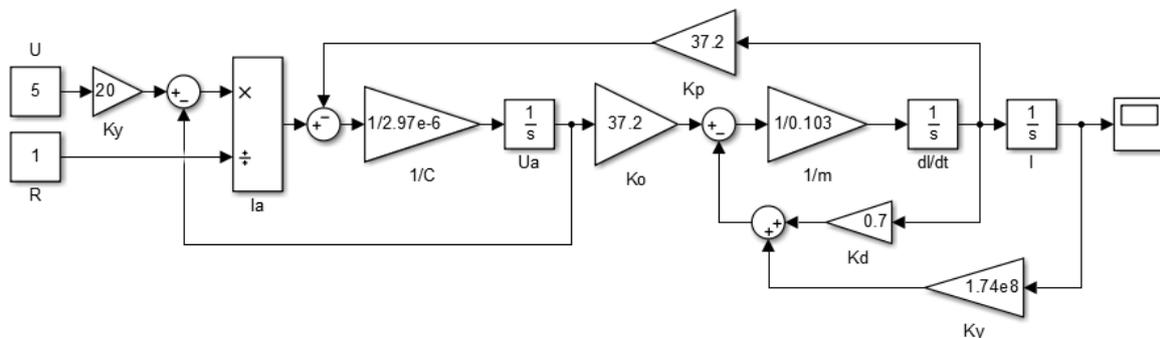


Рис. 1. Схема моделирования пьезоактюатора с усилителем мощности

Проведем моделирование системы при различных значениях внутреннего сопротивления усилителя, графики переходных процессов представлены на рис. 2.

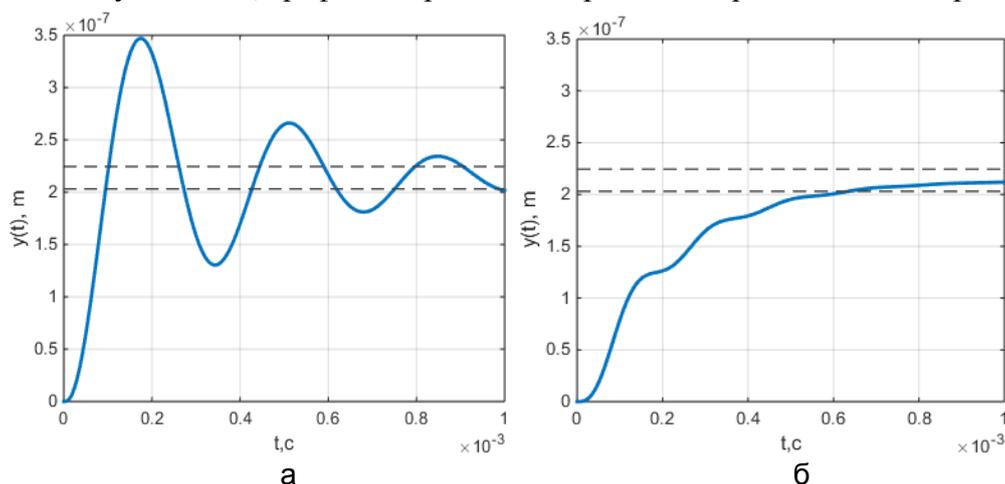


Рис. 2. Графики переходных характеристик при разных сопротивлениях усилителя мощности: 2 Ом (а); 20 Ом (б)

Анализируя представленные графики можно сделать вывод, что с уменьшением сопротивления в схеме возрастает колебательность переходного процесса.

Введем следующее предположение, что существует такое значение параметра усилителя, при котором процесс по характеру будет близок к апериодическому, т.е. схождение к установившемуся значению происходит за наименьшее время, перерегулирование отсутствует или составляет менее 5%.

С точки зрения основ теории автоматического регулирования, вид корней уравнения определяет характер переходной составляющей процесса управления. Отсюда следует, что корни могут являться мерой качества процесса управления.

Для анализа переходной характеристики по передаточной функции системы можно использовать широко известную диаграмму Вышнеградского [4]. Суть заключается в следующем: задавая определенные нормированные коэффициенты полинома, можно получить известное поведение переходного процесса. Набор значений коэффициентов даст на графике точку в области с определенным поведением системы. Значения параметров Вышнеградского для системы третьего порядка настроенной на технический оптимум приведены в табл. 1.

Таблица 1. Коэффициенты нормированного полинома, соответствующие наименьшему времени регулирования

Порядок	Коэффициенты уравнения			
3	1	2,05	2,39	1

Соответственно, если задать такое значение сопротивления, при котором результирующий характеристический многочлен будет максимально приближен к нормированному полиному Вышнеградского, то получим оптимальный, в смысле заданного качества и быстродействия, переходной процесс.

Для вычисления необходимого значения можно использовать итеративный алгоритм наименьших квадратов. Ниже приведен возможный алгоритм вычисления оценки сопротивления:

$$\Phi_i = \begin{bmatrix} \frac{a_{11}}{b_{11}(R_{i-1})} & \frac{a_{12}}{b_{12}(R_{i-1})} \\ \frac{a_{21}}{b_{21}(R_{i-1})} & \frac{a_{11}}{b_{22}(R_{i-1})} \end{bmatrix}, R_0 = \begin{bmatrix} R_0 \\ 1 \end{bmatrix}, Y = \begin{bmatrix} A \\ B \end{bmatrix},$$

$$R_i = (\Phi_i^T \Phi_i)^{-1} \Phi_i^T Y,$$

где R_0 – начальные условия сопротивления; A, B – параметры Вышнеградского; $a_{11} \dots a_{12}$ – постоянные коэффициенты; $b_{11}(R_{i-1}) \dots b_{22}(R_{i-1})$ – коэффициенты, зависящие от сопротивления, вычисленного на предыдущем шаге.

В данной работе для вычислений и исследований использовалась среда MATLAB. По результатам работы программы для данного актюатора оптимальным значением является величина сопротивления $R=3,466$ Ом. График для данного случая приведен на рис. 3. Также для нахождения экстремума можно использовать функцию `fminsearch` среды MATLAB или `fminsearchbnd`, учитывающую пределы нахождения минимальных значений.

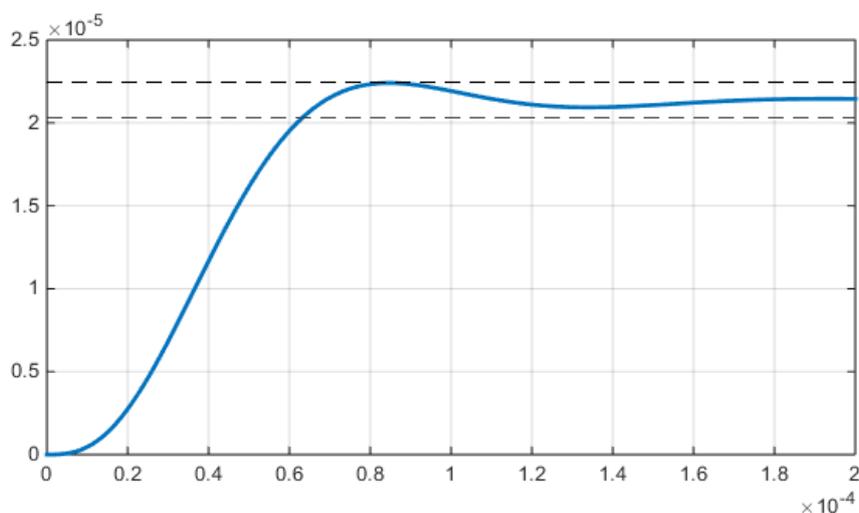


Рис. 3. Переходной процесс, настроенный на технический оптимум

Моделирование энергетических компонент привело к выводу, что большая колебательность связана с пиковыми значениями тока (рис. 4). Одним из возможных решений может быть введение в цепь питания пьезоактюатора индуктивного компенсатора [5], который сведет скачки тока и мощности в начальный момент к минимальным значениям. Индуктивность в цепь вводится для нивелирования емкостного характера нагрузки. Такой способ позволит увеличить быстродействие за счет электрического демпфирования колебания. Схема моделирования в MATLAB пьезоактюатора с усилителем и индуктивностью в цепи питания представлена на рис. 4.

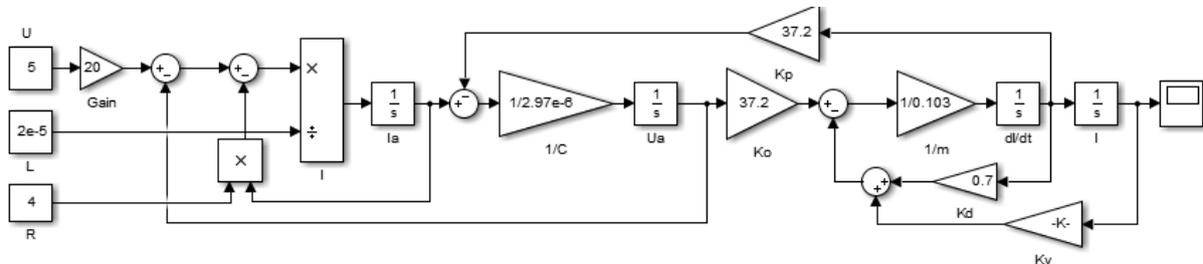


Рис. 4. Схема моделирования пьезоактюатора с усилителем мощности и индуктивностью в цепи питания

Итоговая передаточная функция пьезоактюатора с индуктивным компенсатором в схеме имеет четвертый порядок и определяется двумя парами комплексно-сопряженных корней.

$$W_A(s) = \frac{\Delta l(s)}{e_n(s)} = \frac{K_o/K_y}{\frac{LCm_\Sigma}{K_y}s^4 + \left(\frac{LCK_d + RCm_\Sigma}{K_y}\right)s^3 + \left(\frac{LCK_y + RCK_d + m + LK_p^2}{K_y}\right)s^2 + \left(\frac{RCK_y + K_d + RK_p^2}{K_y}\right)s + 1},$$

где L – индуктивность цепи питания пьезоактюатора.

На рис. 5 приведены графики токов цепи пьезоактюатора в схемах с одним настраиваемым параметром и с двумя. По полученным переходным процессам можно сделать вывод, что введение компенсатора уменьшает пиковые скачки тока более чем в 5 раз.

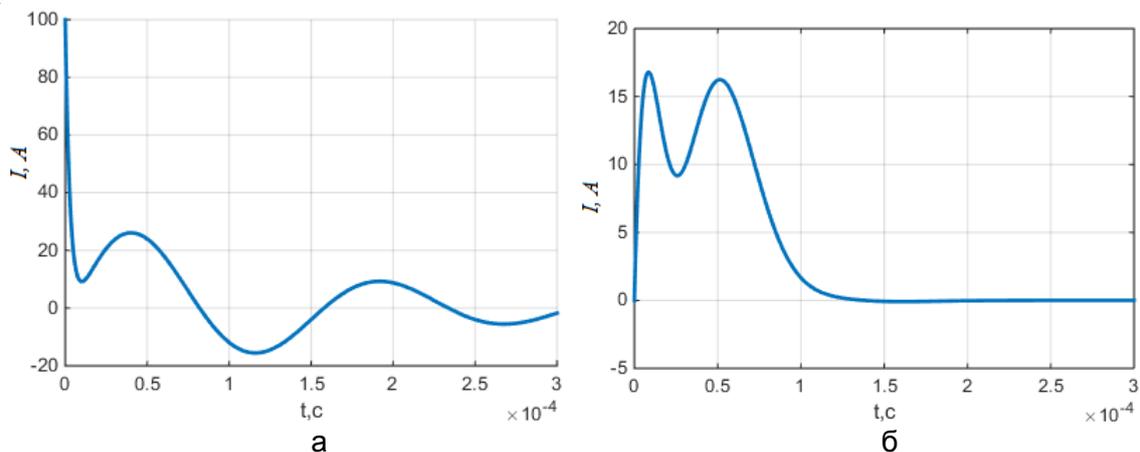


Рис. 5. Переходные процессы для электрической мощности в цепи питания пьезоактюатора: без компенсатора (а); с компенсатором (б)

Диаграмма для данного случая будет иметь пространственную размерность. В табл. 2 приведены коэффициенты нормированного многочлена, настроенного на технический оптимум.

Таблица 2. Коэффициенты полинома четвертого порядка, соответствующие наименьшему времени переходного процесса

Порядок	Коэффициенты уравнения				
4	1	2,6	3,8	2,8	1

Для конкретного пьезоактюатора также с помощью средств среды MATLAB были получены значения параметров цепи, при которых достигается наилучший в плане качества и времени регулирования процесс: $R=3,58$ Ом, $L=22,72$ мкГн. При данных значениях полученный характеристический многочлен максимально приближен к желаемому нормированному полиному в форме Вышнеградского.

На рис. 6 приведен график переходного процесса в системе с индуктивным компенсатором, настроенной на максимальное быстродействие. Также стоит отметить одно из главных достоинств такого подхода.

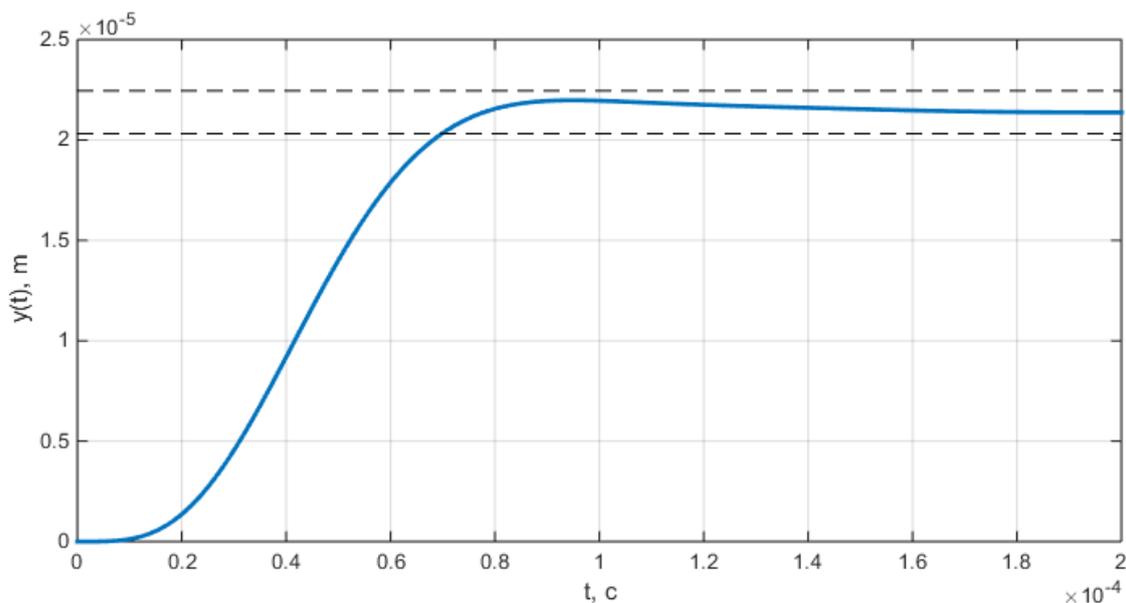


Рис. 6. Согласованный по параметрам на максимальное быстродействие переходной процесс в системе с индуктивностью в цепи пьезоактюатора

Полученный процесс по своему виду подобен поведению апериодического звена второго порядка. В таком случае переходя к синтезу скоростных алгоритмов управления, можно использовать готовые оптимальные по быстродействию решения. Применение релейного способа управления позволит использовать в схеме малогабаритные усилители с высоким коэффициентом полезного действия при работе в ключевом режиме.

Стоит отметить, что изначально перед настройкой системы с усилителем можно задаться некоторым желаемым временем переходного процесса. Свяжем его с постоянными времени системы. С одной стороны – это механическая постоянная, обусловленная инерционностью общей массы керамики и полезной нагрузки, а с другой – электрическая, которая определяется образуемой RC-цепочкой. Минимумом в данной ситуации можно принять механическую постоянную, и задать желаемое время переходного процесса, как ее трехкратное значение. Далее зададим расположение корней, следуя следующему правилу: меньшее время регулирования можно получить при выборе некратного расположения комплексных корней; корни должны лежать на одинаковом расстоянии от мнимой оси.

В данной работе было продемонстрировано, что существует возможность согласования блока усилитель-пьезоактюатор на максимальное быстродействие. Анализ энергетики цепи питания привел к выводу, что колебательность процесса напрямую связана с пиковыми токами в начале переходного процесса. В таком случае рекомендуется использование в цепи индуктивного компенсатора емкостной нагрузки.

Предложен способ настройки параметров цепи пьезоактюатора, при которых достигается максимальное быстродействие объекта. Главное из достоинств заключается в том, что для получения требуемого быстрого процесса, необходимо

регулировать всего один-два параметра цепи. Кроме того, можно получить поведение, близкое к апериодическому, и аппроксимировать объект звеном второго порядка.

Способ управления по напряжению с включением в цепь индуктивности представляется наиболее перспективным для практического использования и дальнейшего изучения. При таком способе, кроме повышения быстродействия, появляется возможность применения широтно-импульсной модуляции управляющего сигнала и, как следствие, построение малогабаритных усилителей мощности.

Предварительный расчет позволяет грамотно выбрать нужный высоковольтный усилитель мощности, добившись согласования по энергетическим и качественным показателям. Анализ поведения системы показал, что зависимость быстродействия от величины индуктивности имеет экстремальный характер.

Литература

1. Головин А.А. Согласование характеристик силового усилителя и пьезоактюатора для мехатронного модуля // Альманах научных работ молодых ученых Университета ИТМО. – 2018. – Т. 1. – С. 207–210.
2. Головин А.А. Повышение быстродействия силовых пьезоактюаторов // Сборник трудов VI Всероссийского конгресса молодых ученых. – 2017. – С. 56–59.
3. Головин А.А. Идентификация параметров пьезоактюатора // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2017. – Т. 17. – № 6(112). – С. 1116–1122.
4. Красовский А.А., Поспелов Г.С. Основы автоматики и технической кибернетики. – М.-Л.: Госэнергоиздат, 1962. – 601 с.
5. Tan T., Yana Z. Optimization study on inductive-resistive circuit for broadband piezoelectric energy harvesters // AIP Advances. – 2017. – V. 7. – P. 7–18.

**Горобченко Анна Александровна**

Год рождения: 1994

Университет ИТМО, факультет программной инженерии и компьютерной техники, кафедра компьютерных образовательных технологий, студент группы № Р4120

Направление подготовки: 09.04.02 – Автоматизация и управление в образовательных системах

e-mail: gorobchenko.ann@gmail.com

**Русак Алена Викторовна**

Год рождения: 1979

Университет ИТМО, факультет программной инженерии и компьютерной техники, кафедра компьютерных образовательных технологий, к.т.н., доцент

e-mail: alena@cde.ifmo.ru

УДК 004.42**ПОДХОД К РАЗРАБОТКЕ СИСТЕМЫ АНАЛИЗА РЕЗУЛЬТАТОВ
КОМПЬЮТЕРНОГО ТЕСТИРОВАНИЯ****Горобченко А.А.¹, Русак А.В.¹****Научный руководитель – к.т.н., доцент Русак А.В.¹**¹Университет ИТМО

Работа выполнена в рамках темы НИР № 617026 «Разработка методов интеллектуального управления киберфизическими системами с использованием квантовых технологий».

В работе рассмотрен подход к решению проблемы низкой объективности результатов компьютерного тестирования. В качестве одного из вариантов решения представлена модель интеллектуальной системы компьютерного тестирования, осуществляющей анализ процесса и результатов тестирования на основе байесовской сети доверия. Описана методика получения данных для обучающей выборки, необходимой для моделирования работы системы и оценки ее эффективности.

Ключевые слова: компьютерное тестирование, интеллектуальные системы тестирования, объективность результатов тестирования, байесовская сеть доверия, анализ результатов тестирования.

В течение последних десятилетий все большую роль в процессе обучения играют информационные технологии: в школах и университетах внедряются системы дистанционного обучения, позволяющие автоматизировать образовательные процессы, большую популярность приобретают онлайн-курсы, обеспечивающие доступность образования для всех слоев населения, независимо от территориальных и финансовых факторов. В связи с этим такие методы контроля знаний, как тестирование на бумаге или устные опросы теряют свою актуальность и активно заменяются компьютерным тестированием. Кроме того, что компьютерное тестирование является инструментом контроля знаний в дистанционном образовании, оно обладает следующими преимуществами:

– процесс проверки результатов и выставления оценки автоматизирован – преподавателю не нужно тратить время на проверку, а учащийся получает свою оценку мгновенно;

– позволяет получить более объективную оценку, поскольку обеспечивает отсутствие влияния отношения преподавателя к учащемуся во время выставления оценки.

Вместе с этим результаты, полученные в результате компьютерного тестирования, не всегда можно считать достоверными, даже при условии того, что тестовые материалы обладают достаточной надежностью и валидностью. Причин этому может быть несколько. Во-первых, достаточно часто тестирование организовано таким образом, что варианты теста составляются одинаково для всех учащихся, например, путем выбора случайных заданий из общей базы вопросов. При этом не учитываются индивидуальные характеристики учащегося, его уровень знаний и другие факторы, которые могут оказывать влияние на процесс тестирования. Во-вторых, при компьютерном тестировании высока вероятность списывания, поэтому требуется постоянный контроль за процессом тестирования со стороны преподавателя. Однако чаще всего компьютерное тестирование проходит массово, и контролировать такой процесс достаточно сложно. Кроме того, необходимость постоянного контроля за тестированием может потребовать значительных временных затрат, а у преподавателя не всегда есть возможность для этого. Таким образом, появляется необходимость в разработке новых подходов к организации компьютерных систем тестирования, учитывающих перечисленные недостатки, с целью повышения объективности результатов и эффективности процесса тестирования [1].

Одним из способов решения поставленной проблемы являются интеллектуальные системы компьютерного тестирования с анализом процесса и результатов тестирования. Разработка таких систем состоит из двух шагов.

Шаг 1. Определить набор параметров, оказывающих влияние на процесс тестирования и объективность его результата. В качестве таких параметров могут выступать индивидуальные характеристики учащегося, взятые из электронной системы учебного заведения или полученные путем анкетирования, а также параметры, вычисленные в процессе тестирования и описывающие его наиболее подробно.

Шаг 2. Выбрать метод анализа процесса тестирования на основе полученных параметров и определения оценки достоверности результата тестирования. Такой анализ позволит учесть особенности процесса для каждого учащегося и сделать вывод об объективности полученной оценки.

Задача разработки таких систем на сегодняшний день является актуальной, поскольку их описание практически не встречается в литературных источниках. Одним из примеров можно считать модель системы анализа процесса и результатов компьютерного тестирования на основе байесовской сети доверия (БСД), описанную в [2] и представленную на рис. 1.

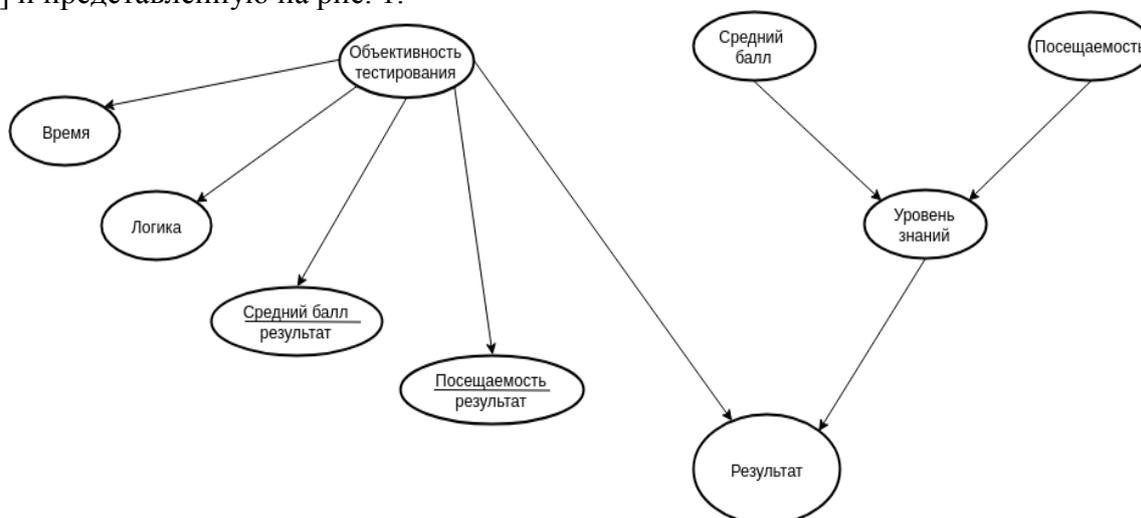


Рис. 1. Модель БСД для системы анализа процесса и результатов тестирования

БСД – это графовая вероятностная модель, которая включает в себя множество вершин и вероятностных зависимостей между ними. Каждая вершина является событием, которое описывается случайной величиной, и имеет несколько состояний. БСД позволяет получить значения вероятности состояний одних вершин при наличии информации о других [3].

Автор приводит результаты моделирования работы системы в программном пакете Hugin, которые подтверждают адекватность представленной модели. Например, при моделировании ситуации, в которой учащийся с низким уровнем знаний получает высокую оценку, но его ответы нелогичны и получены за неправдоподобное время (т.е. высока вероятность того, что учащийся списал или угадал их), система делает вывод о низкой достоверности полученного результата.

Однако, несмотря на удовлетворительные результаты работы модели, ее подробный анализ позволил обнаружить следующие недостатки.

1. Нарушены причинно-следственные связи между вершинами. Вершины *Время*, *Логика*, *Средний балл/результат*, *Посещаемость/результат* было бы логичнее представить причинами вершины *Объективность тестирования*, а не следствием.
2. Список параметров можно модифицировать, удалив избыточные вершины и добавив параметры, которые отражают индивидуальные характеристики учащегося и особенности процесса тестирования. Избыточными в этой модели являются вершины *Средний балл/результат*, *Посещаемость/результат*, поскольку влияние среднего балла и посещаемости уже учитывается в вершине *Уровень знаний*. Расширение списка параметров позволит провести более подробный анализ процесса тестирования и получить более точную оценку его результатов.
3. В работе не приводятся данные, на основе которых были заполнены таблицы вероятностей для моделирования работы системы. Для повышения точности и эффективности системы необходимо сформировать обучающую выборку на основе реальных данных.

С учетом описанных выше недостатков была разработана модифицированная модель системы на основе БСД, представленная на рис. 2.

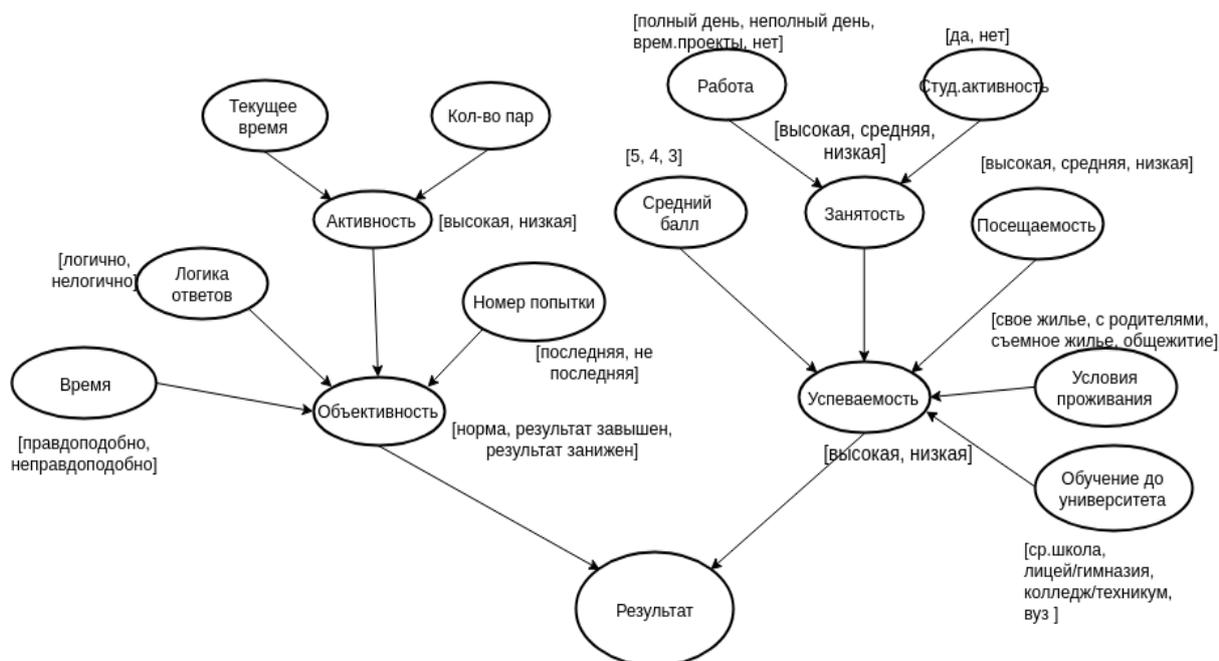


Рис. 2. Модифицированная модель БСД

Опишем подробнее вершины, добавленные в модель и оказывающие влияние на успеваемость студента.

- *Занятость*. Имеет состояния «Высокая», «Средняя», «Низкая». Определяется студенческой активностью учащегося, которая подразумевает под собой участие в студенческих объединениях, мероприятиях или их организацию, а также наличием работы.
- *Условия проживания*. Имеет состояния «Свое жилье», «С родителями», «Съемное жилье», «Общежитие». Вершина оказывает влияние на условия подготовки учащегося и, как следствие, на его успеваемость.
- *Обучение до университета*. Имеет состояния «Средняя школа», «Лицей», «Колледж», «ВУЗ». Вершина позволяет косвенно судить о первоначальном уровне знаний учащегося и оказывает влияние на его успеваемость.

Кроме этого, в модель были добавлены вершины, которые влияют на процесс тестирования и объективность его результата.

- *Активность*. Имеет состояния «Высокая», «Низкая». Определяется временем проведения тестирования (утро, день, вечер) и количеством пар у учащегося в день тестирования.
- *Номер попытки*. Имеет состояния «Последняя», «Не последняя». Здесь учитывается тот факт, то при сдаче теста с последней попытки уровень волнения студента может увеличиться, вследствие этого вероятность ошибки из-за невнимательности также будет выше.

Вершины *Логика ответов* и *Время* также имеют большое значение в данной модели, поэтому требуют детального описания.

- *Логика ответов*. Имеет состояния «Логично» и «Нелогично». Определяется количество ответов на базовые вопросы и более сложные, основанные на базовых. Большое количество правильных ответов на сложные вопросы и ошибки в базовых приводит вершину в состояние «Нелогично».
- *Время*. Имеет состояния «Правдоподобно» и «Неправдоподобно». Определяется временем ответов учащегося на каждое задание теста.

Как было сказано раньше, для моделирования работы системы необходимо заполнить таблицы условных вероятностей для вершин, имеющих родительские вершины. Одна из особенностей БСД заключается в том, что при отсутствии эмпирических данных возможно применять субъективные оценки вероятности пребывания дочерних вершин в различных состояниях, например, на основе мнений группы экспертов. Однако для повышения точности работы системы было принято решение о получении реальных данных для заполнения таблиц условных вероятностей.

С этой целью в системе дистанционного обучения Университета ИТМО было запущено анкетирование для учащихся 1–4 курсов бакалавриата. Учащимся было предложено ответить на вопросы, касающиеся их занятости, условий проживания, месте обучения до поступления в университет, условиях подготовки и др. Всего было получено 197 анкет. Вторым направлением в работе по формированию обучающей выборки является обработка протоколов тестирования. Она включает в себя вычисление среднего время ответа на каждый вопрос тестирования и допустимого отклонения от этого времени. Превышение этого отклонения будет свидетельствовать о том, что ответ на данный вопрос был дан за неправдоподобное время. После того, как результаты анкетирования и протоколы тестирования будут обработаны, необходимо сопоставить полученные данные с данными о каждом учащемся, хранящимися в электронной системе обучения, и сформировать выборку для моделирования работы системы.

Таким образом, система анализа процесса и результатов тестирования позволяет получить оценку достоверности полученного учащимся результата с учетом особенностей конкретного процесса тестирования. Результаты работы системы могут

быть использованы преподавателем при принятии решения о выставлении итоговой оценки. Кроме того, обучающая выборка на основе эмпирических данных позволит повысить точность работы системы и снизить вероятность ошибки при оценке результатов.

Литература

1. Ковтун С.А., Капитан С.Н., Савельев О.О. О концепции создания интеллектуальных тестирующих систем // Искусственный интеллект. – 2009. – № 4. – С. 360–364.
2. Данг Тхи Тхань Хуен. Интеллектуальная система тестирования знаний на основе байесовских сетей доверия // Изв. Тульского государственного университета. – 2011. – № 6. – С. 494–503.
3. Тулупьев А.Л., Николенко С.И., Сироткин А.В. Байесовские сети: логико-вероятностный подход. – СПб.: Наука, 2006. – 608 с.

**Егорова Анна Игоревна**

Год рождения: 1990

Университет ИТМО, факультет безопасности информационных технологий, кафедра проектирования и безопасности компьютерных систем, студент группы № N4250

Направление подготовки: 10.04.01 – Информационная безопасность

e-mail: stasjunas@gmail.com

**Борисенко Павел Сергеевич**

Год рождения: 1993

Университет ИТМО, факультет безопасности информационных технологий, кафедра проектирования и безопасности компьютерных систем, аспирант

Направление подготовки: 10.06.01 – Информационная безопасность

e-mail: borisenkopp@yandex.ru

**Левина Алла Борисовна**

Год рождения: 1983

Университет ИТМО, факультет безопасности информационных технологий, кафедра проектирования и безопасности компьютерных систем, к.ф.-м.н., доцент

e-mail: alla_levina@mail.ru

УДК 555.32**АТАКИ ПО СТОРОННИМ КАНАЛАМ НА СМАРТФОНЫ НА ПРИМЕРЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ АТАК И МЕТОДЫ ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ ИМ****Егорова А.И.¹, Борисенко П.С.¹****Научный руководитель – к.ф.-м.н., доцент Левина АБ.¹**¹Университет ИТМО

Работа выполнена в рамках темы НИР № 617026 «Разработка методов интеллектуального управления киберфизическими системами с использованием квантовых технологий».

В работе рассмотрены уязвимости смартфонов к атакам по сторонним каналам, на примере атаки по электромагнитному излучению. Электромагнитной называют пассивную атаку, которая связывает спектральные компоненты электромагнитного излучения с операциями, выполняемыми на устройстве, и в дальнейшем позволяет определять секретный ключ шифрования.

Ключевые слова: атаки по сторонним каналам, смартфоны, криптография, электромагнитное излучение.

Целью работы являлась проверка защищенности смартфонов к атакам по сторонним каналам. В настоящее время все устройства создают электромагнитное поле, которое можно измерить как непосредственно около объекта (в данном случае – вблизи смартфона), так и на некотором расстоянии от него [1–5].

Авторами было проведено исследование воздействия электромагнитной атаки на смартфоны в пластиковых и металлических корпусах (на примере смартфона Xiaomi

Mi5 в пластиковом корпусе и смартфона Xiaomi Redmi Note 3 в металлическом корпусе). Измерения проводились непосредственно вблизи процессора смартфонов и на расстоянии 50 см от смартфона.

При помощи цифрового запоминающего осциллографа, антенны и зонда были проведены измерения на указанных выше смартфонах. Все измерения были проведены на смартфонах, находящихся в автономном режиме (с выключенными антеннами). При включенных антеннах имели место побочные помехи, которые не позволили снять чистый сигнал (рис. 1).

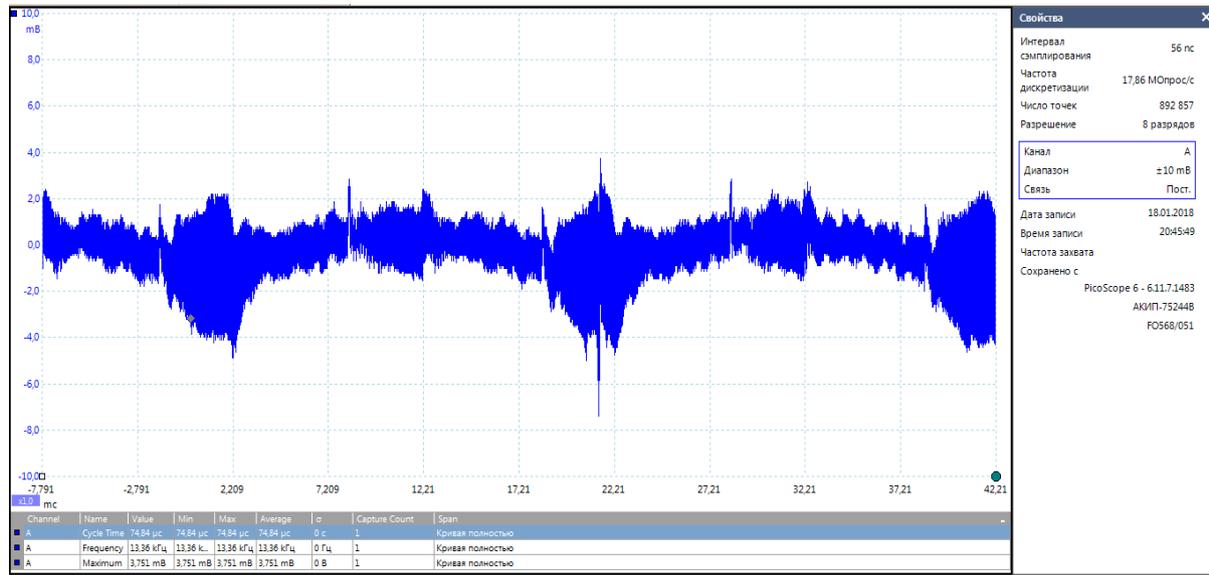


Рис. 1. Побочные шумы при включенной антенне смартфона

В первую очередь измерения были выполнены для неэкранированного смартфона Xiaomi Mi5 без запуска хэширования функции SHA-3. Далее, для того же смартфона было запущено выполнение хэш-функции SHA-3. На спектрограмме был обнаружен временной всплеск лепестков сразу при запуске алгоритма хэширования, который определяется с 17,21 мс (рис. 2).

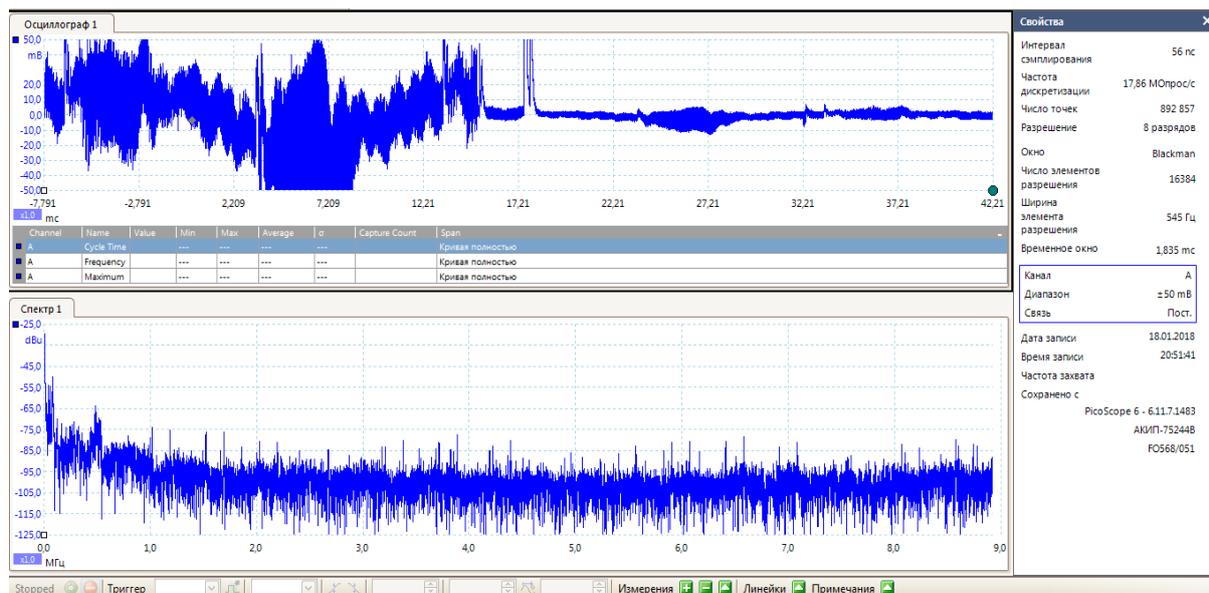


Рис. 2. Атака на смартфон Xiaomi Mi5 в пластиковом корпусе с запущенным алгоритмом хэширования SHA-3

Анализ приведенных исследований проводился при помощи окна Блэкмана. Окно Блэкмана – это весовая функция, которая используется для управления эффектами, обусловленными наличием боковых лепестков в спектральных оценках (растеканием спектра). Данный пример – хороший способ визуализировать сигнал с помощью спектрограммы, которая отображает измеренную мощность как функцию времени и частоты.

Аналогичное исследование с такими же условиями было проведено для смартфона Xiaomi Redmi Note 3 в металлическом корпусе. В результате исследования было установлено, что ключ не может быть выявлен с помощью электромагнитной атаки или атаки по времени. При изменении расстояния до смартфонов (50 см) были получены только побочные помехи.

В рамках исследования также было выявлено, что смартфоны в пластиковых корпусах более уязвимы перед электромагнитными атаками, чем модели в металлических корпусах. При этом основной защитой от атак по сторонним каналам для смартфонов считается экранирование каждого элемента. Например, подобное экранирование применяется в смартфоне Motorola Droid Bionic Teardown. Включение антенны смартфона также может значительно усложнить получение качественного сигнала для проведения атаки.

Литература

1. Лебедько Е.Г. Системы импульсной оптической локации. – СПб.: Лань, 2014. – 368 с.
2. Корпоративные информационные системы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://pandia.ru/text/78/263/4531.php/>, своб.
3. Ozan O., Ozarslan Y. Video lecture watching behaviors of learners in online courses // Educational Media International. – 2016. – V. 53. – P. 27–41.
4. Лысыч М.Н., Шабанов М.Л., Жадобкина В.В. Современные системы 3D сканирования // Молодой ученый. – 2014. – № 20. – С. 167–171.
5. Яблочников Е.И., Фомина Ю.Н., Грибовская А.А. Организация технологической подготовки производства в распределенной среде // Изв. вузов. Приборостроение. – 2010. – Т. 53. – № 6. – С. 12–15.

**Егоров Роман Александрович**

Год рождения: 1993

Университет ИТМО, факультет систем управления и робототехники, кафедра технологий интроскопии, аспирант

Направление подготовки: 12.06.01 – Фотоника, приборостроение, оптические и биотехнические системы и технологии

e-mail: roman1465@yandex.ru

Кадыр Гулинур Алымжанкызы

Год рождения: 1994

Университет ИТМО, факультет систем управления и робототехники, кафедра технологий интроскопии, студент группы № В4255с

Направление подготовки: 12.04.01 – Информационно-измерительные комплексы

e-mail: gulinur.kadyr.94@mail.ru

**Кузьмичев Михаил Валерианович**

Год рождения: 1992

Университет ИТМО, факультет систем управления и робототехники, кафедра технологий интроскопии, аспирант

Направление подготовки: 12.06.01 – Фотоника, приборостроение, оптические и биотехнические системы и технологии

e-mail: kuzmichev.m92@gmail.com

УДК 620.178.151.2

**РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМИЧЕСКОГО И ПРОГРАММНО-ТЕХНИЧЕСКОГО
ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПЕРВИЧНОЙ ОБРАБОТКИ СИГНАЛА
ПРИ ДИНАМИЧЕСКОМ ИНДЕНТИРОВАНИИ****Егоров Р.А.¹, Кадыр Г.А.¹, Кузьмичев М.В.¹****Научный руководитель – д.т.н., профессор Федоров А.В.¹**¹Университет ИТМО

В работе рассмотрена разработка и реализация алгоритма первичной обработки измерительного сигнала, получаемого с первичного преобразователя при динамическом индентировании. Выполнена модернизация алгоритма с учетом результатов исследований, проведенных другими авторами. Реализация алгоритма произведена в вычислительной среде MATLAB. В качестве первичного преобразователя использовался преобразователь, входящий в состав прибора динамического индентирования «ИСПГ-1», разработанного в Институте прикладной физики НАН Беларуси.

Ключевые слова: динамическое индентирование, алгоритм, обработка сигнала, неразрушающий контроль, прибор.

В настоящее время одним из перспективных неразрушающих методов оценки механических характеристик материалов изделий является метод динамического индентирования (ДИ). Сущность данного метода заключается в ударном внедрении жесткого индентора с заданной кинетической энергией в испытуемый материал с одновременной регистрацией процесса внедрения [1]. Под регистрацией процесса внедрения подразумевается непрерывное определение параметров движения индентора во времени (скорости, глубины внедрения или контактного усилия). В данной работе в качестве первичного преобразователя используется преобразователь, входящий в состав прибора ДИ «ИСПГ-1», разработанного в Институте прикладной физики НАН

Беларуси. В его основе лежит магнитоиндукционный метод, заключающийся в регистрации электродвижущей силы (ЭДС), наводимой в катушке датчика в результате помещения в нее магнита, жестко закрепленного с индентором.

Основное достоинство данного типа преобразователей состоит в том, что их выходной сигнал – ЭДС $\varepsilon(t)$ в допустимом приближении можно считать линейно зависимым от скорости внедрения индентора $V(t)$ [2]:

$$\varepsilon(t) = kV(t), \quad (1)$$

где k – коэффициент пропорциональности, который зависит от конструктивных параметров преобразователя.

В области разработки приборов ДИ в мире совершен ряд достижений, однако, в настоящее время не существует отечественного аналога такого устройства. Для его создания необходимо разработать единый алгоритм обработки результатов ДИ, получаемых с первичного преобразователя.

Целью данной работы являлось совершенствование алгоритмического обеспечения обработки первичного сигнала магнитно-индукционного преобразователя для повышения точности оценки механических характеристик материалов.

Алгоритм получения массива $V(t)$ (несущего информацию о контактном взаимодействии) из ЭДС состоит из следующих этапов:

- аналого-цифровое преобразование зависимости $\varepsilon(t)$ на выходе из первичного преобразователя и запись полученного дискретного двумерного массива в память компьютера;
- применение операции цифровой фильтрации к полученному массиву ЭДС;
- аппроксимация дискретной зависимости $\varepsilon(t)$, сохранение коэффициентов аппроксимирующего уравнения и генерация нового двумерного массива по аппроксимирующей функции;
- выделение и последующее удаление из аппроксимированного массива областей, не несущих информации о процессе контактного взаимодействия;
- приведение полученной зависимости к $V(t)$ путем поэлементного деления дискретной зависимости на коэффициент пропорциональности (1).

Процесс дальнейшей обработки зависимости $V(t)$ в данной работе не рассматривался.

Особое внимание уделено процедуре выделения на всем участке скорости областей активного τ_{act} и пассивного этапов τ_{pas} контактного взаимодействия (рис. 1).

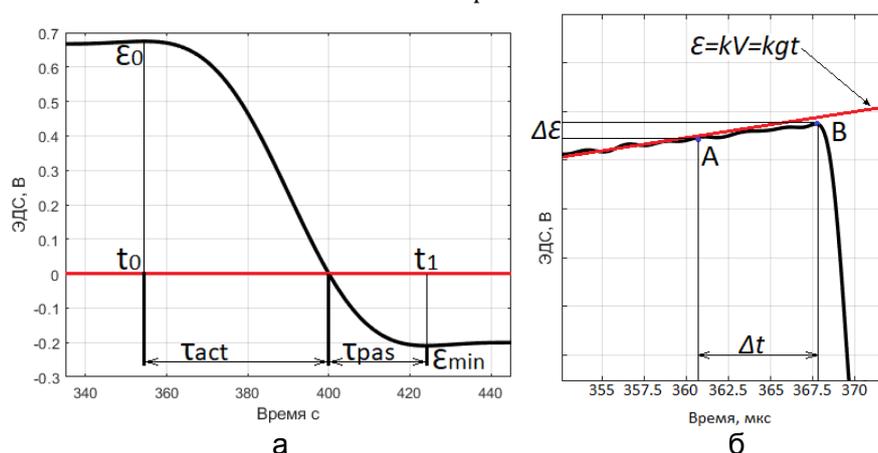


Рис. 1. Типичная диаграмма изменения ЭДС, получаемая в результате ударного взаимодействия (а); фрагмент кривой изменения скорости (б)

На рис. 1, а, изображена типичная диаграмма ЭДС, отражающая зависимость $V(t)$. Для определения начала контактного взаимодействия можно сделать предположение, что, в момент соприкосновения индентора с поверхностью образца, скорость индентора, а значит, и ЭДС имеет максимальное значение.

Однако в работе [3] показано, что в момент касания индентором испытываемой поверхности в точке А начинается отход скорости от прямой, хотя рост скорости индентора сохраняется (рис. 1, б). Это происходит до момента достижения ударной системой максимума кинетической энергии, что соответствует равенству контактной силы и силы тяжести ударной системы (точка В на рис. 1, б).

Схожая картина наблюдается и в конце пассивного этапа удара, где автор также выделяет точки С и D (рис. 2).

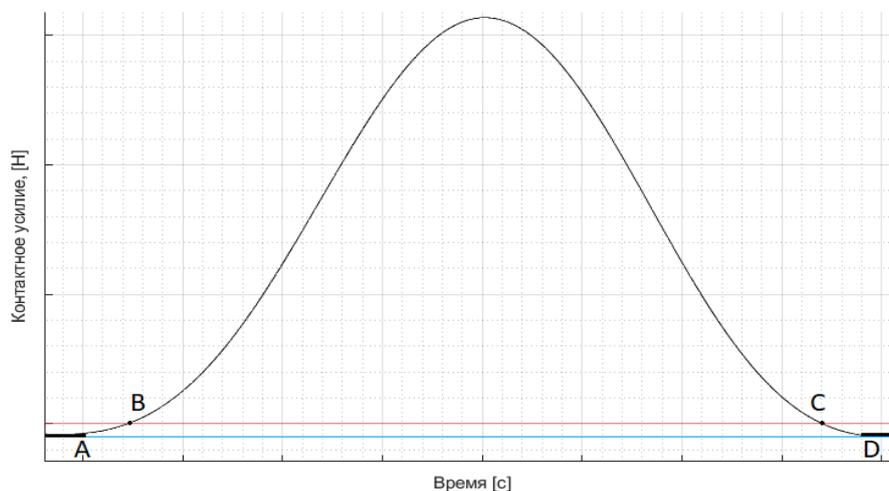


Рис. 2. Зависимость полного контактного усилия $F(t)$

Таким образом, регистрация начала активного и конца пассивного этапов удара по абсолютным максимумам скорости будет вносить погрешность в дальнейшее определение характеристик материала. Поэтому для определения границ τ_{act} и τ_{pas} предпочтительнее использовать зависимость изменения контактного усилия во времени $F(t)$, получаемую путем дифференцирования скорости индентора $V(t)$.

Алгоритм поиска данных точек состоит из следующих этапов:

1. выделение участков на концах массива, в которых скорость имеет линейную зависимость (когда на индентор действует только сила тяжести);
2. аппроксимация этих участков полиномом первой степени;
3. поэлементное сравнение массива ЭДС и значения полученной функции вида $y=kx+b$ в одних и тех же временных точках.

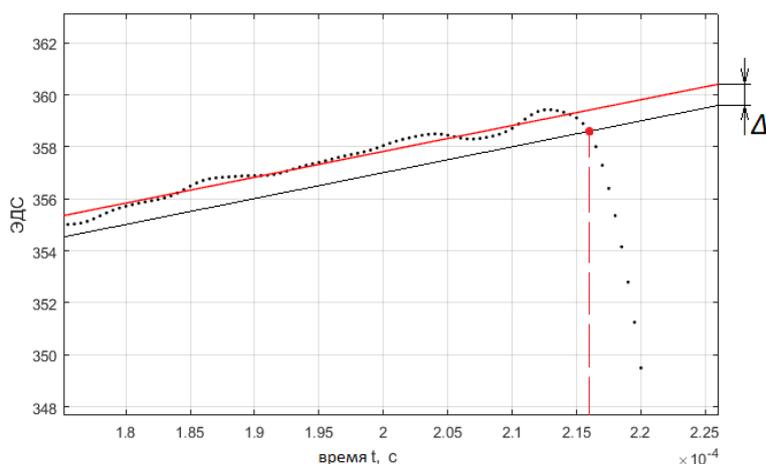


Рис. 3. Процедура поиска точки соприкосновения индентора с поверхностью образца на временной оси

Как только расхождение превысит заданное значение Δ , производится запись номера предыдущего элемента массива и удаление элементов, предшествующих ему.

На рис. 3 наглядно показан последний этап алгоритма для поиска точки А по массиву данных изменения скорости во времени. Красной линией показан результат аппроксимации линейного участка. Черная линия отображает заданное отклонение Δ .

Реализация алгоритма производилась в вычислительной среде MATLAB.

В качестве входного сигнала были взяты данные с первичного преобразователя прибора ДИ «ИСПГ-1». Регистрация и оцифровка данных проводилась при помощи осциллографа WaveRunner WR 44Xi-A компании LeCroy Corporation на частоте дискретизации 5 МГц.

Для оценки работы алгоритмов проводилось сравнение результатов их работы с результатами на выходе прибора ДИ «ИСПГ-1» для металлической меры твердости 101НВ.

Таблица 1. Оценка работы алгоритмов выделения контактного взаимодействия

Способ получения	Начало активного этапа удара τ_{act} , мкс	Конец пассивного этапа удара τ_{pas} , мкс	Полное время удара $\tau_{act} + \tau_{pas}$, мкс
Прибор «ИСПГ-1»	937,55	995,55	58,00
Из $V(t)$	941,26	989,54	48,28
Из $F(t)$	935,84	999,60	63,76

Из табл. 1 видно, что алгоритм выделения контактного взаимодействия на основе зависимости $F(t)$ дает лучший результат, поскольку он захватывает переходные участки АВ и CD (рис. 1, б, и рис. 2). В результате не наблюдается потеря полезной информации, а распознаваемое полное время удара получается больше в сравнении с алгоритмом с исходными данными $V(t)$ и алгоритмом, заложенным в приборе «ИСПГ-1».

Результат работы общего алгоритма, приведенного в начале статьи, также сравнивался с результатом, полученным с прибора (рис. 4 и 5).

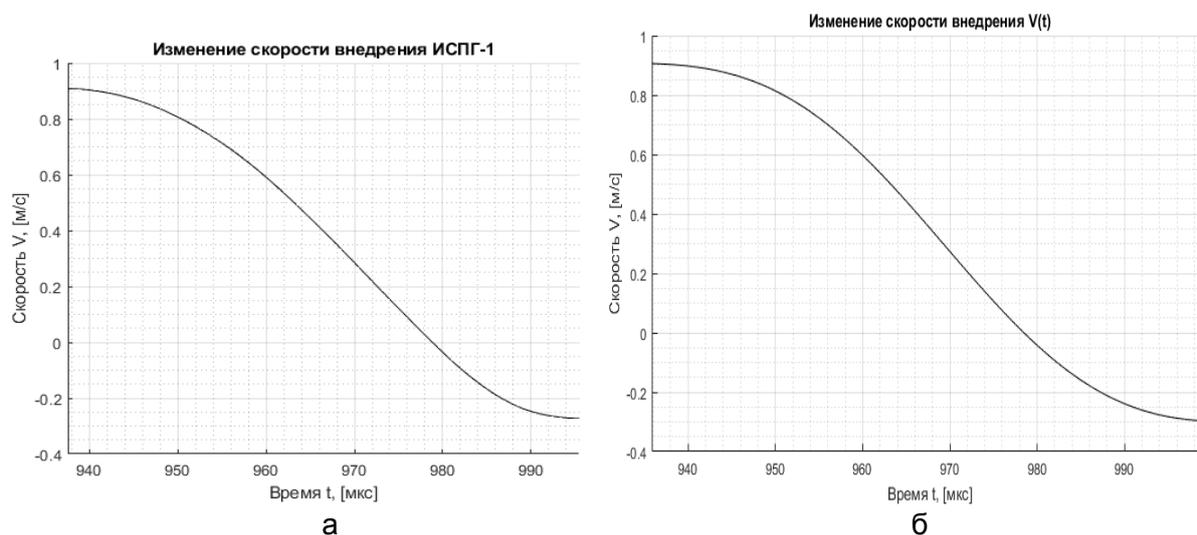


Рис. 4. Кривая изменения скорости: разработанный алгоритм (а); данные с прибора ДИ «ИСПГ-1» (б)

В качестве количественной оценки разработанного алгоритма была рассчитана его погрешность относительно результатов прибора «ИСПГ-12 (относительная погрешность)» (табл. 2). Погрешность оценивалась для двух точек на кривых изменения глубины внедрения полученных путем интегрирования зависимостей $V(t)$ (рис. 5).

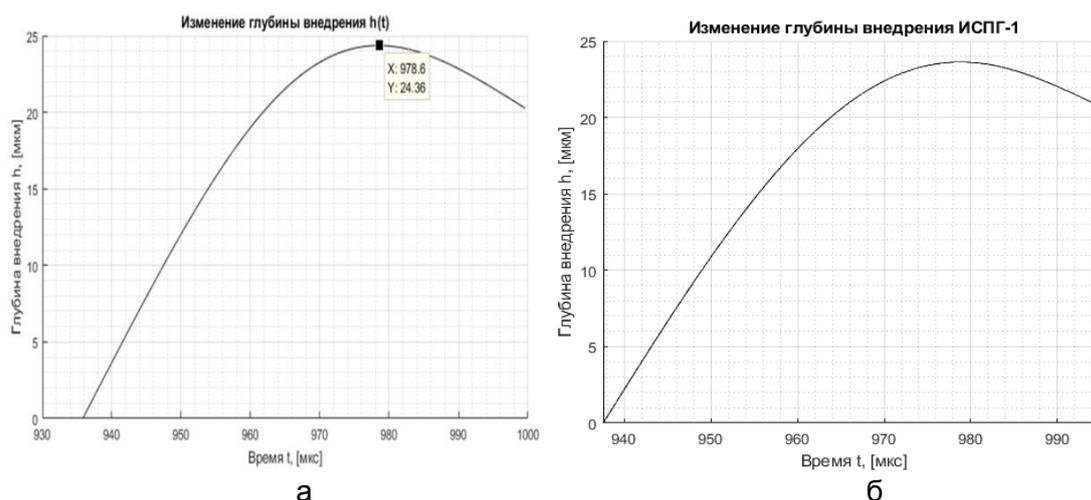


Рис. 5. Изменение глубины внедрения индентора: разработанный алгоритм (а); данные с прибора ДИ «ИСПГ-1» (б)

Таблица 2. Определение относительной погрешности

Максимальное внедрение, h_{\max} , мкм	Пластический отпечаток, h_f , мкм	Отклонение для максимального внедрения, Δh_{\max}	Отклонение для пластического отпечатка, Δh_f	Относительная погрешность	
				для максимального внедрения, $\delta_{h_{\max}}$	для пластического отпечатка, δ_{h_f}
Модель MATLAB		0,73 мкм	0,3 мкм	3%	1,4%
24,36	20,26				
Прибор «ИСПГ-1»		0,73 мкм	0,3 мкм	3%	1,4%
23,63	20,56				

В результате данного исследования было проверено утверждение о необходимости перехода от первичного сигнала скорости внедрения индентора к зависимости контактного усилия $F(t)$ для выделения участка контактного взаимодействия. Данные, представленные в табл. 1, подтверждают приведенное утверждение. На основе этих результатов, в общий алгоритм обработки первичных измерительных данных были внесены изменения.

В настоящее время продолжается поиск путей по возможности модернизации общего алгоритма, который в дальнейшем ляжет в основу отечественного аналога прибора ДИ «ИСПГ-1».

Литература

- ГОСТ Р 56474-2015. Системы космические. Контроль неразрушающий физико-механических свойств материалов и покрытий космической техники методом динамического индентирования. – Введен 01.01.2016. – М.: Стандартинформ, 2015. – С. 15–17.
- Рудницкий В.А., Рабцевич А.В. Метод динамического индентирования для оценки механических характеристик металлических материалов // Дефектоскопия. – 1997. – № 4. – С. 79–86.
- Крень А.П. Контроль физико-математических свойств и трещиностойкости неметаллических конструкционных материалов методами индентирования: автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук: специальность 05.11.13 / Крень Александр Петрович; Государственное научное учреждение «Институт прикладной физики Национальной академии наук Беларуси».

**Екименко Антон Андреевич**

Год рождения: 1993

Университет ИТМО, факультет систем управления и робототехники, кафедра систем управления и информатики, аспирант

Направление подготовки: 09.06.01 – Информатика

и вычислительная техника

e-mail: ekimenkoanton@mail.ru

Низовцев Сергей Игоревич

Год рождения: 1992

Университет ИТМО, факультет систем управления и робототехники, кафедра систем управления и информатики, аспирант

Направление подготовки: 09.06.01 – Информатика и вычислительная техника

e-mail: nisovcevsergey@mail.ru

Шаветов Сергей Васильевич

Год рождения: 1988

Университет ИТМО, факультет систем управления и робототехники, кафедра интеллектуальных технологий промышленной робототехники, к.т.н., доцент

e-mail: s.shavetov@corp.ifmo.ru

УДК 004.93'12; 004.933.2

**КЛАССИФИКАЦИЯ ОБЪЕКТОВ НА ОСНОВЕ СУММАРНЫХ
ХАРАКТЕРИСТИК ЭТАЛОННЫХ МОДЕЛЕЙ**Екименко А.А.¹, Низовцев С.И.¹Научный руководитель – к.т.н., доцент Шаветов С.В.¹¹Университет ИТМО

В настоящее время актуальным направлением развития промышленных роботов стало оснащение роботов системами технического зрения для работы в изменяющейся окружающей среде. Такие системы должны по входному изображению распознавать и классифицировать объекты рабочего пространства робота. Для классификации изображения требуется выполнить несколько шагов, объединенных в единый алгоритм. В данной работе рассмотрены два наиболее известных классификатора: метод k -средних и метод опорных векторов. Для их сравнения использовалась общая модель «мешок слов».

Ключевые слова: компьютерное зрение, машинное обучение, мешок слов, метод ближайших соседей, метод опорных векторов.

Введение. Способность человека быстро и точно классифицировать окружающие объекты является незаменимой в повседневной жизни. Торп [1] и его коллеги обнаружили, что люди способны очень быстро классифицировать сложные природные сцены. Первым шагом в распознавании сложной сцены является распознавание самих объектов сцены, а затем выполняется распознавание категории сцены. Для распознавания сцен в компьютерном зрении используются специальные классификаторы, обладающие различными характеристиками и особенностями, которых существует достаточно много. Среди них стоит отметить следующие: наивный байесовский классификатор, метод опорных векторов, метод k -ближайших соседей, модель гауссовой смеси, радиальная базисная функция (РБФ), деревья решений и другие [2]. Перечисленные классификаторы используются в алгоритмах распознавания объектов.

Разумеется, распознавание объектов является довольно сложной задачей и приведенные выше методы не дают идеальных результатов при использовании их на

практике по нескольким причинам: существует большое количество около 30 000 различных категорий объектов, одни и те же объекты выглядят разными в зависимости от направления освещения и угла обзора, представления объекта могут быть масштабированы или деформированы, на изображении могут присутствовать перекрытия, существовать внутрикласовая изменчивость объекта, и многие другие причины.

В этой работе сравниваются два известных метода классификации: метод опорных векторов и метод k -ближайших соседей. Экспериментальная апробация методов производится на наборе данных из базы изображений Caltech-4.

Представление изображения. Одним из наиболее часто используемых подходов в классификации изображений является метод «Мешок слов» [3]. Данный алгоритм строит представление каждого изображения в виде нормированной гистограммы встречаемости «визуальных слов», полученных из тестовой выборки, на основе которых строятся классификаторы.

Типичный метод классификации, использующий модель мешка слов, состоит из четырех этапов:

1. детектирование ключевых точек;
2. построение дескрипторов локальных окрестностей ключевых точек;
3. кластеризация полученных дескрипторов и получение описания изображений в виде гистограмм вхождений «визуальных слов»;
4. построение классификатора на основе полученных описаний изображения.

– Определение ключевых точек. Первым шагом в рассматриваемых методах классификации является нахождение ключевых точек на изображении. У любого объекта на изображении есть определенные особенности или характеристики, называемые ключевыми точками, которые могут быть извлечены и идентифицированы для дальнейшей классификации данного объекта. В качестве детектора и дескриптора ключевых точек было решено использовать алгоритм SIFT, поскольку данный метод является инвариантным по отношению к поворотам объекта или камеры, изменению масштаба изображения или перемещению объекта на сцене, а также к аффинным изменениям освещенности [4].

Алгоритм детектирования состоит из следующих шагов:

1. построение пирамид гауссиан и разностей гауссиан;
2. определение ключевых точек, как локальных экстремумов разностей гауссиан;
3. вычисление ориентации ключевых точек исходя из направления градиентов точек окрестности.

Для надежного распознавания важно, чтобы ключевые точки, извлеченные из тренировочного изображения, были обнаружены даже при изменении масштаба изображения, шума и освещенности, поэтому для получения инвариантного представления найденных ключевых точек вычислим дескрипторы их локальных окрестностей. На первом этапе необходимо повернуть окно ключевой точки на угол ее направления. Далее требуется разделить окно на 16 равных квадратных областей (регионов) и, затем для каждого из них вычислить гистограмму градиентов выбранного региона по 8 принципиальным направлениям (0, 45, 90, 135, 180, 225, 270, 315, 360°).

В результате вышеописанных шагов получится дескриптор одной ключевой точки размерностью $4 \times 4 \times 8$. После преобразования найденных ключевых точек в числовые векторы каждое изображение будет представлять собой набор из 128-мерных векторов.

– Кластеризация ключевых точек. Следующим шагом метода «мешок слов» является формирование «словаря» из полученных на предыдущем шаге дескрипторов ключевых точек, принадлежащих всем объектам обучающей выборки. Для решения данной задачи может использоваться метод k -средних.

Метод кластеризации k -средних представляет собой метод группировки и разбиения некоторого количества элементов или, в нашем случае, ключевых точек на k -кластеров, в которых каждая ключевая точка принадлежит к кластеру его ближайшего среднего. Используя данный метод, кластеризуем выделенные ключевые точки и подготовим данные для формирования гистограмм.

Построенный словарь должен отвечать двум требованиям: во-первых, он должен быть достаточно большим, чтобы отражать релевантные изменения частей изображения; во-вторых, он не должен быть избыточным, чтобы алгоритм был устойчив к шуму. Таким образом, неверный выбор числа кластеров может дать неудовлетворительный результат.

- Вычисление гистограмм изображений. Каждая часть изображения отображается в определенный элемент словаря через k -средних кластеризацию. Таким образом, каждое изображение может быть представлено в виде гистограммы слов, полученных на предыдущем шаге формирования словаря.

Данный шаг является последним перед непосредственной классификацией и заключается в генерации описания изображений в виде гистограмм встречаемости слов. Гистограмма строится по следующему принципу: для каждого кластера вычисляется количество отнесенных к нему ключевых точек, принадлежащих определенному изображению.

Классификация. Проблема классификации объектов может быть представлена как задача определения категории или класса, к которым относятся новые наблюдения, на основе учебного набора данных, содержащих наблюдения с известными категориями или классами.

Целью модели «мешок слов» является получение описания изображения. Для каждого изображения обучающей выборки при помощи метода SIFT были найдены дескрипторы ключевых точек. Используя метод кластеризации k -средних из ключевых точек, принадлежащих всем объектам обучающей выборки, был построен словарь. Для каждого изображения было получено описание в виде гистограммы встречаемости слов. Таким образом, после проведенных процедур, классификация изображений может быть выполнена путем сравнения гистограмм.

Как правило, классификаторы работают по следующему принципу. Сначала выполняется построение тренировочных данных в некотором многомерном пространстве, затем в этом же пространстве строятся исследуемые данные и сравниваются точки тренировочных и исследуемых данных.

- Метод k -средних. Алгоритм классификации методом k -ближайших соседей – это метод классификации объектов на основе поиска ближайших тренировочных примеров с уже известным классом. При выполнении классификации объекта он присваивается тому классу, который является наиболее распространенным среди k -соседей данного элемента с известными классами. Алгоритм k -ближайшего соседа является одним из самых простых методов машинного обучения.

Процесс обучения для этого алгоритма состоит в сохранении векторов признаков и меток тренировочных изображений. В процессе классификации неклассифицированной исследуемой точке просто присваивается метка ее ближайших соседей. Если $k=1$, то объекту просто присваивается класс ближайшего к нему объекта. Если существует только два класса, то k должно быть нечетным целым числом.

После преобразования каждого изображения в вектор фиксированной длины с действительными числами воспользуемся наиболее распространенной метрикой расстояния для данного метода – евклидово расстояние:

$$d(x, y) = \|x - y\| = \sqrt{(x - y)(x - y)} = \left(\sum_{i=1}^m ((x_i - y_i)^2) \right)^{1/2}, \quad (1)$$

где x и y – гистограммы в $X = R^m$.

Основным преимуществом алгоритма k -средних является то, что он хорошо работает с мультимодальными классами (классы, состоящие из объектов, независимые переменные которых имеют разные характеристики для разных подмножеств), так как в основе его решения лежит небольшая окрестность подобных объектов. Поэтому даже если целевой класс является мультимодальным, алгоритм все равно дает достаточно точные результаты. Основным же недостатком алгоритма является то, что он использует все ключевые точки одинаково для вычисления сходства. Это может привести к ошибкам классификации, особенно если имеется только небольшое подмножество ключевых точек, полезных для классификации.

- Метод опорных векторов. Классификация по методу опорных векторов (Support Vector Machine, SVM) использует различные плоскости в пространстве для разделения точек данных.

Метод SVM заключается представлении объектов в пространстве таким образом, чтобы объекты отдельных категорий или классов могли быть разделены некоторой гиперплоскостью, которая максимизирует отступ между ближайшими объектами различного класса (опорные вектора). Это обусловлено тем, что если разделяющая плоскость имеет наибольшее расстояние до ближайших точек тренировочных данных любого класса, то снижается средняя ошибка классификатора. Затем все новые точки отображаются в то же пространство и классифицируются в зависимости от того, на какую сторону от разделяющей гиперплоскости они попадают.

Таким образом, целью классификации по методу опорных векторов является создание модели, основанной на обучающих данных, которая может точно предсказывать класс тестовых данных. Для обучающих наборов пар экземпляров $(x_i, y_i), i = 1, \dots, l$, где x_i и y_i – гистограммы изображений обучающей выборки, $x_i \in R^n$ и $y_i \in \{1, -1\}^l$ – решение задачи опорных векторов, можно найти как решение следующей задачи оптимизации:

$$\min_{w, b, \xi} \frac{1}{2} w^T w + C \sum_{i=1}^n \xi_i. \quad (2)$$

При условии, что

$$y_i (w^T \varnothing(x_i) + b) \geq 1 - \xi_i, \xi_i \geq 0, \quad (3)$$

где функция \varnothing отображает векторы обучающей выборки x_i в пространство более высокой размерности, C – параметр регуляризации [5], w – перпендикуляр к разделяющей гиперплоскости, $\frac{b}{\|w\|}$ – модуль расстояния между гиперплоскостью до началом координат; ξ – величина ошибки.

В данной работе использовались два различных ядра: линейная функция (4) и РБФ (5).

$$K(x_i, x_j) = x_i^T x_j. \quad (4)$$

$$K(x_i, x_j) = \exp\left(-\gamma \|x_i - x_j\|^2\right), \gamma > 0, \quad (5)$$

где $\gamma = 1/2\sigma$; σ – параметр определяющий диаметр сферы РБФ.

Основным преимуществом классификации методом опорных векторов является то, что он хорошо работает с наборами данных, которые имеют множество атрибутов, даже если для процесса обучения доступно всего несколько вариантов. В качестве недостатков метода SVM можно выделить следующие: метод не неустойчив по отношению к шуму в исходных данных, метод не работает, если классы линейно не делимы.

Результаты. Апробация алгоритмов была выполнена на 5 разных наборах данных, каждый из которых содержал примерно 2800 учебных изображений и 700 тестовых изображений. Для сравнения работы классификаторов k -средних и метода опорных векторов за основу был взят алгоритм «мешок слов». Программная реализация приведенных алгоритмов была выполнена на языке Python с использованием библиотеки компьютерного зрения OpenCV. Обучение и тестирование алгоритмов проводилось на наборе данных Caltech-4, состоящего из 3500 изображений четырех разных классов (самолеты, автомобили, лица и мотоциклы).

Оценка работы методов проводилась по методу скользящего контроля: набор изображений был разделен на пять непересекающихся частей, каждая из которых поочередно использовалась для тестирования, а остальные четыре – для обучения. Полученные усредненные результаты представлены в табл. 1 и 2.

Лучший результат для метода k -средних был получен для словаря размером 50 слов. При увеличении размера словаря наблюдалось резкое уменьшение точности определения класса автомобилей, при этом для других классов точность росла, однако не настолько, чтобы компенсировать потерю точности обнаружения автомобилей. Тестирование алгоритма было проведено с 5 различными значениями k (количество ближайших соседей) – 1, 5, 10, 15, 20. Лучшие показатели были получены для $k=5$. Полученные результаты представлены в табл. 1. В диагональных ячейках показан процент точно классифицированных изображений, остальные поля показывают ошибочно классифицированные изображения. Средняя точность для классификатора методом k -средних при $k=5$ составила 78,03%.

Таблица 1. Результаты классификации метода ближайших соседей

	Самолеты	Автомобили	Лица	Мотоциклы
Самолеты	87,24%	0,09%	8,47%	4,19%
Автомобили	5,28%	61,13%	7,79%	25,80%
Лица	5,57%	0%	87,74%	6,69%
Мотоциклы	5,56%	0%	10,05%	84,39%

Лучший результат классификации для метода опорных векторов был получен для словаря размером 500 слов и значения параметра регуляризации $C=10000$. По результатам проведенного тестирования было обнаружено, что данный классификатор по сравнению с методом k -средних, гораздо лучше справляется с задачей определения класса автомобилей. Количество верно определенных изображений класса автомобилей составило 96% от общего числа изображений автомобилей, что и отразилось на общей точности классификатора. Полученные результаты представлены в табл. 2. Средняя точность для всего классификатора со значением параметра регуляризации $C=10000$ составила 91,9%.

Таблица 2. Результаты классификации метода опорных векторов

	Самолеты	Автомобили	Лица	Мотоциклы
Самолеты	93,39%	0,65%	3,45%	2,51%
Автомобили	0,78%	96,79%	0,35%	2,08%
Лица	4,46%	1,34%	86,85%	7,36%
Мотоциклы	3,03%	4,36%	2,06%	90,56%

Заключение. В данной работе было реализовано два различных метода классификации изображений: метод k -средних и метод опорных векторов, произведена их экспериментальная апробация на наборе данных Caltech-4. Средняя точность определения класса изображения для классификатора по методу k -средних составила 78,03%, для классификатора, построенного по методу опорных векторов, составила

91,9%. На основании полученных результатов сделан вывод, что классификатор, построенный по методу опорных векторов, на 12% точнее определяет класс изображения. Однако если исключить из рассмотрения класс автомобилей, то такого существенного различия наблюдаться не будет, разница в точности составит около 4%.

Эффективность различных методов классификации в значительной степени зависит от классифицируемых данных. Точную связь между классифицируемыми данными и эффективностью различных методов классификации еще предстоит выяснить. До сих пор не было разработано метода классификации, который одинаково хорошо работает с различными классами данных. В современных методах классификации существуют различные проблемы. Стоит отметить, что для определения лучшего метода классификации для определенного набора данных используется эмпирический подход, приходится перебирать различные методы для получения более высокой точности. В последующих работах планируется рассмотрение классов изображений, трудно подающихся классификации, и более сложных классификаторов; определение характеристик в различных классах изображений, которые делают один метод классификации эффективнее другого.

Литература

1. Thorpe S., Fize D. and Marlot C. Speed of processing in the human visual system // *Nature*. – 1996. – V. 381. – P. 520–522.
2. Szeliski R. *Computer Vision: Algorithms and Applications*. – Springer, 2011. – 812 p.
3. Savarese S., Winn J. and Criminisi A. Discriminative Object Class Models of Appearance and Shape by Correlations [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.cs.utexas.edu/~grauman/courses/spring2007/395T/papers/savarese_cvpr2006.pdf, своб.
4. Lowe D.G. Object recognition from local scale-invariant features // *Proceedings of the International Conference on Computer Vision*. – 1999. – V. 2. – P. 1150–1157.
5. Hsu C.-W., Chang C.-C. and Lin C.-J. *A Practical Guide to Support Vector Classification* Taiwan: Department of Computer Science, National Taiwan University, 2010. – 16 p.

**Жарков Арсений Дмитриевич**

Год рождения: 1996

Университет ИТМО, факультет безопасности информационных технологий, кафедра проектирования и безопасности компьютерных систем, студент группы № N3456

Направление подготовки: 10.03.01 – Информационная безопасность

e-mail: arsenzhar@gmail.com

**Савков Сергей Витальевич**

Год рождения: 1988

Университет ИТМО, факультет безопасности информационных технологий, кафедра безопасности киберфизических систем

e-mail: sergsavkov@gmail.com

УДК 555.32

**АНАЛИЗ УЯЗВИМОСТЕЙ RUBY ON RAILS ПРИЛОЖЕНИЯ
«ГРАФИОЗ МОНИТОРИНГ»****Жарков А.Д.¹****Научный руководитель – ассистент Савков С.В.¹**¹Университет ИТМО

Приложение «Графиоз мониторинг» написано на языке Ruby с использованием фреймворка Rails. В работе рассмотрены инструменты для анализа защищенности веб-приложений в целом и Rails приложений, в частности. С помощью выбранных инструментов был проведен анализ защищенности приложения «Графиоз мониторинг». В результате анализа были выявлены уязвимости в коде приложения, в используемых библиотеках и уязвимости веб-сервера, а также была обнаружена утечка конфиденциальной информации. С учетом специфики данного приложения были выделены критические уязвимости: угрозы из списка OWASP в коде приложения, незакрытые уязвимости библиотек, ключи, хранящиеся в открытом виде.

Ключевые слова: Ruby, Rails, безопасность веб-приложений, OWASP, анализ защищенности.

Целью данной работы являлся анализ защищенности Ruby on Rails приложения «Графиоз мониторинг». Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

1. изучить средства для анализа защищенности ruby on rails приложений;
2. провести поиск уязвимостей приложения «Графиоз мониторинг», изученными средствами;
3. выделить наиболее критичные уязвимости для данного приложения.

В современном мире веб-приложения играют существенную роль. Поэтому к их безопасности предъявляются высокие требования. На Ruby on Rails написаны такие проекты, как GitHub, GitLab, Redmine и многие другие, поэтому обеспечение безопасности языка Ruby и фреймворка Rails является актуальной задачей. Так как приложение «Графиоз мониторинг» находится на стадии эксплуатации, вопрос безопасности стоит на первом месте.

Угрозы безопасности веб-приложений включают похищение пользовательской записи, обход контроля доступа, чтение или изменение конфиденциальных данных.

Существует проект OWASP (Open Web Application Security Project) – это открытый проект обеспечения безопасности веб-приложений. OWASP составил список

из 10 наиболее опасных уязвимостей веб-приложений, в которые входят SQL-injection, XSS, CSRF, управление сессией и другие [1].

Rails предоставляет по умолчанию набор методов защиты от наиболее критичных угроз по версии OWASP. Проведение таких атак как SQL-injection, XSS, CSRF, затруднительно, если следовать соглашению Rails и правильно использовать возможности фреймворка (но чаще всего разработчики пренебрегают этим).

Веб-приложение «Графиоз мониторинг» было создано для использования Комитетом по природопользованию, охране окружающей среды и обеспечению экологической безопасности в целях мониторинга распространения голландской болезни вязов (графиоз) в Санкт-Петербурге.

Приложение позволяет сотрудникам Комитета выполнять следующие действия:

- добавлять данные об очагах болезни на карту;
- вносить подробную информацию об очагах (в том числе фото);
- получать сообщения от посетителей портала;
- просматривать аналитику по количеству, динамике и распространности болезни;
- добавлять новых пользователей в систему;
- управлять открытым порталом, доступ к которому не ограничен.

В рамках работы были выбраны следующие инструменты:

1. Brakeman – статический анализатор кода для Ruby on Rails приложений. В отличие от многих сканеров веб-безопасности, Brakeman смотрит на исходный код приложения. Это означает, что не нужно настраивать весь стек приложения, чтобы использовать его [2].

Одним из преимуществ данного инструмента является полный охват кода. Так как Brakeman сканирует весь код, он может обнаружить уязвимости в тех местах, которые еще не были введены в эксплуатацию, например, некоторые страницы, над которыми идет разработка.

У статического анализатора есть также и минусы, например, он анализирует только код. Динамические сканеры уязвимостей, которые работают на реальном веб-сайте, могут протестировать весь стек приложений, включая веб-сервер и базу данных. Естественно, Brakeman не сможет сообщить, имеет ли веб-сервер или другое программное обеспечение проблемы безопасности. Поэтому были выбраны следующие средства.

2. Detectify – это онлайн-сканер безопасности, который проверяет веб-приложение больше, чем на 700 уязвимостей. Сервис проводит автоматические тесты на проникновение в веб-приложения на основе спецификаций OWASP Top 10. Также у сканера нет ограничения на какой-либо конкретный предел URL-адреса, как это делают большинство других сервисов. Это дает преимущество, потому что на большинстве сайтов существуют страницы, которые скрыты от пользователей [3].
3. Bundler-audit – инструмент для проверки используемых библиотек на известные незакрытые уязвимости. Утилита проверяет версии библиотек в файле Gemfile.lock, проверяет наличие небезопасных источников используемых библиотек и не требует подключения к Интернету.

В результате Bundler-audit находит устаревшие версии библиотек с уязвимостями и дает рекомендации по установке тех версий, в которых данные уязвимости закрыты.

4. GitLeaks – утилита позволяет выявлять утечки конфиденциальной информации (ключей доступа к сторонним службам) в репозитории.

Многие веб-приложения и мобильные приложения взаимодействуют с внешними службами, например, как Facebook, Google и Amazon через веб-API. Механизм аутентификации между приложением и службой часто осуществляется через ключ API или пару идентификатора клиента API и секретного ключа.

Поскольку эти службы предназначены для вызова сторонними компонентами приложений, сами ключи должны быть недоступны для пользователей приложения. Тем не менее, многие разработчики приложений предпочитают публиковать исходный код своего приложения в репозиториях, таких как GitHub и BitBucket. В этом случае, если ключи разработчика встроены в исходный код, их можно легко украсть, так как они лежат в открытом доступе.

GitLeaks сообщает разработчику, что в проекте есть места, в которых указаны ключи в открытом доступе.

С помощью выбранных инструментов был проведен анализ защищенности веб-приложения «Графиоз мониторинг», который выявил следующие уязвимости:

1. Brakeman выявил 20 уязвимостей в коде приложения:
 - Cross-Site Scripting: 10;
 - File Access: 3;
 - Mass Assignment: 1;
 - Redirect: 3;
 - SQL-Injection: 3.
2. Detectify обнаружил TLS-сертификат устаревшей версии 1.0 и использование HTTP-ресурсы вместе с ресурсами HTTPS.
3. С помощью Bundler-audit были выявлены две библиотеки с устаревшими версиями, которые содержат в себе уязвимости:
 - Nokogiri 1.8.0 подвержена:
 - CVE-2017-9050 – уязвимость, связанная с анализом специфических последовательностей библиотекой libxml2. Данная уязвимость может привести к отказу в обслуживании;
 - CVE-2017-15412 – может привести к отказу в обслуживании (была исправлена в следующей версии Nokogiri 1.8.1);
 - CVE-2017-16932 – infinite recursion in parameter entities;
 - Paperclip 5.0.0 подвержена:
 - CVE-2017-0889 – Server Side Request Forgery.
4. С помощью утилиты GitLeaks было обнаружено, что ключи для доступа к Google Storage записаны в открытом виде в коде конфигураций. Google Storage является файловым хранилищем, в нем хранятся изображения, файлы открытых данных, а также файлы, которые составляют конфиденциальную информацию. Поэтому данная утечка является критической уязвимостью.

Получив ключи к Google Storage, злоумышленник может не только получить доступ ко всем файлам, а также изменять их и создавать новые.

Для приложения «Графиоз мониторинг» критичными угрозами являются:

- угрозы из списка OWASP;
- ключи, хранящиеся в открытом доступе;
- незакрытая уязвимость CVE-2017-9050 в библиотеке Nokogiri.

Реализация этих угроз может привести к отказу в обслуживании и утечке конфиденциальной информации.

В данной работе были описаны средства для анализа защищенности веб-приложений в целом – сервис Detectify и утилита GitLeaks, и в частности, для Ruby on Rails приложений – утилиты Brakeman и Bundler-audit.

Был проведен анализ защищенности приложения «Графиоз мониторинг», который выявил уязвимости в коде самого веб-приложения, а также уязвимости веб-сервера, на котором находится приложение «Графиоз мониторинг».

Литература

1. Ruby on Rails Cheatsheet [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.owasp.org/index.php/Ruby_on_Rails_Cheatsheet (дата обращения: 20.12.2017).
2. Introduction to Brakeman [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://brakemanscanner.org/docs/introduction/> (дата обращения: 10.04.2018).
3. What's under the hood [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://detectify.com/technology> (дата обращения: 11.04.2018).

**Завьялова Татьяна Александровна**

Год рождения: 1994

Университет ИТМО, факультет безопасности информационных технологий, кафедра проектирования и безопасности компьютерных систем, студент группы № N4250

Направление подготовки: 10.04.01 – Информационная безопасность

e-mail: zaviyalova.t.a@gmail.com

**Слепцова Дарья Максимовна**

Год рождения: 1993

Университет ИТМО, факультет безопасности информационных технологий, кафедра проектирования и безопасности компьютерных систем, аспирант

Направление подготовки: 10.06.01 – Информационная безопасность

e-mail: dslepsova@corp.ifmo.ru

**Левина Алла Борисовна**

Год рождения: 1983

Университет ИТМО, факультет безопасности информационных технологий, кафедра проектирования и безопасности компьютерных систем, к.ф.-м.н., доцент

e-mail: alla_levina@mail.ru

УДК 004.056.53

АТАКИ ПО СТОРОННИМ КАНАЛАМ НА КЭШ И СПОСОБЫ ЗАЩИТЫ ОТ НИХ**Завьялова Т.А.¹, Слепцова Д.М.¹****Научный руководитель – к.ф.-м.н., доцент Левина А.Б.¹**¹Университет ИТМО

Несмотря на доказанную математическую стойкость алгоритма или протокола, его практическая реализация может быть подвержена атакам, использующим информацию, полученную из сторонних каналов. Алгоритм, а точнее выполняющие его компоненты микросхемы, в зависимости от выполняемой операции, потребляют разное количество энергии, затрачивают различное время на различные операции или выдают информацию об операции через электромагнитное излучение. Подобные утечки позволяют узнать не только выполняемую операцию, но и ее параметры, например, секретный ключ шифрования. Компьютерный кэш уязвим по временному каналу, так как время его ответа зависит от того, присутствуют в нем данные или нет. Манипулируя данными и инструкциями можно получить информацию, используемую другим процессом, в общем с атакующим кэше. Атаки на кэш представляют наибольшую опасность из атак по сторонним каналам, так как не требуют физического присутствия рядом с устройством, либо же физического взаимодействия с ним. В работе проведены основные виды атак на кэш, сравнены их характеристики и предложены способы защиты кэша.

Ключевые слова: информационная безопасность, кэш, атаки по сторонним каналам.

Атаки по сторонним каналам – это новый класс атак, использующий для получения секретной информации физические свойства системы. Любая операция, любой алгоритм в реальной жизни выполняются на реальных физических устройствах, а математическая модель угроз алгоритма редко учитывает устройство, на котором

алгоритм будет выполняться. Наиболее популярными атаками по сторонним каналам являются измерение энергопотребления и электромагнитного излучения. Последние работы также включают в себя акустические атаки и атаки на кэш, которые, по сути, используют временной сторонний канал.

В данной работе исследуется кэш компьютера. Кэш – это сверхоперативная память, используемая микропроцессором компьютера для уменьшения среднего времени доступа к компьютерной памяти. Она быстрее, чем обычные хранилища данных, такие как жесткий диск или оперативная память, и содержит в себе копии часто используемой информации. Практически все операции чтения/записи, работающие с памятью, реплицируются в кэше. На рис. 1 показана стандартная структура современного кэша с различными уровнями кэширования и распределением между ядрами процессора. Кэш последнего уровня, так называемый L3 кэш, является общим для всех ядер и доступен для всех пользователей с любыми правами доступа.

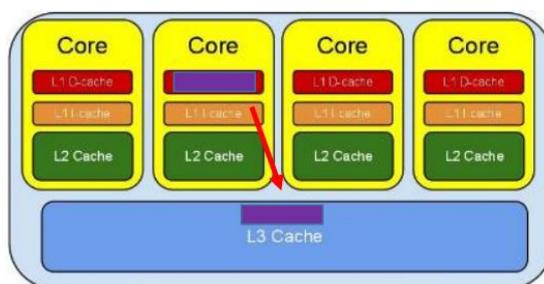


Рис. 1. Структура кэша

Одним из ключевых для атаки свойств кэша является его иерархичность. Это значит, что если мы убираем информацию из L3-кэша, то мы убираем ее из всех вышестоящих кэшэй. Это позволяет манипулировать данными в кэше, которые относятся к другим процессам. По задержке кэша можно узнавать, к каким данным было обращение в последнее время, а какие данные в кэш не загружены. Например, доступ к данным в кэше осуществляется за 80 тактовых циклов, а если данные из кэша удалены, то длительность обращения увеличивается до 200 тактовых циклов.

Уязвимости были найдены во многих популярных алгоритмах, таких как OpenSSL AES, OpenSSL RSA, GnuPG RSA, GnuPG El Gamal, и под различные процессоры – Intel, ARM, AMD.

Основная идея атаки заключается в том, чтобы определить, к каким наборам кэшэй обращается программа-жертва. Для этого использовались несколько базовых манипуляций с кэшем, из которых комбинируются атаки:

- Evict: Вытеснить определенный адрес в кэше, заполняя кэш;
- Flush: Удаляет определенный адрес с помощью команды cflush;
- Prime: Размещает известные адреса в кэше.

В данной работе рассмотрены четыре вида атак: Flush + Reload, Evict + Time, Prime + Probe, Flush + Flush.

Атаки по сторонним каналам на кэш. Алгоритм атаки Flush + Reload можно представить следующим образом [1]:

1. Flush: общий адрес памяти удаляется из кэша;
2. программа-жертва пользуется участком памяти;
3. Reload: атакующий перезагружает участок памяти.

Если последний шаг прошел быстро, значит, ячейка памяти была перезагружена жертвой, если медленно – жертва не использовала этот адрес. Важным условием в данном случае является наличие общего адреса памяти, используемого обоими

процессами. Однако данное условие часто выполняется благодаря использованию общих библиотек или же дедупликации.

Для атаки Evict + Time необходимо провести следующие операции [2]:

1. измерить время выполнения программы-жертвы;
2. Evict: Вытеснить определенную часть кэша;
3. Time: Измерить время выполнения программы-жертвы снова.

С помощью разницы между двумя измерениями можно определить, сколько времени определенная часть кэша использовалась жертвой при выполнении.

В ходе атаки Prime + Probe необходимо [3]:

1. Prime: Заполнить определенную часть кэша;
2. передать управление программе-жертве;
3. Probe: Определить, какая часть заполненного кэша все еще принадлежит нам. Для этого измеряется время доступа к адресам, которые использовались для заполнения кэша на первом этапе.

Если программа-жертва будет использовать адреса, сопоставляемые с теми же областями кэша, что и злоумышленник, то она будет вытеснять данные злоумышленника из кэша, и злоумышленник это может отследить на третьем этапе.

Последняя из рассмотренных атак Flush + Flush выполняется следующим образом [4]:

1. Flush: общий адрес памяти удаляется из кэша;
2. программа-жертва пользуется участком памяти, перезагружает его;
3. Flush: атакующий удаляет участок памяти и измеряет время выполнения операции.

Если последний шаг прошел быстро, значит, ячейка памяти не была загружена жертвой, и удалять ничего не нужно было, если медленно – жертва использовала этот адрес, и удаление произошло на всех уровнях кэша.

Авторами успешно проведены четыре атаки. В связи с тем, что атаки могут производиться программно и удаленно от реального устройства (что невозможно в случае, например, утечек по электромагнитному каналу), важным фактором становится не скорость выполнения атаки и время присутствия рядом с устройством, а выполнение всех предусловий для работы кода. В табл. 1 представлен сравнительный анализ атак.

Таблица 1. Сравнительный анализ атак

Условие	Flush + Reload	Evict + Time	Prime + Probe	Flush + Flush
Требуют дедупликацию памяти	Да	Да	Нет	Да
Требуют инструкцию flush	Да	Нет	Нет	Да
Тип атакуемой памяти	статическая	статическая	статическая динамическая	статическая
Зависимость от шума от других процессов	низкая	Низкая	высокая	низкая

Мы видим, что у атаки Prime+Probe наименьшее предусловий и больший спектр возможностей в атаке – она позволяет атаковать как статическую, так и динамическую память. Высокая зависимость от шума других процессов может быть преодолена с помощью многочисленного повторения атаки и применения статистических методов для корректировки результатов атаки.

Защита от атак. Основная причина уязвимости програм в рамках атак по сторонним каналам заключается в их дизайне. В прошлом мало кто задумывался об атаках подобного рода (рис. 2). Сейчас проектирование кода без утечек информации

через кэш является наиболее действенным способом им противостоять. Для этого необходимо помнить о двух принципах проектирования:

- доступ к инструкциям не различается в зависимости от секретной информации;
- доступ к информации не различается в зависимости от секретной информации.

Данная мера защиты требует глубокого анализа кода: ручного определения зависимых переменных, использования программных средств, а также практического запуска кода и изучения сторонних каналов.

```

1 function modpow (a, b);
  Input : base b, modulus N, secret
         E = (ek-1, ..., e1, e0)
  Output: bE mod N
2 R0 = 1; R1 = b;
3 for i = k - 1 downto 0 do
4   if ei == 0 then
5     R1 = R0 * R1 mod N;
6     R0 = R0 * R0 mod N;
7   end
8   else
9     R0 = R0 * R1 mod N;
10    R1 = R1 * R1 mod N;
11  end
12 end
13 return R0;

```

Рис. 2. Пример небезопасного кода

Возможность защититься существует также и со стороны производителей кэшэй. Отслеживание поведения кэша является одним из таких способов. Счетчики производительности отслеживают различные события на уровне кэша, например, промахи при доступе в L3-кэш. При нормальном функционировании кэша существует некоторое количество промахов, но в случае атаки оно резко возрастает, ведь атакующий намеренно вытесняет данные, заставляя кэш и программу-жертву перезагружать их. Большинство атак четко различимы при отслеживании промахов. Дополнительными параметрами могут быть некоторые операции кэша, которые редко используются обычными программами, либо не используются столь часто. Недостатком данного способа является то, что при сложной логике отслеживания или частых прерываниях обычных программ может сильно ухудшиться производительность.

Другим способом защититься является усовершенствованный контроль доступа. Как было сказано вначале L3-кэш является общим для всех, и в этом заключается одна из проблем безопасности. Против этого некоторые производители вводят распределение страниц между пользователями. Физическая память разбивается на «цвета» (рис. 3). Кэш разделяется по подразделы и подразделы двух процессов, которые никогда не пересекаются друг между другом.

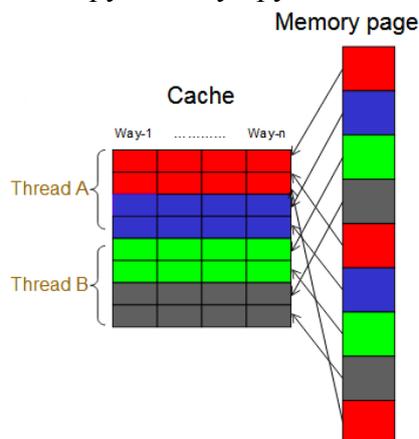


Рис. 3. Распределение страниц между пользователями

Intel CAT (Cache Allocation Technology) схож с распределением страниц в том плане, что вводит обязательный контроль доступа к данным в кэше. Это аппаратное решение от компании Intel, которое позволяет заблокировать доступ к определенным адресам в кэше. Intel CAT помечает адрес, используемый программой-жертвой как неизменяемый, поэтому атакующий не может повлиять на этот адрес.

В табл. 2 приведены различные требования, которые необходимо выполнить при различных типах защиты. Обновление гипервизора имеет больший эффект в глобальном масштабе: его можно произвести удаленно, и его действие распространяется на множество программ в одной операционной системе (ОС). Изменение программного кода или замена устройства позволяют надежнее защититься от существующих атак, но это точечные и дорогостоящие меры, направленные на один программный продукт или на одно устройство.

Таблица 2. Требования при различных методах защиты

Требование	Код без утечек	Категоризация страниц	Intel CAT	Отслеживание поведения кэша
Изменение программного кода	Да	Нет	Нет	Нет
Обновление ОС гипервизора	Нет	Да	Да	Зависит от метода
Замена устройства на новое	Нет	Нет	Да	Нет

В данной работе атаки производились на кэш локального компьютера, однако область действия атак не ограничивается локальными РС. В табл. 3 представлено сравнение методов защиты от атак на кэш в зависимости от среды выполнения програм.

Таблица 3. Использование методов защиты в различных средах

Среда	Код без утечек	Категоризация страниц	Intel CAT	Отслеживание поведения кэша
Облачные решения	Да	Да	Зависит от условий	Да
Javascript в браузере	Да	Зависит от условий	Зависит от условий	Да
Смартфон	Да	Да	Зависит от условий	Да
Безопасная среда выполнения	Да	Нет	Да	Нет

Заключение. Атаки на кэш являются реальной угрозой в отличие от других атак по сторонним каналам. Их можно проводить программно и на удалении от устройства, без непосредственного доступа. В связи с этим атаки могут иметь массовый характер, а не единичный, нацеленный на определенное физическое устройство. Эффективные методы защиты, такие как создание кода, без утечек, или аппаратные улучшения имеют большую стоимость реализации. Программное детектирование атак на уровне ОС имеет ограниченную эффективность. За счет частых прерываний может ухудшаться производительность, а некоторые виды атак (Flush + Flush) не создают промахи кэша, а значит, стандартные счетчики ее пропустят.

Для успешного противодействия атакам на кэш в будущем необходимо уже сейчас внедрять «хорошие практики» по написанию безопасного кода (в том числе и с защитой от утечек через кэш). С аппаратной стороны стоит также учитывать атаки по сторонним каналам в дизайне новых устройств (на данный момент существует только в Intel).

Лучшим компромиссом между стоимостью защиты и эффективностью на данный момент является обновление гипервизоров для применения категоризации данных.

Литература

1. Yarom Y. and Falkner K. Flush+Reload: a High Resolution, Low Noise, L3 Cache Side-Channel Attack [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://eprint.iacr.org/2013/448.pdf>, своб.
2. Osvik D.A., Shamir A. and Tromer E. Cache Attacks and Countermeasures: the Case of AES [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.cs.tau.ac.il/~tromer/papers/cache.pdf>, своб.
3. Bernstein D.J. Cache-timing attacks on AES [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://cr.yp.to/antiforgery/cachetiming-20050414.pdf>, своб.
4. Gruss D., Maurice C. & Wagner K. Flush+Flush: A Stealthier Last-Level Cache Attack [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://arxiv.org/pdf/1511.04594v1.pdf>, своб.



Зайцева Юлия Сергеевна

Год рождения: 1985

Университет ИТМО, факультет систем управления и робототехники, кафедра управления сложными системами, студент группы № P4239

Направление подготовки: 15.04.06 – Мехатроника и робототехника

УДК 681.51

ПОДАВЛЕНИЕ НЕЛИНЕЙНЫХ КОЛЕБАНИЙ В ПИЛОТИРУЕМЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНЫМИ АППАРАТАМИ

Зайцева Ю.С.¹

Научный руководитель – д.т.н., профессор Андриевский Б.Р.¹

¹Университет ИТМО

Работа выполнена в рамках темы НИР № 716969 «Разработка методов и алгоритмов управления многоагентными, распределенными и сетевыми системами».

Работа посвящена явлению раскачки самолета летчиком. Приведены модель летчика как элемента контура управления летательного аппарата и моделирование процесса раскачки. Предотвращение раскачки самолета представлено с помощью метода последовательной фазовой компенсации в контуре управления летательного аппарата. Приведены численные исследования системы подавления раскачки самолета летчиком с нелинейной коррекцией.

Ключевые слова: неустойчивый объект, пилотируемая система, нелинейное корректирующее устройство, алгоритм.

Разработка новых технологий в авиации, с одной стороны – упрощает и автоматизирует работу пилотов, а с другой – вводит новые ошибки и непредвиденные сбои в работе систем управления полетом (СУП). В авиации проблемы аномального взаимодействия часто ассоциировались с внедрением новых технологий, функциональности или осложнений. Технология электродистанционного управления (ЭДУ, FBW) является одним из примеров технологий, которые перешли от военных самолетов к гражданским. Технология FBW предоставляет возможности для появления новых подходов к решению всех типов проблем устойчивости и управления воздушным судном. Однако гибкость, присущая этой технологии, может создать нежелательные новые побочные эффекты и непредвиденные проблемы. В самолете, оснащенном СУП с ЭДУ, информация передается из кабины в органы управления полностью электрическим способом. Устройство управления кабиной не может дать пилот-информации о том, что установлен предел скорости или положение органов управления летательного аппарата. В результате может быть несоответствие между ожиданиями пилота и фактическим откликом самолета. Сложность, присущая развитой, чрезмерной СУП, усложняет разработчикам, предвидя все возможные взаимодействия между СУП и пилотом. Все это привело к многочисленным исследованиям и методам предотвращения ситуаций, вызванных ненормальным взаимодействием пилота с воздушным судном.

В статьях [1, 2] приведена следующая линеаризованная модель самолета:

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + B\delta(t), \quad (1)$$

где $x = [\alpha, \beta, p, q, r]^T - x_{lin}$, $\delta = [\delta_c, \delta_{re}, \delta_{le}, \delta_r]^T$, $u = [u_c, u_{re}, u_{le}, u_r]^T - u_{lin}$, α, β, p, q, r – угол атаки, угол бокового скольжения, угловая скорость крена, угловая скорость по тангажу и рыскания соответственно; δ и u – реальное и заданное отклонение поверхности управления; A, B – матрицы

постоянных коэффициентов. Предположим, что привод руля управления описывается уравнениями второго порядка:

$$\begin{aligned} \dot{\delta}(t) &= \begin{cases} 0, \text{ если } ((\delta \geq \bar{\delta}^+) \& (v \cdot \delta > 0)) \vee ((\delta \leq \bar{\delta}^-) \& (v \cdot \delta < 0)), \\ v - \text{ в других случаях} \end{cases}, \\ \dot{v}(t) &= \text{sat}_{\bar{v}}(w(t)), \\ w(t) &= K_1(\delta^*(t) - \delta(t)) - K_2v(t), \end{aligned} \quad (2)$$

где $\bar{\delta}^+, \bar{\delta}^-$ – верхняя и нижняя граница отклонения руля, $\text{sat}_{\bar{v}}$ – функция насыщения, \bar{v} – предел скорости органа управления, коэффициенты K_1, K_2 – устанавливают значение характеристической частоты ω_a и скорость затухания ξ_a линейной модели привода: $\omega_a = \sqrt{K_1}, \xi_a = \frac{K_2}{2\sqrt{K_1}}$. Задача пилота – отслеживать заданный угол тангажа $\vartheta^*(t)$,

используя рычаг управления. Команды пилот-сигнала подаются на сервопривод, суммируются с сигналом гиродатчика угловой скорости, который используется для обеспечения статической устойчивости в петле скорости по тангажу. Это можно записать в следующем выражении для сигнала управления руля высоты:

$$u_b(t) = u_{pilot}(t) - K_q q(t), \quad (3)$$

где u_{pilot} – управляющий сигнал, генерируемый пилотом; K_q – коэффициент демпфирования. Рассмотрим систему, состоящую из модели линейного привода и модели самолета. Передаточная функция (ПФ) этих последовательно соединенных элементов имеет вид:

$$W_{act}(s) = \frac{1,65s+0,91}{(T^2s^2+2\xi T+1)(s^2+s-2,28)}. \quad (4)$$

Модель самолета (2) по своей природе неустойчива. Таким образом, принято решение ввести коэффициент демпфирования K_q в канал обратной связи. Используя метод корневого годографа, найдем и выберем $K_q = 4,7$, индекс устойчивости $\eta=0,24$, индекс колебаний $\mu=1,97$, следующий за [3]. Запас устойчивости системы с разомкнутым контуром при $K_q=4,7$ по амплитуде составляет 5,5 дБ, в фазе 62,6 град. Следуя [4], используем пилотную модель в виде статического коэффициента вместе с ошибкой отклонения основного тона: $u_b(t) = K_{pilot}(\vartheta^*(t) - \vartheta(t))$ и (3) утверждает, что:

$$u_b(t) = K_{pilot}(\vartheta^*(t) - \vartheta(t)) - K_q q(t). \quad (5)$$

Расширение модели (1), (3)–(5) кинематическим уравнением $\dot{\vartheta}(t) = q(t)$, которое описывает взаимосвязь между угловой скоростью вдоль шага и углом горизонта. Оптимальный переход для системы (4) дает $K_{pilot}=4,5$. Результирующий запас устойчивости системы с замкнутым контуром по амплитуде составляет 14 дБ, по фазе – 66,5 град.

Устройства коррекции используются для приближения характеристик системы автоматического управления (САУ), состоящей из необходимых элементов, к желаемым характеристикам. Методы синтеза СУ обычно сводятся к определению типа и параметров корректирующего устройства [3, 5]. Внедрение нелинейного корректирующего устройства (НКУ) в систему управления с нелинейностями, такими как насыщение, трение, зона нечувствительности, уменьшает скорость переходного процесса, подавляет автоколебания [6]. Включая НКУ в АСУ, добились увеличения фазового отклика в частоте среза, оставив амплитудную характеристику неизменной, тем самым уменьшив шум, действующий на систему. Независимость амплитудной характеристики от изменения частоты значительно упрощает процесс проектирования системы автоматического управления. Следуя методу [7, 8], чтобы предотвратить колебания, вызванные раскачкой самолета летчиком (РСЛ), вводим последовательное НКУ вида:

$$W(s) = \frac{T_1}{T_2} \cdot \frac{T_2s+1}{T_1s+1}, \quad (6)$$

где $0 < T_1 < T_2$ – постоянные времени, обозначим $v = T_1/T_2$. Фазовый сдвиг вводится фильтром (6): $\varphi(\omega) = \arctan\omega T_2 - \arctan\omega T_1 > 0$. В результате гармонической

линеаризации этого нелинейного элемента с линейным фильтром (5) получены следующие выражения для его логарифмической амплитуды и фазовых характеристик (ЛАХ, ЛФХ) в зависимости от ν :

$$H(A, \omega) = \sqrt{a(A, \omega)^2 + b(A, \omega)^2}, \quad (7)$$

$$\varphi(A, \omega) = \arctan \frac{b(A, \omega)}{a(A, \omega)}.$$

Коэффициенты гармонической линеаризации для (5):

$$a = \frac{k}{\pi}(\pi - 2\varphi + \sin 2\varphi), b = \frac{k}{\pi}(1 - \cos 2\varphi).$$

Расчеты показывают, что фазовая характеристика НКУ имеет 70° при $\nu=0,01$. В то же время ослабление амплитуды едва достигает -4 дБ, что не влияет на работу системы. Это показывает положительный сдвиг фазы между $u(t) = \sin \Omega t$ и $y(t)$, который демонстрирует фазовое свойство фильтра. Параметры моделирования: $\nu=0,1$, $A=1$, $\Omega=2$ рад/с.

Демонстрация свойств нелинейного фазового предварительного фильтра (7) показана на модели самолета. Продемонстрирована модель системы с приводом с ограничениями в $K_{pilot}=4,5$. Результаты моделирования показаны на рис. 1, а. Из рисунка видно, что качество процессов неудовлетворительное.

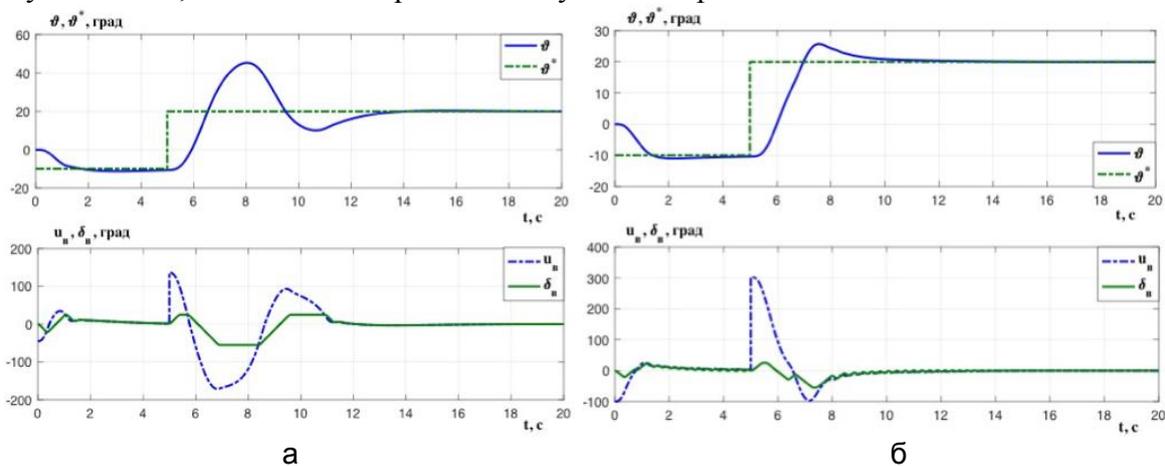


Рис. 1. Переходный процесс системы с ограничениями привода (а); переходный процесс скорректированной системы с ограничениями привода $K_{pilot}=10$ (б)

Введем НКУ в канал прямого управления и рассмотрим поведение такой системы. Результаты моделирования на рис. 1, б показывают, что введение нелинейной коррекции позволяет увеличить уровень входного сигнала, а также коэффициент усиления сигнала пилота.

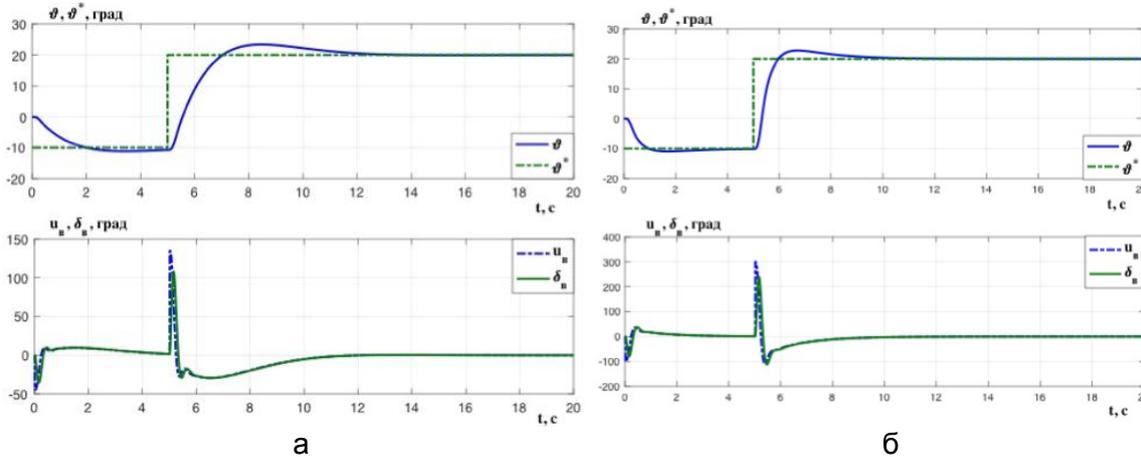


Рис. 2. Переходный процесс скорректированной системы с ограничениями привода $K_{pilot}=4,5$ (а) и $K_{pilot}=10$ (б)

Введем элемент задержки в прямую. Возьмем временную задержку $\tau=0,2$ с. Результаты моделирования показаны на рис. 2 и показывают приемлемость качества процесса.

Результаты показывают, что предложенный метод нелинейной фазовой коррекции в контуре управления пилотируемого летательного аппарата в автономной системе позволяет увеличить допустимый коэффициент усиления пилота и, следовательно, сделать возможным, чтобы пилот реагировал более энергично на рассогласование сигнала с одной стороны, и для предотвращения колебаний, вызванных РСЛ, обеспечения безопасности полетов – с другой. Можно добавить, что для таких относительно простых систем, как в этой работе, полноценных аналитических методов, основанных не только на моделировании, не существует. Достигая устойчивости в состоянии равновесия, мы не получаем гарантию устойчивости в случае отработки задающего воздействия или появления возмущающих воздействий. Следует отметить, что при изучении нелинейных систем необходимо учитывать различные формы и параметры входных сигналов, взятых из [9, 10]. Поэтому представленные результаты не дают рекомендуемого значения для коэффициента усиления пилота. Для практического использования требуются глубокие исследования, интенсивное моделирование, включая реальные летные испытания.

Литература

1. Harkegard S.O., Glad T. Resolving actuator redundancy – optimal control vs. control allocation // *Automatica*. – 2005. – V. 41. – P. 137–144.
2. Yildiz Y., Kolmanovsky I., Acosta D. A control allocation system for automatic detection and compensation of phase shift due to actuator rate limiting // *Proc. American Control Conference*. – 2011. – P. 444–449.
3. Бесекецкий В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического регулирования. – М.: Наука, 1975. – 768 с.
4. Rundqwist L., St^oahl-Gunnarsson K. Phase compensation of rate limiters in unstable aircraft // *Proc. Int. Conf. Control Applications*. – 1996. – P. 19–24.
5. Юревич Е.И. Теория автоматического управления. – М.: Энергия, 1969. – С. 375.
6. Топчеев Ю.И. Нелинейные корректирующие устройства в системах автоматического управления. – М.: Машиностроение, 1971. – 468 с.
7. Andrievsky B., Kuznetsov N., Kuznetsova O. et al. Nonlinear Phase Shift Compensator for Pilot-Induced Oscillation Prevention // *Prepr. 9th IEEE Europ. Modeling Symp. On Mathematical Modeling and Computer Simulation*. – 2015. – P. 225–231.
8. Andrievsky B., Kravchuk K., Kuznetsov N. et al. Hidden oscillations In the closed-loop aircraft-pilot system and their prevention // *IFAC-PapersOn-Line*. – 2016. – V. 49. – P. 30–35.
9. Van den Berg R., Pogromsky A.Y., Rooda J.E. Uniform Convergency for Marginally Stable Lur'e Systems with Saturation Nonlinearity, with Application in Anti-Windup Systems // *Automatica*. – 2010. to appear.
10. Andrievsky B., Kuznetsov N., Leonov G., Pogromsky A. Convergence Based Anti-windup Design Method and Its Application to Flight Control // *Proc. IV Int. Congress on Ultra Modern Telecom. and Control Systems*. – 2012. – V. 3–5. – P. 219–225.

**Ильина Екатерина Сергеевна**

Год рождения: 1990

Университет ИТМО, факультет компьютерных технологий и управления, кафедра систем управления и информатики, аспирант

Направление подготовки: 27.06.01 – Управление в технических системах

e-mail: kateglebova@rambler.ru

**Быстров Сергей Владимирович**

Год рождения: 1957

Университет ИТМО, факультет компьютерных технологий и управления, кафедра систем управления и информатики, к.т.н., доцент

e-mail: sbystrov@mail.ru

УДК 681.5

МЕТОДЫ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ ДЛЯ МИНИМИЗАЦИИ ВЛИЯНИЯ УТЕЧКИИльина Е.С.¹Научный руководитель – к.т.н., доцент Быстров С.В.¹¹Университет ИТМО

Работа выполнена в рамках темы НИР № 148670 «Исследование и разработка систем технического зрения для задач оценивания параметров движения объекта».

Для автоматизации процесса учета и логистики металлургических емкостей в цехе металлургического комбината требуется решение ряда задач, связанных с автоматической обработкой изображений номеров этих емкостей. Данная работа была направлена на решение задачи нахождения и выделения области изображения метки, которая имеет вид матрицы ориентированных полос, следующих с постоянной частотой. В работе исследован метод взвешивания окном входного сигнала для уменьшения вредного влияния эффекта утечки из-за несовпадения частоты спектра дискретного преобразования Фурье с бином, а также сравнены результаты применения различных видов окон для выбора оптимального.

Ключевые слова: дискретное преобразование Фурье, цифровая обработка изображений, взвешенные окна, утечка, спектр, окно Хемминга, окно Барлетта, окно Наталла.

В работе решена задача автоматизации процесса учета и логистики сталеразливочных емкостей в цехе металлургического комбината. Данная работа является продолжением исследования [1] и направлена на решение задачи локализации области изображения метки сталеразливочного ковша, представленной в работе [2], методами цифровой обработки изображений. С помощью предложенного алгоритма был произведен поиск частоты следования на основе преобразования Фурье. Получены следующие результаты, представленные на рис. 1.

Однако при ближайшем рассмотрении был сделан вывод, что не была учтена такая важная особенность, как утечка.

Предполагается, что сигнал (рис. 1, а), полученный в [1], является периодической функцией частоты с периодом $1/\tau$, состоящий из центральных максимумов, расположенных на частотах n/τ , и боковых лепестков.

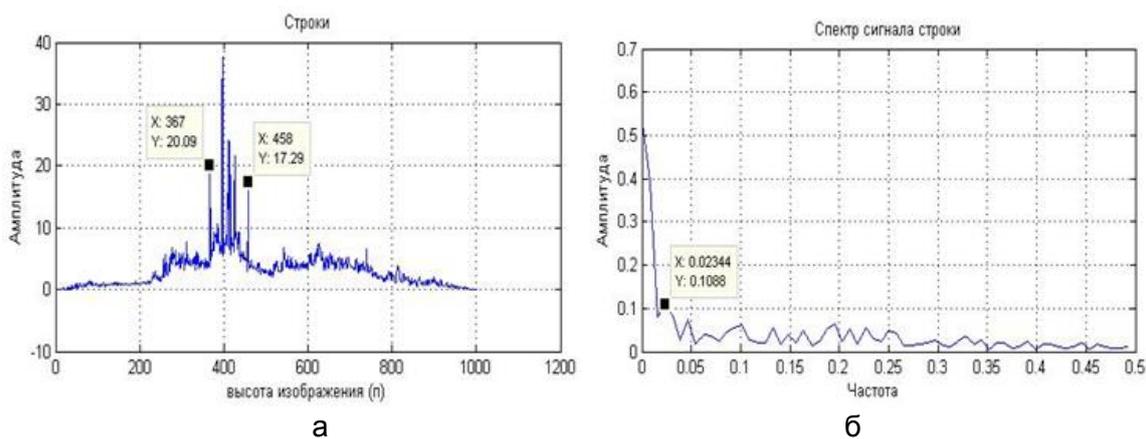


Рис. 1. График сигнала (а); Фурье-спектр сигнала (б)

Для бесконечных во времени сигналов, получение Фурье-спектра (рис. 1, б) происходит с помощью прямоугольного импульса длительностью, равной заданному временному интервалу обработки. Поскольку сигнал, полученный для изображения, изначально является реальной конечной последовательностью, то при «зацикливании» на границах периодов такая функция будет иметь разрывы, что и даст эффект утечки. В этом случае верная трактовка результатов по преобразованию Фурье возможна тогда, когда входная последовательность данных содержит энергию точно на аналитической частоте (кратной фундаментальной частоте).

На практике зачастую реальные дискретизированные сигналы далеки от идеальных, и при их анализе велика вероятность несовпадения частоты спектра дискретного преобразования Фурье с биномом спектральных отсчетов [3]. Таким образом, если сигнал содержит компонент с некоторой промежуточной частотой, лежащей между аналитическими, или на периоде сигнала умещается не целое число выборок, то этот входной сигнал проявится на всех частотах анализа, т.е. «растечется» по всем остальным бинам.

Негативное влияние утечки сказывается на снижении разрешающей способности по частоте. Этому способствует как расширение спектра анализируемого сигнала из-за возникновения дополнительных гармоник, так и расширение основного лепестка. К тому же, появление колебаний вида $(\sin x)/x$ в спектральной области, вследствие ограничения интервала прямоугольной функцией во временной области, определяет конечную ширину пика на частоте сигнала, порождает боковые лепестки, которые изменяют амплитуду и положение соседних спектральных пиков, а также делает невидимым присутствие слабых гармонических компонент [4].

Так как для решаемой задачи точные частоты следования полос заранее неизвестны, то эффекта утечки однозначно не избежать. Избавиться от него вовсе тоже не удастся, тогда единственным выходом будет ослабить его влияние и уменьшить боковые лепестки спектра.

Первым вариантом является увеличение спектрального разрешения за счет увеличения частоты дискретизации. Однако при слишком сильном увеличении числа спектральных линий, помимо полезного сигнала, проявится и паразитный.

Второй вариант – уменьшение колебаний спектральной функции за счет сглаживания разрывов на концах временного ряда. Для этого и предназначены оконные функции более сложной формы (похожей на гауссиан), чем прямоугольной (которой сигнал обрабатывается «по умолчанию»). При перемножении $x_w(i) = s(i) \cdot w(i)$, коэффициента оконной функции $w(i)$ на входные отсчеты $s(i)$ устраняются разрывы функции при виртуальном «зацикливании» участка сигнала, что позволяет плавно сгладить функцию вблизи краев анализируемого интервала.

Самыми востребованными являются оконные функции Хемминга, Барлетта, Блэкмана, Хеннинга и Блэкмана–Харриса. Их подробные частотные характеристики приводятся в [4, 5].

Помимо перечисленных, существует множество весовых окон и их применение не вызывает затруднений. Оконные функции выбираются такого вида, чтобы при расчете спектра уменьшить вклад отсчетов пропорционально их удаленности от середины анализируемого временного интервала. Вся сложность заключается именно в выборе подходящего варианта весового окна под поставленную задачу, так как нет единого способа или «лучшего» окна. Выбор функции окна является компромиссом между увеличением ширины основного лепестка и размером боковых лепестков [5]. Для каждой задачи применяются свои способы и, соответственно, оптимальные оконные функции выбираются эмпирически.

Учитывая вышесказанное, для существующего алгоритма нахождения частоты следования полос метки, были опробованы различные окна: Барлетта, Хэмминга, Хеннинга, Наталла, Блэкмана–Харриса и др. В качестве критерия выбора оптимального окна принят вид спектра с наиболее сглаженными паразитными частотами, за счет расширения основного лепестка, при максимально возможном выделении основных пиков.

На рис. 2 показаны графики сравнения взвешенных окон, применительно к задаче поиска частоты следования полос метки.

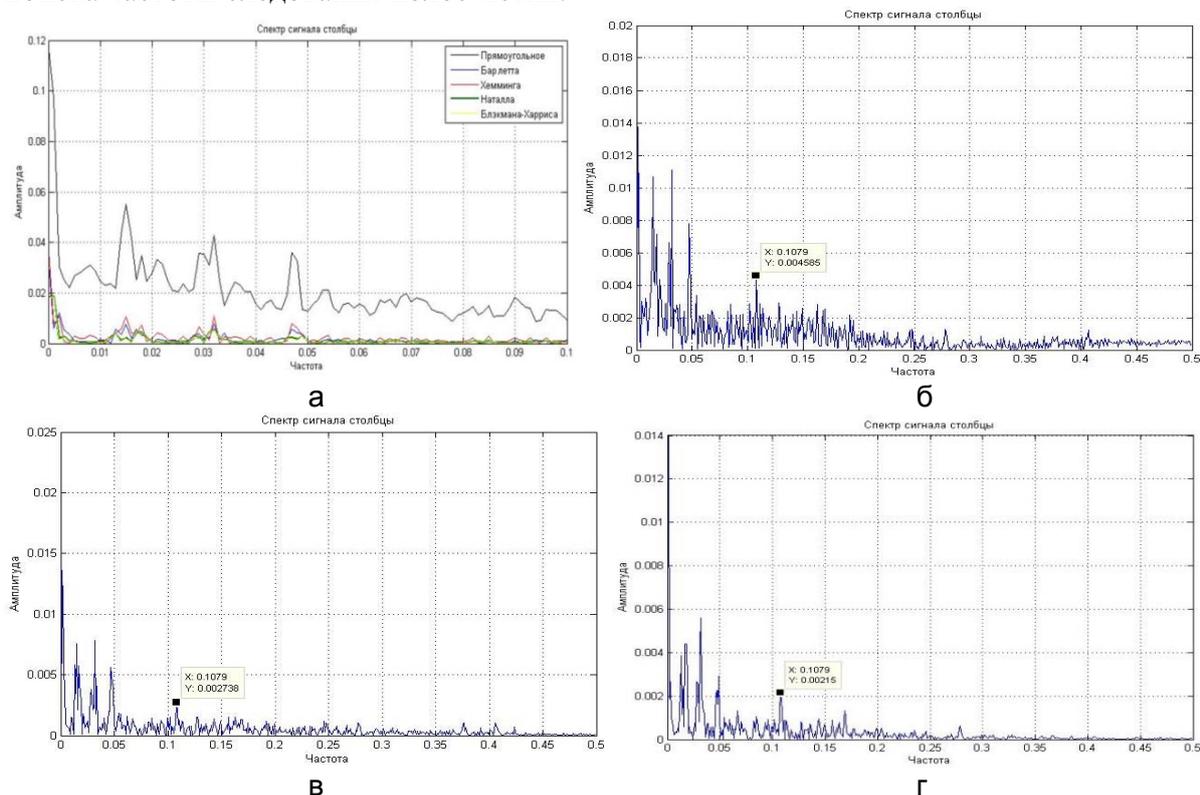


Рис. 2. Применения различных весовых окон: сравнение графиков (а); окно Хэмминга (б); окно Барлетта (в); окно Наталла (г)

В результате сравнения выявлено что, однозначно применение взвешенных окон снижает уровень влияния утечки, сглаживает боковые лепестки функции. Окна низкого разрешения (Блэкмана, Наталла, Блэкмана–Харриса), с максимальным уровнем боковых лепестков в диапазоне от 40–98 дБ, показывают сравнительно одинаковый и наилучший результат. В итоге, окно Наталла выбрано наилучшим вариантом для решения поставленной задачи усовершенствования алгоритма нахождения частоты сигнала с постоянным тактом на изображении метки сталеразливочного ковша, так как

результат имеет наименьший уровень боковых лепестков, равный 0,00215. По сравнению с остальными, окно Хэмминга меньше всего снизило уровень боковых лепестков, но даже применение этого окна увеличит шансы на успешную идентификацию изображения номера ковша.

Литература

1. Ильина Е.С., Быстров С.В. Определение частоты сигнала с постоянным тактом на изображении // Сб. тезисов докладов конгресса молодых ученых. Электронное издание [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://kmu.ifmo.ru/collections_article/4959/opredelenie_chastoty_signala_s_postoyanny_m_taktom_na_izobrazhenii.htm, своб.
2. Глебова Е.С., Блинников А.А. Модификация меток сталеразливочных ковшей в задаче автоматизации их оборота // Изв. вузов. Приборостроение. – 2015. – Т. 58. – № 9. – С. 765–769.
3. Лайонс Р. Цифровая обработка сигналов. 2-е изд. / Пер. с англ. – М.: ООО «Бином-Пресс», 2006. – 656 с.
4. Хованова Н.А., Хованов И.А. Методы анализа временных рядов. Учебное пособие. – // Саратов: Изд-во Гос. учеб.-науч. центра «Колледж», 2001. – 119 с.
5. Спектральный анализ на ограниченном интервале времени. Оконные функции [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.dsplib.ru/content/win/win.html>, своб.

**Калиниченко Иван Андреевич**

Год рождения: 1993

Университет ИТМО, факультет безопасности информационных технологий, кафедра проектирования и безопасности компьютерных систем, аспирант

Направление подготовки: 10.06.01 – Информационная безопасность

e-mail: dagon665@gmail.com

**Дикий Дмитрий Игоревич**

Год рождения: 1994

Университет ИТМО, факультет безопасности информационных технологий, кафедра проектирования и безопасности компьютерных систем, аспирант

Направление подготовки: 10.06.01 – Информационная безопасность

e-mail: dimandikiy@mail.ru

Давыдов Максим Алексеевич

Год рождения: 1992

Университет ИТМО, факультет безопасности информационных технологий, кафедра проектирования и безопасности компьютерных систем, аспирант

Направление подготовки: 10.06.01 – Информационная безопасность

e-mail: dagon665@gmail.com

УДК 316.77**МЕТОДИКА ВЫЯВЛЕНИЯ УГРОЗ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПЕРСОНАЛ,
ИСХОДЯЩИХ СО СТОРОНЫ ЛИЦ, ИСПОЛЬЗУЮЩИХ МЕТОДЫ
СОЦИАЛЬНОЙ ИНЖЕНЕРИИ С ЦЕЛЬЮ ХИЩЕНИЯ КОММЕРЧЕСКОЙ
ТАЙНЫ****Калиниченко И.А.¹, Дикий Д.И.¹, Давыдов М.А.¹****Научный руководитель – д.т.н., профессор Арустамов С.А.¹**¹Университет ИТМО

Работа выполнена в рамках темы НИР № 617026 «Разработка методов интеллектуального управления киберфизическими системами с использованием квантовых технологий».

В работе рассмотрены виды атак на персонал предприятия с использованием методов социальной инженерии и проанализированы причины эффективности атак такого характера, а также разработана методика выявления и устранения уязвимостей персонала для повышения уровня защищенности предприятия от угроз, исходящих со стороны лиц, использующих методы социальной инженерии с целью хищения корпоративной тайны.

Ключевые слова: социальная инженерия, методы социальной инженерии, фишинг, психологические уязвимости персонала, методика выявления уязвимостей.

Введение. Социальная инженерия – метод несанкционированного доступа к информационным ресурсам, основанный на особенностях психологии человека, где жертвой является не компьютер пользователя, а сам пользователь.

Проблема уязвимости человека к атакам социального инженера является наиболее важной и актуальной в сфере информационной безопасности, так как большинство успешных краж информации реализуется именно методами социальной инженерии.

В данной работе рассмотрены методы и техники, используемые социальными инженерами для достижения своих целей; определены причины эффективности данных методов, базирующиеся на особенностях человеческой психики; разработана методика выявления и устранения уязвимостей персонала предприятия перед атаками с использованием методов социальной инженерии.

Цели работы:

- исследование методов социальной инженерии;
- исследование причин эффективности методов социальной инженерии;
- разработка методики выявления и устранения уязвимостей персонала для повышения уровня защищенности предприятия от угроз, исходящих со стороны лиц, использующих методы социальной инженерии с целью хищения корпоративной тайны.

Базовый алгоритм атаки социального инженера. Любая серьезная атака социального инженера для своей успешной реализации требует наличие некоторой информации о целевом объекте.

Подобные атаки, перед своей реализацией четко планируются и разбиваются на фазы. Социальный инженер разрабатывает поэтапный сценарий своих действий и заранее определяет:

- с кем он будет общаться и какими средствами будет установлен контакт (непосредственный разговор, телефонный звонок, электронная переписка);
- кем ему представиться;
- что он будет говорить;
- каким путем получит главный элемент для получения сведений – доверие оппонента (основы психологии влияния проанализированы в следующей главе);
- какую информацию он запросит (или выполнение какого-либо действия) [1].

Следует упомянуть феномен под названием «обратная социальная инженерия» или «обратный обман». Главным отличием обратного обмана от прямого является тот факт, что инициатором установления контакта (или совершения запроса) является не социальный инженер, а сама жертва атаки. Резюмируя можно выделить базовые этапы атаки социального инженера:

- сбор информации о целевом объекте и планирование;
- установка связей (получение доверия сотрудников целевого предприятия различными психологическими приемами);
- полезная фаза атаки (эксплуатация уязвимостей информационной системы и получение ключевой информации).

Виды атак социальных инженеров. Под видом атаки понимается тот или иной комплекс действий и средств, позволяющий атакующему установить контакт с целью, и получить искомую информацию. Выделенные виды:

- фишинг (phishing) – распространенный вид атаки, который заключается в обмане пользователя, взаимодействие с которым ведется через социальные сети, мессенджеры и электронную почту;
- вишинг (voice phishing);
- внедрение программной (программно-аппаратной) закладки [2];
- физическое проникновение на территорию;
- заведение дружественных или романтических отношений с сотрудником [3].

Психологические аспекты атаки социального инженера. Исследованы причины эффективности атак социального инженера, которые сокрыты в психологии человека.

Для совершения успешной атаки необходимо глубоко понимать то, каким образом люди принимают те или иные решения, и каждый социальный инженер отлично разбирается в человеческой психологии и прекрасно знает, как заполучить рычаги для манипулирования жертвой.

Человеческую систему принятия решений можно условно разделить на два элемента: инстинкты и разум. Инстинкты являются первоосновой, и их доминация сильно подавляет способности разума, именно этот факт создает уязвимость человека перед атакой социального инженера. С другой стороны, разумную деятельность можно разделить на аналитическую (критическое мышление, анализ всей доступной информации для принятия решения) и автоматическую (быстрое машинальное принятие решений без глубокого анализа информации) [4]. Автоматическое мышление также создает уязвимости к методам социальной инженерии.

Одной из задач социального инженера является получение доверия жертвы – убеждения ее в том, что он тот, за кого себя выдает. Довольно часто атакующему для получения доверия достаточно просто представиться кем-либо (коллегой, партнером и т.п.) и убедительно говорить, используя характерный для определенного предприятия или сферы деятельности лексикон, и хорошо разбираться в теме вопроса.

Следующий прием – использование авторитета. Социальный инженер при совершении запроса часто может использовать имена топ-менеджеров, ссылаясь на то, что он действует по их поручению и ему нужно получить ту или иную информацию.

Игра на жалости и вызов сочувствия к себе. Атакующий, например, обращается за помощью к целевому сотруднику, представляется коллегой (часто новичком) и рассказывает о своей проблеме или проблемах на работе, также может приукрасить свою историю какими-либо неприятными событиями из личной жизни. Как результат, сотрудник верит в эту историю и соглашается помочь – выполнить просьбу социального инженера.

Следующая тройка приемов – угроза, благорасположение и чувство вины. Угроза – например, в комплексе с приемом «авторитет», если целевой сотрудник начинает сомневаться в легитимности поступившего запроса, социальный инженер сообщает о возможных последствиях неисполнения запроса и указывает, что доложит начальству о том, кто же является главной причиной этих последствий. В результате сотрудник может испугаться и безоговорочно выполнить указания атакующего (доминанция чувства страха сильно подавляет разум; простейший пример – состояние паники).

Благорасположение и симпатия – прием, который используется повсеместно для завоевания доверия жертвы, потому что люди больше верят тем, кто им нравится и кого они «знают».

Вина – это сильное чувство, которое обязывает человека считать, что он должен искупить вину каким-либо образом, например, оказать услугу. Вся сложность этого приема состоит в том, чтобы невиновный в действительности, посчитал себя виновным.

Методика выявления и устранения уязвимостей персонала для повышения уровня защищенности предприятия от угроз, исходящих со стороны лиц, использующих методы социальной инженерии с целью хищения корпоративной тайны. Вероятность успешного проведения атаки методами социальной инженерии напрямую зависит от подготовленности кадров к инцидентам такого характера и от адекватности, действующей на предприятии политики информационной безопасности. Главные задачи методики – выявить уязвимые кадры и обучить их основам корпоративной безопасности в контексте защиты информации от приемов и методов социальной инженерии. Методика разбита на следующие этапы:

1. первичное тестирование (выявление уязвимых кадров);

– фишинг и вишинг;

- физическое проникновение;
- 2. обучающий курс;
 - вишинг и фишинг;
 - физическое проникновение;
 - основные психологические приемы;
- 3. контрольное тестирование;
- 4. мероприятия, направленные на закрепление пройденного курса и поддержание бдительности персонала.

Первичное тестирование и все остальные этапы методики следует проводить ответственному лицу или группе лиц (далее – тестирующие), являющимися членами службы безопасности целевого предприятия или сотрудниками специализированной на данной деятельности организации. Перечень объектов тестирования составляется командой тестировщиков и, как правило, включает практически всех сотрудников предприятия или тестируемого подразделения.

1. Первичное тестирование. Стоит заметить, что для большей чистоты эксперимента следует разворачивать систему для тестирования на сервере, не входящим в корпоративную сеть. О проведении тестирования должны знать только команда тестировщиков и начальство, инициировавшее данное мероприятие.

Этапы фишинговой атаки:

- подготовка – фишинговые атаки (как и атаки иных типов) необходимо тщательно подготовить, следует учитывать особенности сферы деятельности предприятия и личные интересы объектов тестирования (спирфишинг);
- рассылка – для рассылки фишинговых сообщений авторы рекомендуют использовать автоматизированные инструменты (далее – платформы), например, «GoPhish»; не следует производить рассылку всем тестируемым одновременно. Тестируемых следует разбить на группы, причем объекты одной группы должны иметь минимальную вероятность информационного обмена между собой;
- мониторинг и анализ результатов – мониторинг реакций объектов тестирования на фишинговую рассылку производится либо средствами используемой платформы для проведения фишинговых атак, либо средствами, разработанными тестировщиками самостоятельно. Помимо этого, следует следить за реакцией сотрудников в корпоративных социальных группах (например, в социальных сетях или мессенджерах).

Для проведения вишинговых атак возможно использование различных средств голосовой связи. Первые атаки рекомендуется проводить на лиц, чьи телефонные номера указаны в открытых источниках.

При проведении тестирования ответственное лицо должно находиться недалеко от тестировщика, чтобы в случае поднятия тревоги пресечь возможные негативные последствия.

2. Обучающий курс. Обучающий курс (далее – курс) разрабатывается командой тестировщиков. Курс должен быть легко усвоен каждым сотрудником. Для прослушивания курса, сотрудники должны быть разбиты на группы таким образом, чтобы минимизировать отрицательное влияние на работоспособность предприятия. Продолжительность курса должна быть такой, чтобы отрицательное влияние на работоспособность предприятия было минимально, а объем полезной информационной нагрузки максимален. Курс следует подавать в виде устного инструктажа и (или) в виде презентации. Курс должен содержать:

- обоснование существования угрозы и возможные последствия ее реализации;
- ответственность сотрудников за нарушение режима коммерческой тайны;
- возможные пути проведения атак;
- краткая сводка психологических приемов злоумышленников;

- алгоритм действий при обнаружении атаки или подозрительных запросов (должен содержаться в политике информационной безопасности);
 - общие правила информационной безопасности (должны содержаться в политике информационной безопасности).
3. Контрольное тестирование. Контрольное тестирование следует начинать спустя некоторое время после проведения обучающего курса (около двух недель) по такому же алгоритму, как и первичное. Полученные результаты следует сравнить с результатами первичного тестирования и сделать вывод об эффективности проделанной работы. С объектами, показавшими отрицательные результаты, следует провести дополнительное собеседование.
4. Мероприятия, направленные на закрепление пройденного курса и поддержание бдительности персонала. Перечень возможных мероприятий, направленных на закрепление пройденного курса и поддержание бдительности персонала:
- периодические тестирования по отдельным направлениям;
 - регулярные напоминания сотрудникам различных правил информационной безопасности.

Выводы. В результате исследования были описаны виды атак с использованием методов социальной инженерии, проанализированы причины эффективности этих атак; разработана методика выявления и устранения уязвимостей персонала для повышения уровня защищенности предприятия от угроз, исходящих со стороны лиц, использующих методы социальной инженерии с целью хищения корпоративной тайны.

Литература

1. Митник К., Саймон Б. Искусство обмана. – Компания АйТи, 2004. – 360 с.
2. Митник К., Саймон В.Л. Искусство вторжения. – Компания АйТи, 2005. – 280 с.
3. Social Engineer [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.social-engineer.org/framework/general-discussion/>, своб.
4. Чалдини Р.Б. Психология влияния. – СПб.: Питер, 2015. – 336 с.



Карпенко Елена Александровна

Год рождения: 1984

Университет ИТМО, факультет систем управления и робототехники, кафедра систем управления и информатики, студент группы № P4137

Направление подготовки: 27.04.03 – Системный анализ и управление

e-mail: proekt340@yandex.ru

УДК 62-50

МЕТОДЫ УПРАВЛЕНИЯ СИСТЕМАМИ ОТОПЛЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Карпенко Е.А.¹

Научный руководитель – к.т.н., доцент Слита О.В.¹

¹Университет ИТМО

Рассмотрен вопрос модернизации системы отопления модульного лабораторного комплекса в здании химико-аналитической лаборатории на Сузунском месторождении. Построена математическая модель изменения температуры воздуха в помещении, учитывающая не только теплопотери через ограждающие конструкции, но и добавочные потери тепла. Выбран закон управления температурой внутри помещения. Определены числовые параметры выбранного алгоритма управления. На основании результатов моделирования предложено использовать программируемый логический контроллер, который будет регулировать температуру в каждом помещении в соответствии с желаемыми значениями.

Ключевые слова: модульный лабораторный комплекс, индивидуальный тепловой пункт, отопление, отопительные приборы и системы, регулирование температуры, контроллеры, теплопотери, теплопередача, тепловая энергия, тепловой баланс, ПИД-регулятор, закон управления.

Введение. Автоматизированные устройства управления системами жизнедеятельности (отопления), такие как индивидуальный тепловой пункт (ИТП), призваны поддерживать в зданиях и помещениях микроклимат, наиболее комфортный для работы и отдыха. Кроме того, благодаря возможности более рационально расходовать энергоресурсы, такие системы являются гораздо более эффективными, чем традиционные. Принцип работы ИТП заключается в управлении тепловой мощностью системы отопления здания, а также непрерывным автоматическим регулированием температуры теплоносителя системы отопления. Исполнительными устройствами являются клапаны, осуществляющие подачу воды в систему.

Настоящая работа посвящена анализу методов управления системами отопления, выбору оптимального метода управления и внедрения его в существующую систему отопления здания химико-аналитической лаборатории (ХАЛ) на установке подготовки нефти Сузунского месторождения [1]. В настоящее время автоматическое регулирование ИТП здания ХАЛ осуществляется электронным контроллером ECL Comfort 310 с электронным ключом программирования приложения A361 [2]. При этом учитывается усредненное регулирование по внутренней температуре воздуха для всех помещений, что создает неприемлемые условия работы для технологов-лаборантов, особенно с опасными токсичными веществами, горючими газами, легковоспламеняющимися жидкостями с температурой вспышки не более 28°C. Модернизация системы регулирования температуры внутри помещения позволит поддерживать комфортные условия в помещениях и избегать нерациональный расхода тепла.

Модернизация системы отопления. Управление клапанами осуществляется сигналами от датчиков температуры воды, подаваемой в системы и возвращаемой из систем отопления, а также датчика температуры наружного воздуха.

Контроллер автоматически снижает потребление тепловой энергии при превышении заданных значений. Регулировка параметров теплоносителя в процессе эксплуатации производится в автоматическом режиме по показаниям датчика температуры наружного воздуха ESMT и температуры теплоносителя ESM-11 (погодозависимый режим теплоснабжения).

Учитывая все вышесказанное, предлагается установить датчики температуры в каждом помещении и модернизировать существующую систему управления температурой следующим образом:

- разделить единый контур существующей системы отопления на индивидуальные контуры для всех помещений. Для этого в ИТП устанавливается распределительный коллектор отопления на 26 контуров. Коллекторная система отопления – это «гребенка», от которой идут выводы для подсоединения приборов отопления в каждое помещение. На отводы коллектора устанавливаются сервоприводы. В основу работы электротермического сервопривода положен принцип расширения тел при нагревании. Электрический ток, поданный на привод, проходит через греющий нихромовый проводник, который нагревает армопарафин, находящийся в герметической емкости. Расширяющийся от нагревания армопарафин придает поступательное движение толкателю, преодолевая сопротивление возвратной пружины. При отключении электропитания привода армопарафин остывает, и возвратная пружина возвращает толкатель в исходное положение. Тем самым можно подавать или перекрывать поток теплоносителя индивидуально для каждого помещения;
- подобрать проводной контроллер, который, используя информацию о температуре, получаемую от датчиков температуры, а также на основании установленных пользователем параметров, будет управлять сервоприводами коллектора, тем самым регулируя температуру в каждом помещении. Для управления сервоприводами на коллекторах отопления в ИТП устанавливается контроллер, на который выводятся показания температурных параметров каждого помещения.

Таким образом, предлагается усовершенствовать существующую систему управления температурой в системе отопления за счет разделения контуров отопления по помещениям, установки датчиков температуры в каждом помещении и головного контроллера, который будет управлять сервоприводами, а также существующим контроллером ECL.

Модель объекта управления. Математическая модель, описывающая изменение температуры в помещении, составлена на основании уравнения теплового баланса [3]. Она учитывает не только теплотери через ограждающие конструкции, но и добавочные потери тепла в соответствии с [4, 5]. Для определения параметров модели обогреваемого помещения и нагревательного прибора был произведен теплотехнический расчет ограждающих конструкций, расчет теплотерь через наружные ограждающие конструкции, а также определены площади нагревательных приборов, их тепловая мощность и параметры теплоносителя.

Закон управления. При выборе регулятора учитывались требования к качеству системы термостабилизации: погрешность стабилизации не более 1%; время регулирования – не более 20 мин, невысокая чувствительность к внешним воздействиям [6]. С учетом этих требований выбран пропорционально-интегрально-дифференцирующий ПИД-регулятор, параметры которого определены по результатам

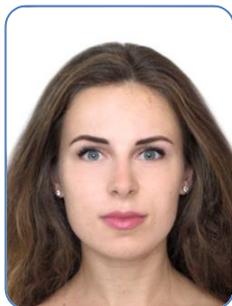
моделирования. Входным сигналом ПИД-регулятора контроллера является напряжение, пропорциональное разности между желаемой и действительной температурой внутри помещения.

Для реализации закона управления используется программируемый логический контроллер марки ОВЕН ПЛК-160, регулирующий температуру в каждом помещении. В качестве входных датчиков контроллера использованы термопреобразователи с выходным аналоговым сигналом в виде постоянного напряжения, пропорционального действительной температуре внутри помещения. Выбор указанной модели контроллера в первую очередь обусловлен возможностью подключения дополнительных модулей ввода/вывода, что позволяет осуществлять обмен с двадцатью шестью (в соответствии с количеством комнат) аналоговыми датчиками температуры. Кроме того, предложенный контроллер имеет значительную вычислительную мощность, усовершенствованные высокоскоростные входы и выходы, а также обширные возможности для программирования. Действующий контроллер ECL Comfort 310, находящийся на данный момент в здании ХАЛ, переходит под управление головного контроллера ПЛК-160.

Заключение. Проведенная модернизация системы отопления ХАЛ позволяет эффективно расходовать тепловую энергию, поддерживая комфортные условия работы. При предложенном способе регулирования температуры контроллер теплового пункта становится единой точкой регулирования в здании без дополнительных автоматических устройств в отдельных помещениях. Предложенный подход основан на использовании сигналов от нескольких датчиков температуры и позволяет учесть специфику условий каждого производственного помещения. В дальнейшем, в целях удешевления проекта модернизации системы отопления здания, планируется исследовать возможность перенесения функций ECL Comfort 310 в головной контроллер ПЛК-160.

Литература

1. Конструкторская документация по объекту «Химико-аналитическая лаборатория» на УПН Сузунского месторождения. – СПб.: ООО ЭКРОС-СТРОЙ, 2015.
2. Инструкция ECL Comfort 310, приложение A361 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.danfoss.info/content/files/A361.pdf> (дата обращения: 25.10.2017).
3. Туркин В.П. Отопление гражданских зданий. – Челябинск, 1975. – 320 с.
4. СП 60.13330.2012. Актуализированная редакция СНиП 41-01-2003 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха». – Введен 01.01.2013. – М.: МЧС России, 2012. – 81 с.
5. СНиП 23-02-2003. Тепловая защита зданий. – Введен 10.01.2003. – М.: Госстрой России, 2012. – 31 с.
6. Спицин В.В., Спицин В.С. Алгоритмы управления температурой в помещениях // Вестник ЮУрГУ. – 2012. – № 35. – С. 79–84.

**Кислицина Елена Андреевна**

Год рождения: 1993

Университет ИТМО, факультет систем управления и робототехники, кафедра информационно-навигационных систем, студент группы № P4230

Направление подготовки: 24.04.02 – Системы управления движением и навигация

e-mail: keasunrise@gmail.com

**Шевченко Александр Николаевич**

Год рождения: 1982

АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор»

e-mail: standw.shev@gmail.com

УДК 53.09**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ДИФФУЗИИ
ИЗОТОПОВ КСЕНОНА В ГАЗОВОЙ ЯЧЕЙКЕ КВАНТОВОГО
ДИСКРИМИНАТОРА****Кислицина Е.А.¹****Научный руководитель – Шевченко А.Н.²**¹Университет ИТМО; ²АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», Санкт-Петербург

Работа посвящена разработке методики оценки качества изготовления газовых ячеек, применяемых в квантовых приборах с оптическим каналом накачки атомных моментов. Описано использование метода свободного индукционного распада для измерения времени поперечной релаксации атомов благородного газа. Путем сравнения теоретического и экспериментального расчетов коэффициентов диффузии для нескольких ячеек выполнена оценка качества их изготовления.

Ключевые слова: газовая ячейка, квантовый дискриминатор, скорость поперечной релаксации, коэффициент диффузии, ядерный магнитный резонанс.

В настоящее время наблюдается большой интерес к использованию квантовых приборов для решения задач навигации и геодезии. На основе квантовых дискриминаторов, содержащих оптический канал накачки и детектирования, газовую ячейку с парами щелочного металла и магнитную систему задания резонансных полей, разработаны и внедрены стандарты частоты и квантовые магнитометры. Наиболее передовым направлением исследований является применение газовых ячеек, содержащих изотопы ксенона, для создания мазеров, квантовых датчиков вращения и высокочувствительных трехкомпонентных векторных магнитометров [1].

Важным параметром, характеризующим газовую ячейку, является коэффициент диффузии изотопов ксенона, так как он определяет чувствительность квантового дискриминатора к градиенту магнитного поля на объеме газовой ячейки и к эффекту пристеночной релаксации (потери когерентности) изотопов ксенона [2]. Фактическое значение коэффициента диффузии может отличаться от расчетного в силу того, что эмпирические формулы для расчета коэффициента диффузии газов имеют погрешность предсказания в среднем около 8%. Также расчет может дать значение коэффициента

диффузии, значительно отличающее от определенного экспериментально, если при изготовлении газовой ячейки были нарушены концентрации ксенона и буферного газа.

В связи с тем, что технология изготовления и наполнения ячеек газами все еще находится на этапе исследований и пока не налажено их промышленное производство, существует необходимость оперативного контроля качества газовых ячеек при отработке технологии их изготовления.

Целью работы стало экспериментальное определение коэффициента диффузии изотопов ксенона в буферном газе для оценки качества изготовления газовых ячеек.

Объектом исследования выступила сферическая газовая ячейка, наполненная двумя изотопами благородного газа ксенона ^{129}Xe и ^{131}Xe , парами щелочного металла цезия ^{133}Cs и буферным газом – азотом N_2 . Оптимальные значения парциальных давлений газов зависят от назначения квантового дискриминатора и специфики его использования, поэтому в тестовых ячейках они могут значительно отличаться. На рис. 1 приведен пример кубической газовой ячейки компании Northrop Grumman и сферических ячеек, полученных стеклодувным методом, выполненных из борсиликатного стекла, до отпайки от установки, предназначенной для заполнения ячеек газовой смесью. На таких сферических ячейках диаметром 15–20 мм (рис. 1, б) проводились исследования.

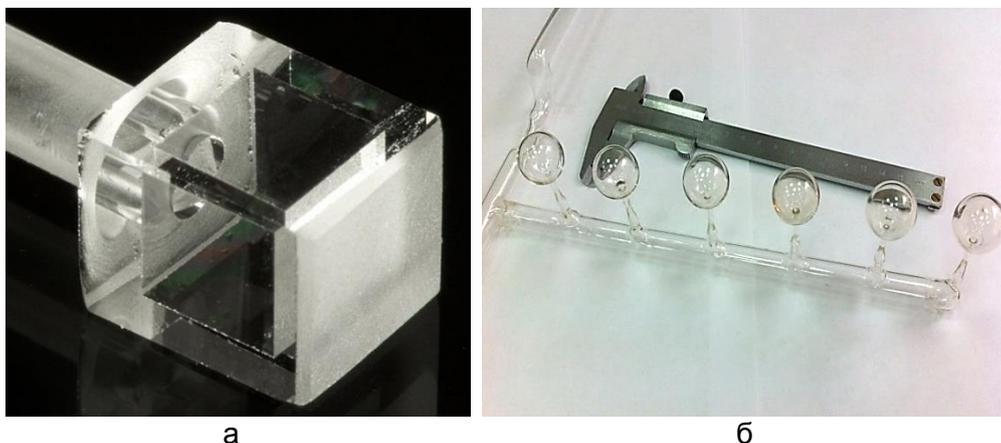


Рис. 1. Примеры газовых ячеек: кубической (а); сферических (б)

Методика определения коэффициента диффузии ксенона в буферном газе. Коэффициент диффузии является количественной характеристикой скорости диффузии, равной количеству вещества (в массовых единицах), проходящему в единицу времени через участок единичной площади (например, 1 м^2) в результате теплового движения молекул при градиенте концентрации, равном единице (соответствующем изменению $1\text{ моль/л} \rightarrow 0\text{ моль/л}$ на единицу длины).

Для того чтобы оценить правильность наполнения газовой ячейки, необходимо в первую очередь рассчитать теоретическое значение коэффициента диффузии, используя табличные значения молярных масс и диаметров сталкивающихся частиц. Затем следует провести измерения скорости релаксации векторов намагниченности благородного газа методом свободного индукционного распада [3] и, подставляя измеренные значения в уравнение, применяемое для определения экспериментального значения коэффициента диффузии, рассчитать фактический коэффициент диффузии. На последнем этапе необходимо сопоставить теоретическое и экспериментальное значения коэффициентов диффузии и рассчитать разницу между ними. Далее по установленному критерию (погрешность совпадения теоретического и экспериментального значений не должна быть больше 8%), оценить проходит ли ячейка контроль качества, т.е. оценить, может ли на ней быть достигнута нужная чувствительность квантового дискриминатора.

Теоретический расчет коэффициента диффузии. Формула для теоретического расчета коэффициента диффузии была предложена в [4]:

$$D = \frac{1,858 \cdot 10^{-3} T^{3/2} \sqrt{1/M_1 + 1/M_2}}{\rho \sigma_{12}^2 \Omega}, \quad (1)$$

где 1 и 2 – индексы двух видов молекул (^{129}Xe и ^{133}Cs), присутствующих в газовой смеси; T – абсолютная температура, К; M – молярная масса молекул, входящих в состав газовой смеси, г/моль; ρ – давление, Па; $\sigma_{12} = \frac{1}{2}(\sigma_1 + \sigma_2)$ – средний диаметр сталкивающихся частиц, Å; Ω – зависимость интеграла столкновений от температуры.

Экспериментальное определение коэффициента диффузии.

Экспериментальный расчет коэффициента диффузии можно выполнить по методике, предложенной в [5], где скорость поперечной спиновой релаксации во вращающейся системе координат соотносится со следующей функцией:

$$\Gamma = k_0 + k_2 \left(\frac{\partial B_z}{\partial z} \right)^2 + k_4 \left(\frac{\partial B_z}{\partial z} \right)^4, \quad (2)$$

где $\partial B_z / \partial z$ – составляющая тензора магнитного поля, неизменная относительно вращения по оси Z ; k_0 , k_2 и k_4 – коэффициенты пропорциональности.

Коэффициенты k_2 и k_4 выражаются уравнениями:

$$k_2 = \frac{\gamma^2 D}{2\omega_r^2} f_2(r) \quad (3)$$

и

$$k_4 = \frac{101\gamma^4 R^6}{110250\omega_r^2 D} f_4(r), \quad (4)$$

где γ – гиромагнитное отношение спинов, $\text{с}^{-1} \cdot \text{Тл}^{-1}$; D – коэффициент диффузии, $\text{м}^2/\text{с}$; R – радиус газовой ячейки (предполагается использование сферической ячейки), м; ω_r – частота Раби, Гц; $f_2(r)$ и $f_4(r)$ – масштабирующие функции относительной частоты Раби, где $r = \omega_r R / D$.

Для выполнения экспериментального расчета на первом этапе проводится измерение скорости релаксации векторов намагниченности ядер ксенона методом спада свободной индукции, для этого на лабораторной установке, описанной далее, вводится градиент магнитного поля посредством подачи тока в градиентные катушки.

Таким образом, путем наблюдения свободной прецессии измеряется скорость релаксации Γ как функция $\partial B_z / \partial z = 2\kappa I$ в 16 пусках, где κ – коэффициент калибровки катушек:

$$\kappa = \frac{3\pi n a^4 d}{5(d^2 + a^2)^{5/2}} G, \quad (5)$$

где n – количество витков в каждой катушке; a – радиус катушек, м; d – половина расстояния между катушками, м; G – постоянное магнитное поле, Тл.

Результаты каждого пуска подставляются в уравнение, полученное преобразованием (2) с учетом имеющихся данных о силе тока в катушках, тогда для скорости поперечной релаксации справедливо:

$$\Gamma = k_0 + k_2 [2\kappa(I - I_0)]^2 + k_4 [2\kappa(I - I_0)]^4, \quad (6)$$

где I – ток в катушках, А; I_0 – ток в градиентных катушках, А.

Уравнение (6) позволяет найти $k_2 \kappa^2$, $k_4 \kappa^4$ и I_0 , что в совокупности со знанием коэффициента калибровки κ , позволяет рассчитать значения коэффициентов k_2 и k_4 . Также в каждом пуске измеряется частота ω_r – минимальная частота прецессии в

резонансе, которая соответствует минимальному значению магнитного поля $\partial B_z / \partial z$, воздействующего на ячейку. В ходе эксперимента было исследовано две пары ячеек, заполненных при температуре 30°C , каждая из которых содержала примерно 5 мг цезия, 1 торр ксенона и несколько сотен торр азота (в первой паре ячеек содержалось 347 торр азота, во второй 719 торр азота). Радиус каждой ячейки определялся путем измерения внешнего диаметра, а толщина стенок ячеек измерялась оптическим методом.

Используя измерения, экспериментальный коэффициент диффузии ксенона в буферном газе может быть рассчитан в соответствии с формулой, следующей из (3):

$$D = \frac{2[k_2 k^2][\omega_r]^2}{\kappa^2 \gamma^2 f_2(r)}, \quad (7)$$

где в квадратные скобки заключены измеряемые величины.

Схема установки. Для измерения времени релаксации вектора намагниченности изотопов ксенона применялась лабораторная установка, схема и физическая реализация которой приведены на рис. 2.

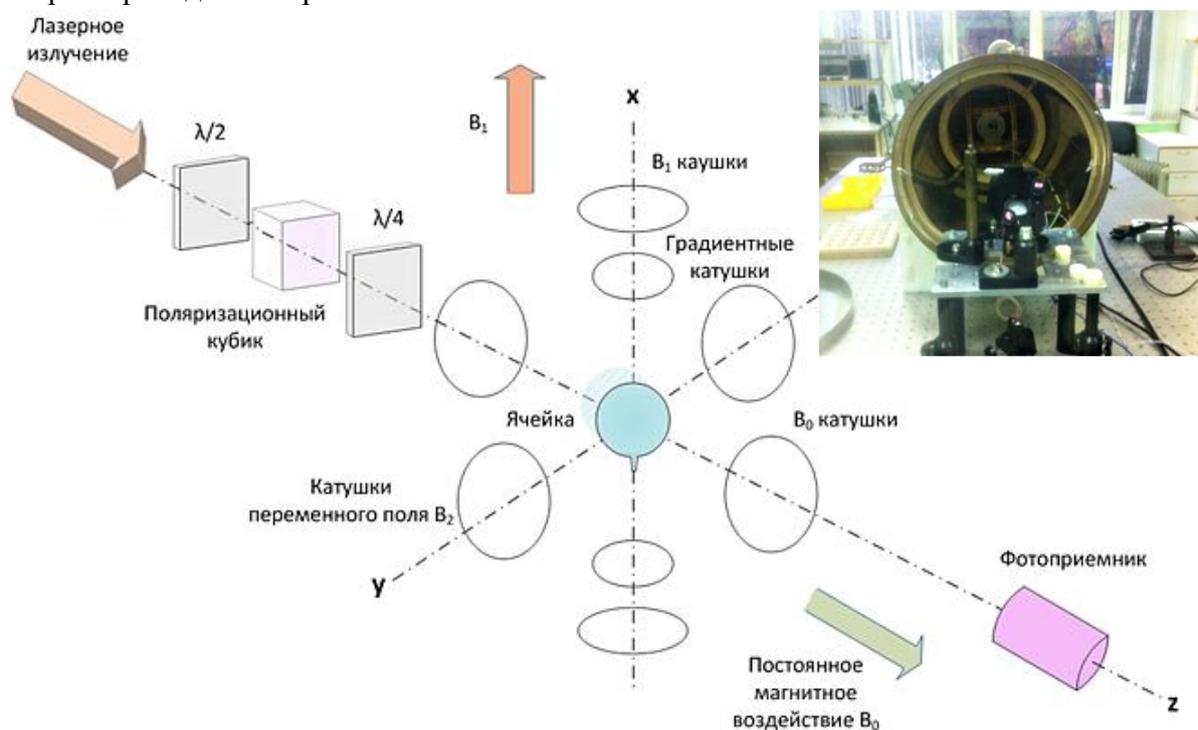


Рис. 2. Схема и фотография практической реализации лабораторного стенда

Представленная установка была разработана для наблюдения свободной прецессии вектора намагниченности ядер ксенона. В первую очередь на ней производится накачка ядер изотопов благородного газа ксенона, для этого продольными катушками создается постоянное магнитное поле B_0 . Лазерное излучение, направленное вдоль поля B_0 , накачивает атомы ксенона через спин-обмен с цезием. Атомы ксенона начинают прецессировать вокруг поля B_0 со случайными фазами и с характерными для них частотами Лармора. Через 5 мин поле B_0 отключается, и атомы Хе начинают прецессировать вокруг поля B_1 , при этом начальная фаза прецессии атомов определяется полем B_0 . Вращение вектора намагниченности ксенона для цезия воспринимается как медленное изменение. Для того чтобы детектировать поле, созданное ксеноном, под углом 90° к лазерному излучению

подается радиополе B_2 на частоте цезия, при этом лазерное излучение начинает выполнять функцию детектирующего.

В стенде имеется пара коаксиальных градиентных катушек, закрепленных симметрично относительно ячейки на оси X , для генерации желаемой неоднородности магнитного поля.

Анализ полученных результатов. В соответствии с предложенной методикой были произведены теоретический и экспериментальный расчеты коэффициентов диффузии для двух пар ячеек с разными парциальными давлениями. Во время проведения измерений скоростей релаксации температура ячеек поддерживалась на уровне 70°C .

В экспериментальном расчете не учитывался квадрупольный сдвиг – коэффициент k_4 , поскольку он вносит существенный вклад в значение скорости релаксации только при высоких давлениях газов в ячейке (больше 800 торр), и, соответственно, при маленьком коэффициенте диффузии и высоких относительных частотах Раби.

Результаты расчетов приведены в таблице.

Таблица. Результаты расчета коэффициентов диффузии

№ ячейки	Давление, торр	Радиус, см	D_3 , $\text{см}^2/\text{с}$	D_T , $\text{см}^2/\text{с}$	Разница, %
1	$347N_2$	1,18	0,347	0,330	5,15
2	$347N_2$	1,18	0,344	0,330	4,24
3	$719N_2$	1,17	0,186	0,175	6,29
4	$719N_2$	1,17	0,195	0,175	11,43

Как видно из таблицы, результаты экспериментального расчета коэффициента диффузии хорошо коррелируют с теоретическим расчетом. Однако экспериментальные значения оказались немного больше теоретических, что свидетельствует о пониженной концентрации газов в ячейке. Это способствует пониженной чувствительности к градиенту магнитного поля, но одновременно вызывает рост влияния пристеночной релаксации. Можно предположить, что пониженное давление во всех ячейках вызвано недостатками технологии наполнения ячеек газами, а именно процесса отпайки ячеек от газонакачивающей установки (рис. 1, б).

В том случае, когда экспериментальный коэффициент диффузии меньше расчетного значения, атомы ксенона мало перемещаются по ячейке и слабо осредняют магнитное поле в ячейке. Это также свидетельствует об избыточном давлении буферного газа, что влечет высокую чувствительность к градиенту магнитного поля.

Расчет коэффициентов диффузии проводился только для ^{129}Xe , поскольку для ^{131}Xe характерна более низкая чувствительность к градиенту магнитного поля, соответственно, расчет коэффициентов диффузии для ^{131}Xe имел бы меньшую точность. Эта особенность обусловлена различиями гиромагнитных отношений этих двух изотопов ксенона.

По результатам расчетов можно сделать заключение о том, что три из четырех ячеек, для которых разница теоретического и экспериментального значений коэффициента диффузии совпадают с разницей, не превышающей 8%, могут быть использованы для дальнейшей работы, тогда как последняя ячейка, с разницей 11,43%, должна быть признана производственным браком.

Заключение. На основе наработанного учеными со всего мира теоретического и практического заделов по способам определения параметров газовых ячеек,

характеризующих качество их изготовления, был предложен метод определения коэффициента диффузии благородного газа в буферном. Описан способ измерения скорости релаксации вектора намагниченности атомов благородного газа на специально разработанной лабораторной установке. Экспериментально определены коэффициенты диффузии изотопов ксенона ^{129}Xe для четырех ячеек с различными концентрациями газов. Полученные результаты хорошо коррелируют с теоретическим расчетом. Результаты показали, что для всех ячеек характерна пониженная концентрация газов, что предположительно связано с технологией заполнения ячеек. Тем не менее, качество наполнения ячеек достаточно высоко, поскольку три из четырех ячеек удовлетворяют поставленным требованиям и лишь одна ячейка признана производственным браком. Выполнение требования к коэффициенту диффузии является необходимым условием, подтверждающим соответствие парциальных давлений в ячейке эталонным, однако не достаточным.

Предложенный метод позволяет выполнять качественную оценку изготовления газовых ячеек, проверяя их на соблюдение давлений буферного газа. Имея возможность определения правильности консистенции газов в запаянных ячейках, можно коррелировать значения выходных данных ячейки с определенной технологией производства, что способствует совершенствованию и оптимизации процесса изготовления и наполнения таких ячеек.

Литература

1. Вершовский А.К., Шевченко А.Н. Ядерный магнитный гироскоп: принцип действия, история, перспективы // Сборник «Навигация и управление движением» // Материалы XVII конференции молодых ученых. – 2015. – С. 19–28.
2. Liu X., Chen C., Qu T., Yang K., Luo H. Transverse spin relaxation and diffusion-constant measurements of spin-polarized ^{129}Xe nuclei in the presence of a magnetic field gradient // Scientific Reports. – 2016. – V. 6. – P. 24122.
3. Mirijanian J.J. Techniques to characterize vapour cell performance for a nuclear-magnetic-resonance gyroscope // In Master's A Thesis presented to the Faculty of California Polytechnic State University. – 2012. – 153 p.
4. Hirschfelder J., Bird R.B. Molecular Theory of Gases and Liquids // Journal Of Polymer Sciisnc. – 1955. – V. XVII. – № 83. – P. 1097.
5. Hasson K.C., Gates G.D., Lerman K., Bogorad P., Happer W. Spin relaxation due to magnetic-field inhomogeneities: quartic dependence and diffusion-constant measurements // Department of Physics, Princeton University. – 1990. – P. 17.

**Кислицина Елена Андреевна**

Год рождения: 1993

Университет ИТМО, факультет систем управления и робототехники, кафедра информационно-навигационных систем, студент группы № Р4230

Направление подготовки: 24.04.02 – Системы управления движением и навигация

e-mail: keasunrise@gmail.com

**Шевченко Александр Николаевич**

Год рождения: 1982

АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор»

e-mail: standw.shev@gmail.com

UDK 537**MAGNETIC FIELD GRADIENT REQUIREMENTS DETERMINATION TO IDENTIFY A NUCLEAR MAGNETIC RESONANCE GYROSCOPE METROLOGICAL CHARACTERISTICS****Kislitsina E.A.¹****Research supervisor – Shevchenko A.N.²**¹ITMO University; ²Concern CSRI Elektropribor, JSC

This paper is devoted to the development of the magnetic field gradient requirements forming technique in order to study a vapor cell parameters of an atomic gyro based on the nuclear magnetic resonance effect. During this study the dependence of the nuclear magnetic gyroscope achievable sensitivity on the cell characteristics and the dependence of the noble gas atoms relaxation rate on the magnetic field gradient were determined.

Key words: magnetic field gradient, vapor cell characteristics, nuclear magnetic resonance, transverse spin relaxation rate, atomic gyro.

Introduction. Nowadays the number of research and development aimed to create an atomic gyro based on the nuclear magnetic resonance (NMR) effect is growing [1]. A quantum rotation sensor, to be precise a nuclear magnetic gyroscope (NMG), can operate both in the angular rate sensor mode and in the angle sensor mode. In the angular rate sensor mode frequencies of the NMR signal are examined, while in the angle sensor mode the operation is performed with the gyro signal phase. The sensitive element of such a gyroscope is a glass cell filled with the noble gas isotopes and the alkali metal vapor. The composition and pressure of the gas mixture in the cell largely determine the accuracy of the readings taken by the detection laser. In addition, the gyroscope design includes a magnetic field generating system [2]. An inhomogeneity of the created magnetic field affects characteristics of the gyroscope in particular the noble gas nuclei spin relaxation time [3]. The relaxation time is maximal for the zero gradient and decreases with the magnetic field inhomogeneity growth.

In this work initiated to formulate the requirements for the magnetic field gradient in the laboratory stand that is used to determine characteristics of the NMG vapor cell two issues were considered: the dependence of the NMG achievable sensitivity on the cell characteristics was revealed and the dependence of these characteristics on the magnetic field gradient was analyzed.

First of all, parameters determining an atomic gyro sensitivity were identified. By sensitivity we mean the ability of the system to register a small increment of the measured value

against the noise [4]. It is assumed that the sensitivity is measured at sufficiently small time intervals so that the drifts of the device do not contribute to the total error. The operational principle of any quantum sensor is to register the resonance frequency. Considering quantum sensors (frequency standards, quantum magnetometers, etc.), the minimum frequency measurement error $\delta\omega$ is defined by the frequency quality factor Q and the bandwidth Δf where the measurements are made and is described by the following equation:

$$\delta\omega = \frac{1}{Q} \sqrt{\Delta f}. \quad (1)$$

The resonance quality factor is given by:

$$Q \equiv \frac{1}{\sigma_N} \cdot \left. \frac{dS}{d\omega} \right|_{\Delta\omega=0} \approx \frac{S}{\sigma_N \cdot \Gamma}. \quad (2)$$

Here, σ_N is the spectral noise density; $dS/d\omega$ is the resonance slope; $\Delta\omega = \omega_0 - \omega$ (ω_0 is the magnetic resonance frequency, ω is the frequency of the resonant magnetic field); S is the amplitude of the resonance signal, and Γ is the relaxation rate.

The quality factor value increases with the signal amplification and decreases with the noise growth or broadening of the magnetic resonance line. The relaxation rate of xenon nuclear moments Γ is equivalent to the half-width of the magnetic resonance line. Both short-term and long-term errors of the quantum discriminator are proportional to the resonance line width.

The sensitivity of the angular rate sensors (gyroscopes) in scientific papers is denoted as angle random walk (ARW) and is defined by the formula similar to (1). The vapor cell parameters that determine the sensitivity of any NMG are the spin relaxation rate of the noble gas nuclei Γ and the signal-to-noise ratio S/σ_N (depends on the number of polarized xenon atoms in the cell), where σ_N is the noise spectral density. Thus, maximum achievable sensitivity of the NMG can be determined by the following equation [5]:

$$ARW = \frac{\Gamma}{(S/\sigma_N) \sqrt{\Delta f}}. \quad (3)$$

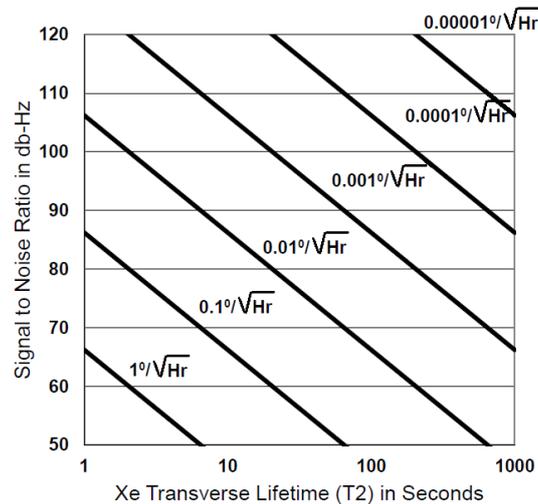


Fig. 1. ARW level curves (angle random walk value as a function of signal-to-noise ratio and transverse lifetime)

More clearly this equation can be represented on the graph (Fig. 1). In the case when values of the transverse relaxation rate (lifetime) and the signal-to-noise ratio are known it is possible to determine the maximum achievable sensitivity for the vapor cell under consideration, provided that the gyro design itself does not bring in any distortions.

In accordance with the desired system characteristics the NMG angle random walk must not exceed $0,001^\circ/\sqrt{h}$.

Summing up, parameters of the vapor cell that determine the sensitivity of the NMG are the following: the gas mixture and the polarization lifetime. There also are optical properties of the cell such as the loss of nonresonant radiation and the radiation depolarization degree during the passage through the cell that influence the ARW but they are not considered in this research.

The vapor cell diameter for calculating the value of the achievable ARW for the NMG was chosen to be 6,5 mm as such a small cell is necessary to meet the size requirements for an atomic gyro, the ^{129}Xe polarization 10%, the ^{129}Xe lifetime 30 s and the magnetometer noise $40 \text{ fT}/\sqrt{\text{Hz}}$. According to the results of the numerical evaluation the maximum achievable sensitivity of the NMG is $1,6 \cdot 10^{-4}^\circ/\sqrt{h}$ that is an order of magnitude better than the minimum required value. We set the requirement for the accuracy of the sensitivity evaluation to be no worse than $1 \cdot 10^{-4}^\circ/\sqrt{h}$.

The lifetime of the noble gas atoms magnetic vector can be measured by observing free precession with the free-induction decay method. The difficulty is that it depends strongly on the magnetic field gradient at the moment of taking measurements that is why the inhomogeneity in the laboratory stand must be taken into account. The inhomogeneity can be compensated, but that requires complex analytical calculations, another way is to vary the desired inhomogeneity. Thus, to measure the lifetime with the accuracy sufficient to determine the sensitivity of the NMG it is necessary to meet the requirements for a magnetic field gradient. It is fair to conclude that formulation of these requirements is an important and practically significant task.

Scheme of the laboratory stand for measuring the vapor cell parameters. The experimental measurements were carried out on the sealed vapor cells made of borosilicate glass by glass blowing. The diameter of the cells was about 15 mm as with larger cell it is possible to get a stronger output signal. Each cell contained approximately 1 Torr of ^{129}Xe , several hundred Torr of N_2 and several milligrams of ^{133}Cs . At the laboratory stand xenon atoms undergo polarization by spin-exchange in van der Waals molecules (Cs^{129}Xe) and double spin-spin collisions with atoms of cesium. A high degree of polarization is maintained in alkali metal vapor by dint of pump lasers.

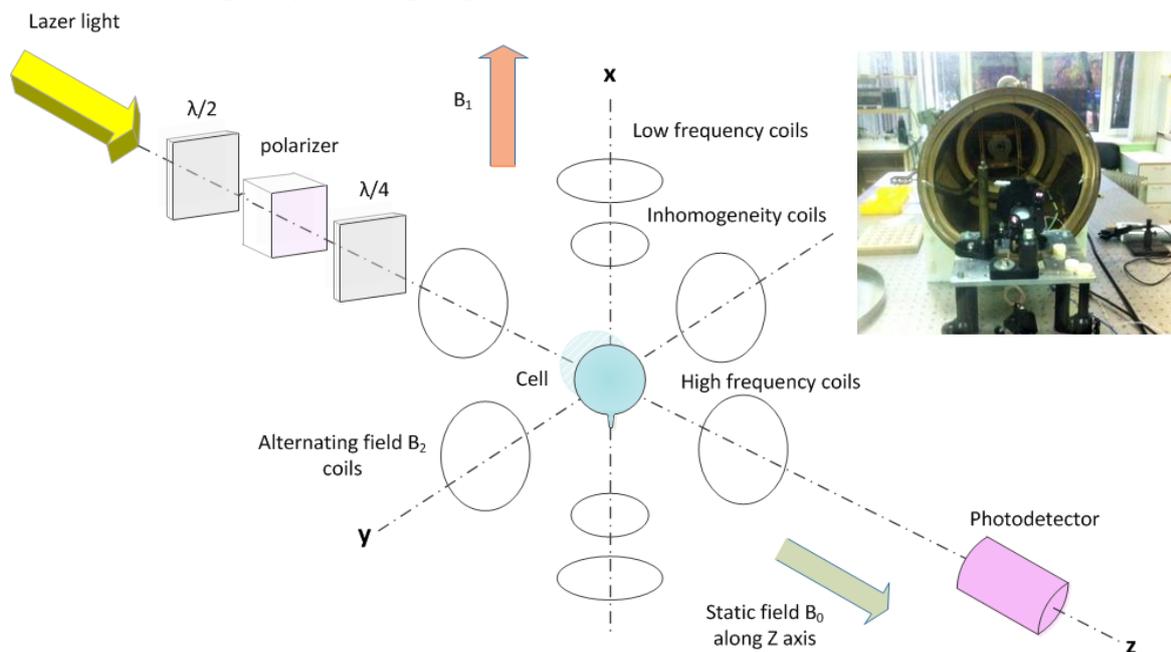


Fig. 2. Scheme of the laboratory stand for the NMR effect investigation and its practical implementation

After 5 minutes of polarization process the laser beam is turned off and the glass reflecting the laser light to the cell is extracted allowing the unpolarized beam from the cesium resonance emitters to perform detection. The laboratory stand scheme and its practical implementation are shown in Fig. 2.

The laboratory stand contains a pair of coaxial gradient coils which generate the desired magnetic field inhomogeneity. These coils are fixed symmetrically to the centre of the cell on the X axis.

The output signal has the form of an exponentially decaying sinusoid as shown in Fig. 3. The decay constant characterizes an exponential envelope of the signal which we consider to be the relaxation rate.

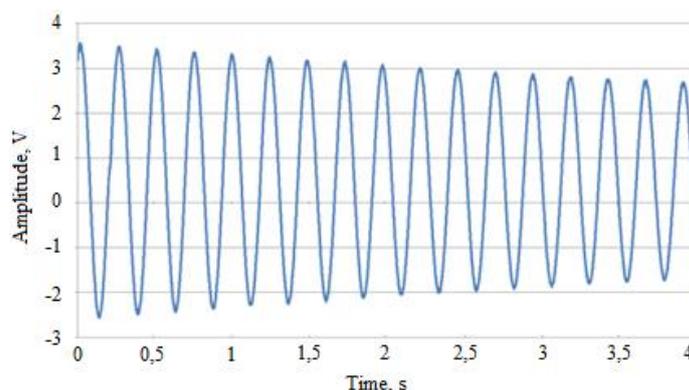


Fig. 3. Typical shape of the precession signal

The lifetime of the xenon nuclear moments is the time required for the signal amplitude decreases by a factor of e . The inverse of the lifetime is the relaxation rate.

When the precession signal is registered it is necessary to find the coefficients of the approximating curve equation for the precession signal amplitude to obtain the most accurate value of the relaxation rate. The most commonly used method is the least squares (approximation: $y=e^{-t/T_2}\cos(\omega t+\varphi)$). The resulting value of the coefficient T_2 makes it possible to calculate the relaxation rate Γ as the reciprocal of the lifetime.

The scheme in Fig. 2 does not show the heating element that maintains the cell temperature close to 70°C . This scheme also does not include the system for generation and active stabilization of the permanent magnetic field created along the Z axis. The static magnetic field is created by the solenoid which is clearly visible on the photo of scheme practical implementation (Fig. 2). The magnetic field is actively closed by an optically pumped cesium magnetometer located a few centimetres from the investigated vapor cell.

Specification of the requirements for the magnetic field gradient. The magnetic field gradient has a nonlinear spatial distribution. However, provided that the requirements for determination of the gyroscope sensitivity are given it is possible to formulate the requirements for determination of the transverse lifetime with using the measurements of the transverse lifetime and by determining the theoretical signal-to-noise value. Hereupon it becomes possible to specify what magnetic field gradient requirements the laboratory stand has to satisfy to provide an opportunity to identify cells with parameters ensuring the gyroscope can meet the required characteristics.

It is known that the theoretically achievable sensitivity is $1,6 \cdot 10^{-4} \circ/\sqrt{h}$, the error of the sensitivity determination ΔARW should not exceed $1 \cdot 10^{-4} \circ/\sqrt{h}$, and ^{129}Xe relaxation rate 30 s^{-1} . Given these initial data the requirement for the accuracy of the relaxation rate determination was calculated. According to the calculation result, the error in determining the relaxation rate $\Delta\Gamma$ should not exceed $0,021 \text{ s}^{-1}$.

Further a number of experiments were carried out at the laboratory stand. The relaxation rates of the xenon magnetization vector were measured for two cells with different vapor pressures under the influence of various artificially introduced by the coils magnetic field gradients.

The results of the measurements are shown in Fig. 4. The left graph displays results for cell 1 with the total vapor pressure of 90 Torr while the right graph for cell 2 with the pressure equal to 100 Torr.

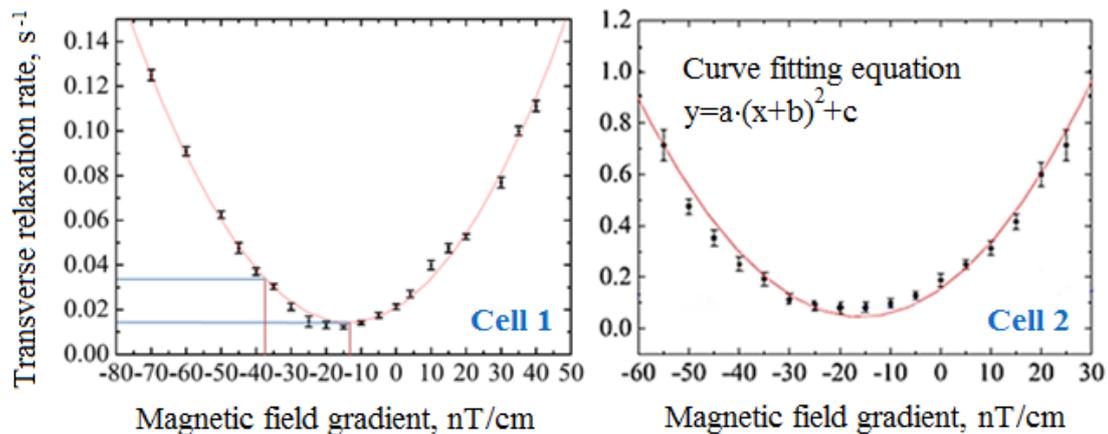


Fig. 4. Dependence of the ^{129}Xe transverse relaxation rate on the magnetic field gradient

It can be concluded from the graphs that the dependence of the relaxation rate on the magnetic field gradient has a quadratic form. The centre of the quadratic curve where the transverse spin relaxation rate reaches its minimum is shifted relative to the origin that indicates the presence of a residual magnetic field gradient in the magnetic shields. According to the results, the relaxation rate in the second cell with the 10% higher vapor pressure is stricter by almost an order of magnitude.

The requirements to the magnetic field gradient in the laboratory stand based on the obtained experimental results are the following:

Cell 1: $\partial B_z / \partial z \leq 25 \text{ nT/cm}$;

Cell 2: $\partial B_z / \partial z \leq 3 \text{ nT/cm}$.

In perspective, when the reference partial vapor pressures in the cell are approved, the described technique for the magnetic field gradient introduced by the laboratory stand requirements determination can be used to specify the production line equipment requirements.

Conclusion. In this research the technique of formulating the requirements for the laboratory stand was presented. It is necessary to provide the values of the gyro angle random walk estimate required accuracy, vapor mixture pressures of the investigated vapor cell, and xenon signal-to-noise ratio to use the suggested technique. The laboratory stand described in this work in prospective can be used to evaluate parameters of the NMG vapor cells applied in mass production.

In the course of this study the dependence of the atomic gyro sensitivity on the characteristics of the vapor cell was described. The numerical evaluation of the theoretically maximum achievable NMG angle random walk was performed.

The relaxation rates of xenon magnetization vectors were measured on the laboratory stand (modified for this research by the means of adding two magnetic field gradient coils) for two vapor cells with different vapor pressures. According to the measurement results, for the cells with higher vapor pressure requirements for the magnetic field gradient are significantly stricter: with 10% pressure increase the requirements for the magnetic field gradient grew up by almost an order of magnitude.

References

1. Larsen M., Bulatowicz M. Nuclear Magnetic Resonance Gyroscope: For DARPA's micro-technology for positioning, navigation and timing program // Frequency Control Symposium (FCS) IEEE International. – 2012. – P. 1–5.
2. Meyer D., Larsen M. Nuclear Magnetic Resonance Gyro for Inertial Navigation // Gyroscopy and Navigation. – 2014. – V. 5. – № 2. – P. 75–82.
3. Mirijanian J.J. Techniques to characterize vapour cell performance for a nuclear-magnetic-resonance gyroscope // In Master's A Thesis presented to the Faculty of California Polytechnic State University. – 2012. – 153 p.
4. Вершовский А.К., Пазгалев А.С. Оптимизация фактора качества магнитного Мх-резонанса в условиях оптической накачки // Журнал технической физики. – 2008. – Т. 78. – № 5. – С. 116–124.
5. Greenwood I.A., Simpson J.H. Fundamental noise limitations in magnetic resonance gyroscopes // IEEE 1977 National Aerospace and Electronics Conference. – 1977. – P. 1246–1250.

**Коломойцев Владимир Сергеевич**

Год рождения: 1990

Университет ИТМО, факультет компьютерных технологий и управления, кафедра вычислительной техники, аспирант

Направление подготовки: 10.06.01 – Информационная безопасность

e-mail: dek-s-kornis@yandex.ru

**Богатырев Владимир Анатольевич**

Год рождения: 1951

Университет ИТМО, факультет компьютерных технологий и управления, кафедра вычислительной техники,

д.т.н., профессор

e-mail: vladimir.bogatyrev@gmail.com

УДК 004.056.53

**ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ СХЕМ ЗАЩИЩЕННОГО ДОСТУПА
С ПОЛНЫМ И ЧАСТИЧНЫМ НАБОРОМ СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ
ИНФОРМАЦИИ****Коломойцев В.С.¹****Научный руководитель – д.т.н., профессор Богатырев В.А.¹**¹Университет ИТМО

Работа выполнена в рамках темы НИР № 617026 «Разработка методов интеллектуального управления киберфизическими системами с использованием квантовых технологий».

В работе исследована возможность повышения эффективности работы схемы защищенного доступа «Прямое соединение» для получения наиболее оптимальных решений с точки зрения обеспечения общего уровня безопасности вычислительной системы, итоговых экономических затрат на ее создание, вносимых временных задержек во время ее функционирования и надежности ее функционирования. Были предложены несколько вариантов последовательного применения средств защиты информации в составе схемы защищенного доступа «Прямое соединение».

Ключевые слова: информационная безопасность, система защиты информации, задержки обслуживания, надежность, проектирование систем.

Современные вычислительные системы должны обладать высоким уровнем надежности, безопасности и производительности. Существенное влияние на эффективность вычислительной системы оказывает организация системы защиты информации и схемы защищенного доступа, позволяющей безопасно взаимодействовать со всеми узлами вычислительной сети, а также внешними узлами. Применение комплексного подхода к проектированию систем защиты информации и схем защищенного доступа, в частности, позволяет обеспечить защиту вычислительной системы от множества угроз информационной безопасности [1, 2].

Однако использование большого спектра средств защиты информации помимо возможности достигнуть высокой защищенности вычислительной системы, также приводит к существенному увеличению финансовых затрат на реализацию такой

системы и вносимых ей временных задержек на поиск и устранение угроз информационной безопасности.

В результате необходимым является решение задачи повышения эффективности работы схемы безопасного «Прямое соединение» для получения наиболее оптимальных решений с точки зрения обеспечения общего уровня безопасности вычислительной системы, итоговых экономических затрат на ее создание, вносимых временных задержек во время ее функционирования и надежности ее исполнения.

Схема доступа «Прямое соединение», основывается на «Типовой» схеме доступа, имеющей следующую структуру подключения оконечных узлов корпоративной сети к ресурсам внешней сети: «Внешняя сеть» – «Маршрутизатор» – «Оконечные узлы системы». В сравнении с «Типовой» схемой доступа, в схеме доступа «Прямое соединение» между «Маршрутизатором» и «Оконечными узлами системы» устанавливается несколько последовательно подключенных друг к другу с помощью маршрутизатора средств защиты информации [2]. Общий вид схемы безопасного доступа «Прямое соединение» представлен на рис. 1.

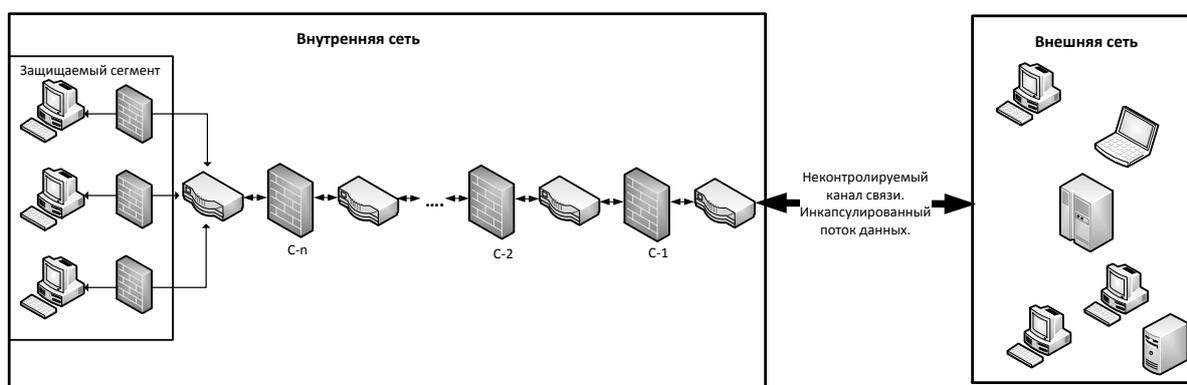


Рис. 1. Общий вид схемы безопасного доступа «Прямое соединение»

Использование маршрутизатора для связи элементов между собой позволяет организовать многоуровневую систему защиты информации и, тем самым, обеспечить именно те задержки обслуживания, уровень надежности и степень защиты информации на узлах системы, которые необходимы на том или ином уровне корпоративной сети.

Для решения данной задачи были предложены несколько вариантов последовательного применения средств защиты информации в составе схемы доступа «Прямое соединение». Варианты были разделены на группы с различной комплектацией элементов защиты информации, применяемых в схеме доступа:

- с фиксированным количеством установленных средств защиты в системе защиты информации;
- с изменяемым количеством установленных средств защиты в системе защиты информации.

Был проведен анализ эффективности и целесообразности использования схем защищенного доступа «Прямое соединение», имеющих одно или два последовательно подключенных средства защиты информации. Для оценки эффективности системы защиты информации использован комплексный критерий эффективности, учитывающий задержки обслуживания, вносимые системой защиты информации (T_s), предоставляемый ею уровень информационной защищенности (P_s) и уровень надежности ($P(T_{Sys})$) [3]:

$$Q_s = \frac{(T_0 - T_s)}{T_0} \cdot P_s \cdot P(T_{Sys}).$$

Задержки обслуживания оценим по формулам оценки среднего времени пребывания запросов в системе, предполагая, что система защиты информации

представляет собой одноканальную систему массового обслуживания с бесконечной очередью запросов [4]. Таким образом, задержки обслуживания, вносимые системой защиты информации, могут быть найдены, как:

$$T_r = \sum_i^r \frac{v_i}{\lambda \cdot v_i - n_i},$$

где T_r – задержки обслуживания системы состоящей из r -элементов; v_i – среднее время работы i -го элемента системы; λ – интенсивность входного потока; n_i – кратность резервирования i -го элемента системы.

Предоставляемый системой защиты информации уровень информационной безопасности оценивался через вероятность обнаружения и устранения угроз средствами защиты информации, используемыми в системе защиты информации [2, 3]:

$$P_r = \sum_i^r A_i \cdot p_i.$$

Здесь r – количество элементов системы, участвующих в обеспечении информационной безопасности; A_i – область угроз с которыми способен работать i -й элемент системы; p_r – вероятность обнаружения устранения угрозы i -м элементов системы.

Надежность системы оценим через вероятность безотказной работы системы [4]. В таком случае надежность системы защиты информации может быть найдена как:

$$P_S = \prod_i P_{C_i}(T_{Sys}) \cdot \prod_j P_M(T_{Sys}),$$

где $P_{C_i}(T_{Sys})$ – вероятность безотказной работы i -го средства защиты; $P_M(T_{Sys})$ – вероятность безотказной работы маршрутизатора, где вероятность безотказной работы i -го элемента системы можно найти как:

$$P(T_{Sys}) = \sum_{a=1}^{n_i} \delta_i C_{n_i}^a (e^{-\lambda_i T_{Sys}})^a (1 - e^{-\lambda_i T_{Sys}})^{n_i - a},$$

где T_{Sys} – время работы системы; λ_i – интенсивность отказов i -го элемента системы; n_i – кратность резервирования i -го элемента системы.

Таким образом, получена следующая зависимость эффективности системы от интенсивности входного потока для рассматриваемых вариантов построения системы защиты информации, представленная на рис. 2.

На рис. 2 представлены: вариант построения схемы с двумя средствами защиты информации (Вариант: 2 средства); варианты, использующие изменяемое количество установленных средств защиты в системе защиты информации и использующие только его (Вариант: С1 (изм) и Вариант: С2 (изм)); варианты, использующие фиксированное количество установленных средств защиты в системе защиты информации, но использующие только одно из них (Вариант: С1 (фикс) и Вариант: С2 (фикс)).

Варианты работы, использующие изменяемое количество установленных средств защиты в системе защиты информации позволяют вычислительной системе выполнять свою работу с большей интенсивностью входного потока. Вызвано это тем, что в случае повышения среднего значения интенсивности входного потока количество используемых элементов защиты информации в системе защиты информации может быть уменьшено. Таким образом, может быть снижена общая стоимость полученной системы защиты информации и станет возможным увеличить в ней кратность узлов, обеспечивающих информационную безопасность системы (средств защиты информации), что приведет к снижению среднего времени пребывания запроса в системе и увеличению ее надежности. Однако показанный вариант требует затрат определенного количества времени на реконфигурацию (смены количества

используемых элементов защиты в системе), что не позволяет в этот период времени вычислительной системе выполнять свои функции.

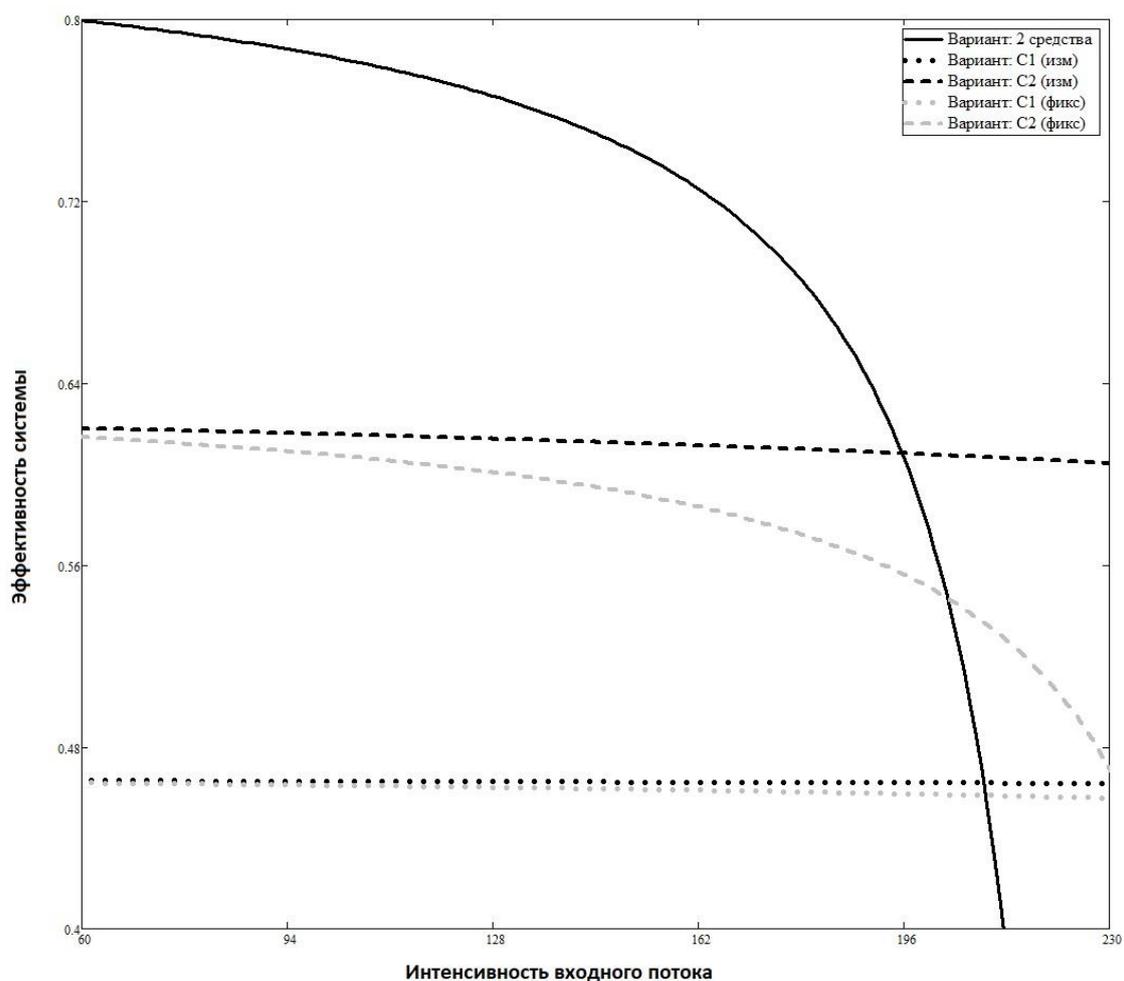


Рис. 2. Зависимость эффективности системы от интенсивности входного потока при различных вариантах построения системы защиты информации

Варианты работы, использующие фиксированное количество установленных средств защиты в системе защиты информации позволяют вычислительной системе мгновенно менять количество используемых в ней элементов защиты информации для защиты требуемого узла системы и, тем самым, не вводить вычислительную систему в состояние «простоя». Однако данные варианты имеют меньшую допустимую для работы интенсивность входного потока запросов, так как не имеют возможности менять установленное в системе защиты информации количество средств защиты и, тем самым, снизить среднее время пребывания запроса в системе и повысить надежность системы, за счет увеличения кратности необходимых элементов системы.

Показанные варианты размещения средств защиты информации на вычислительных узлах, использующихся в схемах защищенного доступа, позволяют повысить качество проектирования системы защиты информации. Показана целесообразность реконфигурации системы защиты информации (чтобы снизить временные задержки, в случае увеличения интенсивности входного потока или повысить уровень информационной защищенности и (или) надежности, в случае уменьшения интенсивности входного потока).

Предложенный подход позволяет обосновать решение о применении того или иного варианта размещения средств защиты в составе системы защиты информации как

с финансовой точки зрения, так и исходя из уровня информационной защищенности вычислительно системы, ее надежности и вносимых временных задержек системой защиты информации.

Литература

1. Шаньгин В.Ф. Защита информации в компьютерных системах и сетях. – М.: ДМК Пресс, 2012. – 389 с.
2. Коломойцев В.С. Выбор варианта построения многоуровневого защищенного доступа к внешней сети // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2016. – Т. 16. – № 1. – С. 115–121.
3. Kolomoitcev V.S., Bogatyrev V.A. Probabilistic and temporal indicators in the stage-by-stage use of information protection means // Herald of computer and information technologies. – 2017. – № 11(161). – P. 37–43.
4. Клейнрок Л. Теория массового обслуживания / Пер. с англ. И.И. Грушко; ред. В.И. Нейман. – М.: Машиностроение, 1979. – 432 с.

**Комарова Антонина Владиславовна**

Год рождения: 1993

Университет ИТМО, факультет безопасности информационных технологий, кафедра проектирования и безопасности компьютерных систем, аспирант

Направление подготовки: 10.06.01 – Информационная безопасность

e-mail: piter-ton@mail.ru

**Меншиков Александр Алексеевич**

Год рождения: 1991

Университет ИТМО, факультет безопасности информационных технологий, кафедра проектирования и безопасности компьютерных систем, аспирант

Направление подготовки: 10.06.01 – Информационная безопасность

e-mail: menshikov@corp.ifmo.ru

**Коробейников Анатолий Григорьевич**

Год рождения: 1955

Университет ИТМО, факультет безопасности информационных технологий, кафедра проектирования и безопасности компьютерных систем, д.т.н., профессор

e-mail: korobeynikov_a_g@mail.ru

УДК 004.056

**ПОДХОД К ПОСТРОЕНИЮ ПРОТОКОЛОВ ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСИ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОСТКВАНТОВОЙ КРИПТОГРАФИИ****Комарова А.В.¹, Меншиков А.А.¹****Научный руководитель – д.т.н., профессор Коробейников А.Г.¹**¹Университет ИТМО

Работа выполнена в рамках темы НИР № 617026 «Разработка методов интеллектуального управления киберфизическими системами с использованием квантовых технологий».

Асимметричная криптография на сегодняшний день используется для решения большого количества задач, таких, как проведение финансовых транзакций, электронного голосования, создание защищенной связи по коммутационным каналам, использование на торговых площадках и так далее. Обеспечить аутентичность, доступность и конфиденциальность передаваемой информации позволяет электронная подпись. Для современной криптографии актуальна проблема повышения стойкости и уменьшения размера блоков данных путем модификации уже существующих криптосистем. А также довольно актуальна проблема противодействия квантовым вычислениям.

Ключевые слова: асимметричная криптография, электронная подпись, протокол безопасности, задача дискретного логарифмирования, постквантовая криптография, теория решеток.

Как известно, существует несколько трудоемких задач, на которых основываются все алгоритмы электронной подписи (ЭП). Основные из них – это задача факторизации больших чисел (разложение чисел на простые множители) и задача дискретного

логарифмирования [1]. На первой задаче базируется всем известный алгоритм RSA, но на сегодняшний день для использования этого алгоритма в реальных схемах требуется очень большая длина ключа (более 2048 бит), что, в свою очередь, требует большого объема памяти. Из всего вышесказанного следует, что алгоритм RSA на данный момент устарел и не используется в реальных протоколах безопасности [2].

На задаче дискретного логарифмирования основывается протокол распределения секретных ключей Диффи–Хеллмана, а также алгоритм электронной подписи, предложенный Тахером Эль-Гамалем. Для усиления стойкости в современных алгоритмах эта задача решается не в простом конечном поле, а в группе точек эллиптической кривой (ЭК) [3].

К схемам ЭП, основанным на задаче дискретного логарифмирования на ЭК, можно отнести стандарты Российской Федерации ГОСТ Р 34.10-2001 (утратил силу), ГОСТ Р 34.10-2012, а также стандарт Соединенных Штатов Америки – ECDSA. Использование аппарата ЭК позволяет в значительной степени повысить стойкость алгоритма электронной цифровой подписи (ЭЦП) при одинаковых вводных данных [4].

Но, несмотря на мощный и, казалось бы, криптостойкий аппарат ЭК, на данный момент в криптографии существуют определенные проблемы:

1. все возрастающий «безопасный» размер ключа;
2. ограниченность числа трудоемких задач, на которых могут базироваться современные протоколы ЭП;
3. возможность появления квантового компьютера.

В 1994 году американский ученый Питер Шор разработал эффективный полиномиальный алгоритм факторизации для квантового компьютера. Для обычных компьютеров полиномиальный алгоритм разложения больших чисел на множители считается экспоненциально трудной задачей. В связи с этим, в случае появления квантового компьютера, все существующие рабочие схемы могут подвергнуться взлому, по этой причине созданием алгоритмов, стойких к квантовым вычислениям, сейчас занимается такая отрасль криптографии, как постквантовая криптография.

Широкое применение в постквантовой криптографии нашла так называемая теория решеток (lattice based cryptography) [5]. Криптостойкость алгоритмов с использованием решеток основана на трудной математической задаче. Теория решеток включает около 15 разновидностей «трудных задач». Задача поиска наикратчайшего вектора решетки (SVP) (первая в списке) является NP-полной задачей и считается наиболее перспективной для использования в протоколах ЭЦП.

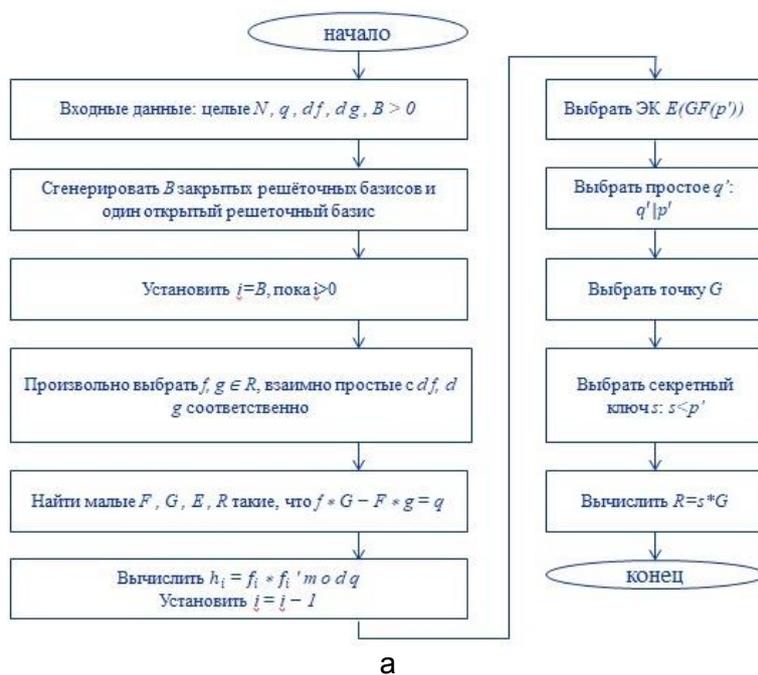
Повышение уровня безопасности существующих асимметричных алгоритмов ЭЦП может быть достигнуто их модификацией с использованием одновременно нескольких независимых вычислительно трудных задач. Для создания схемы, стойкой к квантовым вычислениям, интересным дальнейшим направлением исследований являются схемы ЭЦП, взлом которых требует одновременного решения и трудной задачи асимметричной криптографии (например, задачи дискретного логарифмирования на ЭК) и трудной задачи постквантовой криптографии (например, задачи поиска наикратчайшего вектора решетки).

В данной работе авторами предложен подход к построению комбинированной схемы ЭП, основанной на задаче дискретного логарифмирования на ЭК и задаче поиска наикратчайшего вектора решетки.

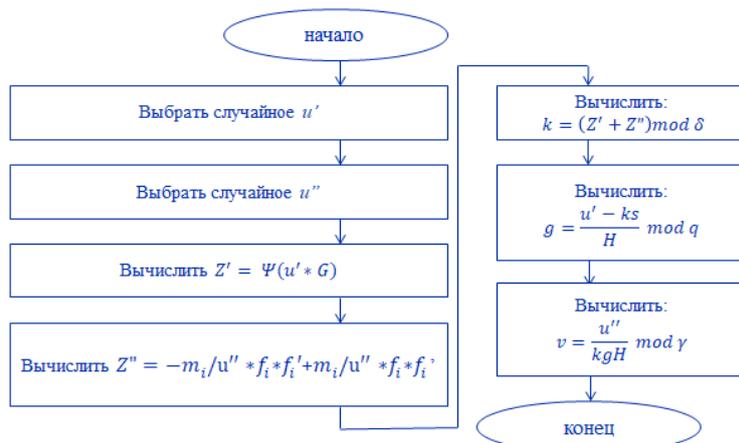
Алгоритмы генерации системных параметров комбинированной схемы, алгоритм генерации подписи к сообщению и алгоритм проверки подписи будут выглядеть, как представлено на рис. 1, 2.

В таблице представлены оценки стойкости исходных схем и полученной комбинированной схемы. Как можно видеть из таблицы, несмотря на то, что время генерации ключевой пары выработанной схемы возросло в несколько раз по сравнению

со временем генерации ключей для каждой трудной задачи в отдельности, продолжительность взлома комбинированной схемы в зависимости от длины ключа растет экспоненциально, что не может не быть большим преимуществом перед другими схемами.



а



б

Рис. 1. Алгоритмы генерации системных параметров комбинированной схемы (а) и подписи к сообщению H (б)

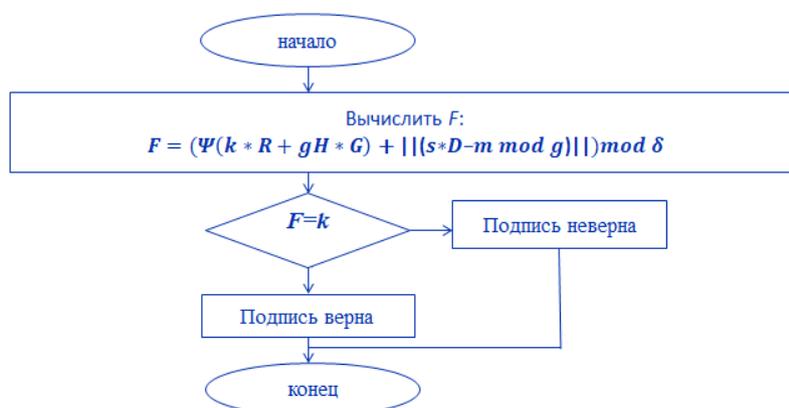


Рис. 2. Алгоритм проверки подписи (k, g, v) к сообщению H

Таблица. Оценка стойкости исходных и комбинированной схем

Рассматриваемая задача	Продолжительность взлома, MIPS-лет	Длина ключа, бит	Время генерации ключей, мс
Задача дискретного логарифмирования на ЭК	$4 \cdot 10^{27}$	512	460
	$3 \cdot 10^{42}$	1024	1360
	$2 \cdot 10^{61}$	2048	4350
Задача поиска наикратчайшего вектора решетки	$2 \cdot 10^{29}$	512	120
	$2 \cdot 10^{48}$	1024	380
	$4 \cdot 10^{74}$	2048	1060
Комбинированная схема	$8 \cdot 10^{56}$	512	580
	$6 \cdot 10^{90}$	1024	2740
	$8 \cdot 10^{135}$	2048	5092

Таким образом, в данной работе предложен подход к построению схемы ЭП, раскрытие которой требует одновременного решения двух трудных математических задач разного типа. Следует отметить, что вероятность компрометации полученной ЭП становится равной произведению вероятностей взлома каждой схемы в отдельности, а значит, резко снижается.

Литература

1. Комарова А.В., Menshchikov A.A., Negols A.V., Korobeynikov A.G., Gatchin Y.A., Tishukova N.A. Comparison of Authentication Methods on Web Resources // *Advances in Intelligent Systems and Computing*. – 2018. – V. 679. – P. 104–113.
2. Менщиков А.А., Комарова А.В., Коробейников А.Г. Алгоритмы электронной цифровой подписи в информационных системах // *Альманах научных работ молодых ученых Университета ИТМО*. – 2017. – Т. 3. – С. 135–137.
3. Комарова А.В., Менщиков А.А., Коробейников А.Г. Анализ и сравнение алгоритмов электронной цифровой подписи ГОСТ Р 34.10-1994, ГОСТ Р 34.10-2001 и ГОСТ Р 34.10-2012 // *Вопросы кибербезопасности*. – 2017. – № 1(19). – С. 51–56.
4. Пискова А.В., Коробейников А.Г. Особенности применения теории решеток в схемах электронной цифровой подписи // *Кибернетика и программирование*. – 2016. – № 2. – С. 8–12.
5. Комарова А.В., Коробейников А.Г., Менщиков А.А., Кляус Т.К., Негольс А.В., Сергеева А.А. Теоретические возможности комбинирования различных математических примитивов в схеме электронной цифровой подписи. *Кибернетика и программирование*. – 2017. – № 3. – С. 80–92.

**Котовщиков Илья Олегович**

Год рождения: 1992

Университет ИТМО, факультет систем управления и робототехники, кафедра технологий интроскопии, аспирант
Направление подготовки: 12.06.01 – Фотоника, приборостроение, оптические и биотехнические системы и технологии
e-mail: kotovshchikov.ilya@mail.ru

**Прохорович Владимир Евгеньевич**

Университет ИТМО, факультет систем управления и робототехники, кафедра технологий интроскопии, д.т.н., профессор
e-mail: ve-pro@yandex.ru

УДК 620.178.153.4

**ОЦЕНКА ПРИМЕНИМОСТИ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ
В ЗАДАЧЕ АНАЛИЗА ИНФОРМАТИВНЫХ СИГНАЛОВ, ПОЛУЧЕННЫХ
МЕТОДОМ ДИНАМИЧЕСКОГО ИНДЕНТИРОВАНИЯ****Котовщиков И.О.¹****Научный руководитель – д.т.н., профессор Прохорович В.Е.¹**¹Университет ИТМО

В работе обоснована необходимость разработки нового алгоритма обработки информативного сигнала, позволяющего оценивать механические характеристики контролируемого материала по параметрам контактного ударного взаимодействия при динамическом индентировании. Проведен анализ актуальности применения искусственных нейронных сетей для анализа информативных сигналов приборов неразрушающего контроля. Предложено использование многослойных перцептронов для анализа информативных сигналов, полученных методом динамического индентирования.

Ключевые слова: механические характеристики, динамическое индентирование, искусственные нейронные сети, обработка сигнала, контактное ударное взаимодействие.

Повышение качества изделий ракетно-космической техники и обеспечение ее конкурентоспособности является актуальной задачей ракетно-космической отрасли. Одним из путей достижения данной цели является внедрение новых технологий неразрушающего контроля и совершенствование уже используемых методов, средств и методик контроля.

Безобразцовый неразрушающий контроль (НК) представляется наиболее необходимым в задачах, когда испытания на образцах-свидетелях невозможны, или нецелесообразны. Такие задачи возникают, например, в случае производства изделий из композиционных материалов или деталей, выполненных с использованием аддитивных технологий. Кроме того, контроль на этапе эксплуатации изделия возможен только безобразцовым методом НК.

Соответствие эксплуатационных характеристик изделия заданным при проектировании, в значительной степени определяется фактическими механическими свойствами материала, из которого оно изготовлено. Под механическими свойствами материалов понимаются свойства, которые определяют их поведение под действием механической нагрузки. Численными показателями механических свойств являются

механические характеристики (МХ). Многообразие характеристик, несущих информацию о механических свойствах материала показано в таблице.

Таблица. Механические свойства и механические характеристики материалов

Механическое свойство	Механические характеристики
Прочность	Временное сопротивление (предел прочности) σ_B
Твердость	НВ, НРА, HRB, HRC, HV, HSx
Жесткость	Коэффициент жесткости
Упругость	Модуль Юнга (упругости); предел упругости; предел пропорциональности
Пластичность	Предел текучести $\sigma_T, \sigma_{0,2}$ Относительное удлинение δ , относительное сужение ψ
Ударная вязкость	KCV, KCU, KCT
Ползучесть	Скорость ползучести; предел ползучести
Усталость	Предел выносливости; усталостная долговечность

В настоящее время МХ оценивают с помощью стандартных разрушающих испытаний специально подготовленных образцов-свидетелей, на стационарных разрывных машинах, или с помощью портативных электронных приборов, устройств и приспособлений НК. Разрушающие испытания обладают высокой точностью и достоверностью результатов, но установки для них громоздки и относительно дорогостоящие. Портативные приборы для оценки МХ материалов и изделий малогабаритны, мобильны и позволяют реализовать безобразцовый контроль изделий.

Для некоторых видов стали, в соответствии с [1, 2], по измеренным значениям твердости по Бринеллю НВ можно определить значения таких МХ, как:

- предел текучести при растяжении $\sigma_{0,2}$;
- временное сопротивление (предел прочности) σ_B ;
- относительное удлинение δ ;
- относительное сужение ψ .

Данный подход основан на эмпирических зависимостях, выявленных для узкого спектра материалов, и накладывает ограничения на конфигурацию оборудования для измерения твердости. Кроме того, не установлена связь показателя НВ с такими характеристиками, как: ударная вязкость KCU/KCV, предел пропорциональности $\sigma_{пц}$ и т.д.

Метод динамического индентирования (ДИ) основан на регистрации следующих характеристик ударного контактного взаимодействия индентора:

- продолжительность контактного взаимодействия t ;
- скорость индентора при ударе v_0 ;
- зависимость скорости индентора от времени $v(t)$;
- зависимость глубины внедрения индентора от времени $h(t)$;
- зависимость нагрузки индентором на испытываемый материал от времени $F(t)$;
- зависимость нагрузки индентором на испытываемый материал от глубины внедрения индентора $F(h)$;
- максимальная нагрузка F_{max} ;
- максимальная глубина внедрения индентора h_{max} ;
- и т.д.

Схожесть физических процессов, протекающих в металле при ДИ и его стандартном одноосном растяжении, позволяет выделить на диаграммах напряжение-деформация $\sigma(\epsilon)$ и нагрузка-внедрение $F(h)$ участки, соответствующие стадиям упругого, упруго-пластического и развитого пластического деформирования (рисунок).

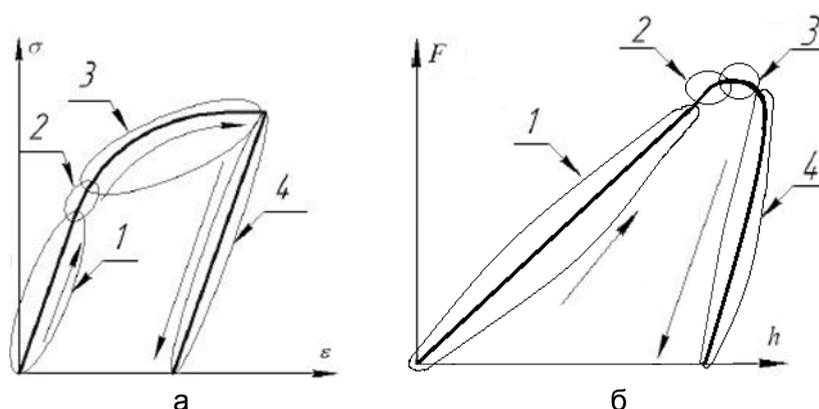


Рисунок. Схематичное изображение диаграмм: растяжения (а); вдавливания (б) сферического индентора при ДИ: 1 – участок упругого деформирования; 2 – зона зарождения первых пластических деформаций; 3 – участок развитого упруго-пластического деформирования; 4 – участок разгрузки

В [3] предложена нейросетевая методика для восстановления значений МХ материалов на основании параметров диаграммы вдавливания шарового индентора методом инструментального индентирования. Проблема построения явного алгоритма прямого перевода этих диаграмм друг в друга заключается в существенно более сложном распределении напряженно-деформированного состояния при индентировании и отсутствии ярко выраженных на диаграмме вдавливания границ между участками упругого деформирования и перехода в пластическое состояние. Так как в процессе записи обеих диаграмм в образцах из одного материала протекают одни и те же процессы упруго-пластического деформирования, можно утверждать, что существует некоторая функциональная зависимость параметров диаграммы растяжения от параметров диаграммы вдавливания и наоборот.

При анализе вышесказанного возникла гипотеза о непосредственной взаимосвязи параметров контактного ударного взаимодействия, полученных методом ДИ и МХ испытываемого материала. Неочевидность выбора класса аналитических функций для поиска возможных функциональных зависимостей параметров индентирования и МХ, возможно преодолеть использованием универсального математического преобразователя – многослойного нейронного перцептрона, способного обучаться воспроизводить сложные нелинейные преобразования на основе статистических данных.

Искусственные нейронные сети (ИНС) находят все большее применение в различных областях науки и техники, благодаря универсальному подходу к решению сложных алгоритмических задач. В условиях высокой вычислительной мощности современных электронных устройств, ИНС постепенно внедряются во все процессы, основанные на обработке информации. Перспективность использования ИНС в системах неразрушающего контроля (НК) обусловлено следующими их особенностями:

- работа с большим количеством входных данных (многообразие объектов контроля);
- адаптация к изменениям условий проведения контроля;
- возможность внесения изменений в программных модулях (в алгоритме) без значительных изменений основной структуры программного обеспечения.

Обзор научной литературы показал, что наиболее активно ИНС внедряются в следующие области НК: реконструкция параметров неоднородностей, распознавания неоднородностей в объектах сложной геометрии, исследования композитных материалов на наличие дефектов, классификации обнаруженных дефектов, безэталонной диагностики изделий. В задачах НК обученная нейронная сеть не только умеет распознавать (классифицировать) полученные во время контроля сигналы с

датчиков, но и хранит важную информацию о закономерностях и взаимосвязях формы информационного сигнала и состояния объекта контроля, а также правильно классифицировать новые сигналы, которые не встречались во время обучения. Совершенствование процесса распознавания информативных сигналов открывает новые возможности как для дефектоскопии, так и для определения механических характеристик материалов [4].

В работе [5] рассматривается применение ИНС в обратной задаче идентификации упругих (модуль Юнга) и диссипативных (добротность) свойств деформируемого твердого тела. Оценка механических свойств материала с помощью ИНС сравнивалась с результатами математического моделирования в конечно-элементном пакете ANSYS.

Выводы. Таким образом, использование ИНС в задаче анализа информативного сигнала, полученного методом ДИ, представляется перспективным.

Для программной реализации архитектуры ИНС, основанной на использовании многослойных перцептронов, целесообразно использовать инструменты программного пакета MATLAB. Предложено использовать конечно-элементную модель процесса контактного ударного взаимодействия, выполненную в программе ANSYS, для получения обучающей выборки сети. Дообучение сети (адаптация) будет основано на данных о корреляции результатов оценки механических характеристик образцов с помощью стандартных разрушающих испытаний и характеристик контактного ударного взаимодействия, полученных прибором ДИ.

Литература

1. ГОСТ 22761-77. Металлы и сплавы. Метод измерения твердости по Бринеллю переносными твердомерами статического действия. – Введен 01.01.1979. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 2003. – 7 с.
2. РД ЭО 0027-2005. Инструкция по определению механических свойств металла оборудования атомных станций безобразцовыми методами по характеристикам твердости. – Введен 19.09.2006. – Концерн Росэнергоатом, 2005. – 52 с.
3. ГОСТ 56232-2014. Определение диаграммы «напряжение-деформация» методом инструментального индентирования шара. Общие требования. – Введен 01.01.2016. – М.: Стандартинформ, 2016. – 41 с.
4. Еременко В.С., Переденко А.В. Система неразрушающего контроля композиционных материалов на основе нейронных сетей ART-2 и FUZZY-ART // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – 2013. – № 1. – С. 28–34.
5. Соловьёв А.Н., Занг Н.З.Ч. Определение упругих и диссипативных свойств материалов с помощью сочетания метода конечных элементов и комплекснозначных искусственных нейронных сетей // Вестник Донского государственного технического университета. – 2014. – Т. 14. – № 2(77). – С. 84–92.

**Кузьмин Кирилл Сергеевич**

Год рождения: 1995

Университет ИТМО, факультет программной инженерии и компьютерной техники, кафедра компьютерных образовательных технологий, студент группы № P4122

Направление подготовки: 09.04.04 – Программная инженерия систем реального времени

e-mail: wee3dood@gmail.com

**Штенников Дмитрий Геннадьевич**

Год рождения: 1975

Университет ИТМО, факультет программной инженерии и компьютерной техники, кафедра компьютерных образовательных технологий, к.т.н., доцент

e-mail: dshtennikov@gmail.com

УДК 004

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ АЛГОРИТМОВ ШИФРОВАНИЯ И АНАЛИЗ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ В ПРОГРАММНЫХ ПРОДУКТАХКузьмин К.С.¹Научный руководитель – к.т.н., доцент Штенников Д.Г.¹¹Университет ИТМО

В работе выполнено сравнение алгоритмов шифрования по критерию скорости, с приведением результатов и описанием методики тестирования.

Ключевые слова: алгоритмы шифрования, симметричные алгоритмы, шифрование, сравнение алгоритмов шифрования, криптография.

Введение. Во всем мире возрастает важность и ценность обмена данными по сети. В связи с этим поиск наилучшего решения для обеспечения безопасности данных – одна из самых важных задач на сегодняшний день [1–3].

С развитием сетевых технологий количество данных, передаваемых по сети, увеличивается, возрастает количество попыток хищения информации, взлома хранилищ данных. Повышается необходимость обеспечения безопасности больших объемов данных. Секретные документы, финансовая информация, личные данные и множество других типов информации нуждается в защите.

Для решения данной задачи существует шифрование. Благодаря шифрованию возможно передавать информацию в сети в измененном виде, не боясь за ее перехват.

Алгоритмы. Существует множество алгоритмов шифрования. Большинство из них были изобретены достаточно давно, математический аппарат их работы полностью изучен и известен и данные алгоритмы проверены в реальном использовании. Все они основаны на преобразовании данных, тип которого зависит от ключа.

Существует два вида шифрования – симметричное и асимметричное.

При симметричном шифровании получатель и отправитель «соглашаются» на общий секретный ключ. Этот ключ используется как для шифрования, так и для расшифровки данных.

При асимметричном шифровании используется два ключа. Как правило, при таком шифровании один из ключей известен всем, а второй ключ известен только пользователю.

В ряде случаев, при необходимости соблюдения секретности своих данных, перед людьми или компаниями встает задача выбора алгоритма под их конкретные задачи. В данной работе рассмотрены алгоритмы шифрования с точки зрения скорости их работы с одинаковыми данными.

Методика тестирования. Для тестирования использовалась следующая конфигурация:

Intel core i7 2.0 ГГц;

PHP 5.6 с библиотекой Mcrypt.

Для симуляции сервера использовалось программное обеспечение (ПО) «VertrigoServ»

Протестированы были следующие алгоритмы:

- Twofish;
- Blowfish (и его compat версия);
- Cast-128;
- Rijndael (128 и 256);
- ГОСТ 28147-89;
- Des.

Данные алгоритмы близки по надежности, поэтому сравнение производилось по критерию скорости шифрования и расшифровки.

Стоило также учитывать, что алгоритм Twofish обладает высокой сложностью.

Все выбранные алгоритмы являются симметричными, так как в данном случае важен критерий скорости, а асимметричные алгоритмы заметно уступают в данном параметре симметричным.

Для тестирования генерировалась строка большой длины. В каждом отдельном эксперименте она генерировалась заново, однако, все алгоритмы проходили тестирование на одинаковых строках. Кроме того, изменялось количество прогонов действий «шифрования и расшифровки» для получения удобных для анализа значений.

Из большой выборки результатов производился подсчет среднего значения для каждого алгоритма, при каждом конкретном значении количества прогонов.

Результаты тестирования. При тестировании с количеством прогонов, равным 500, получились результаты, представленные на рис. 1.

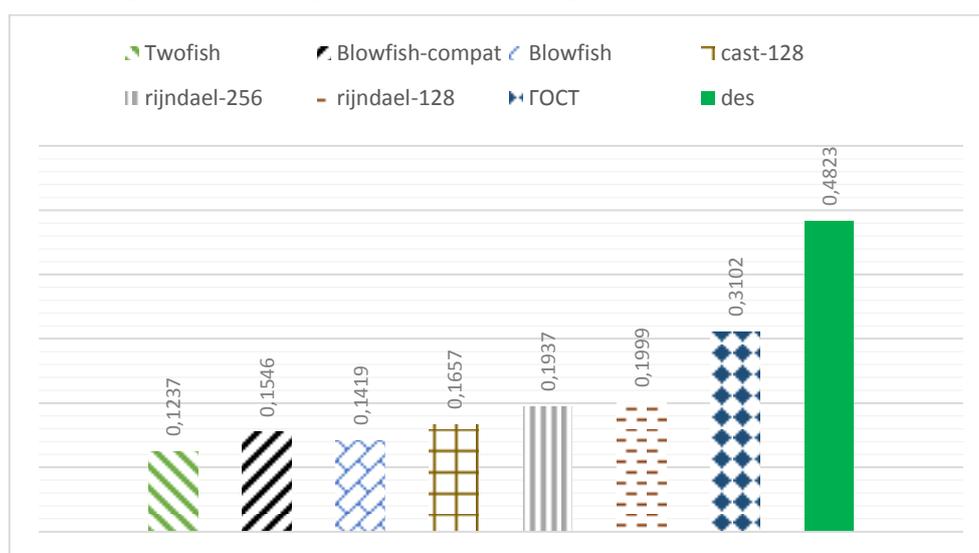


Рис. 1. Результаты тестирования при 500 прогонах

При данной конфигурации тестовой машины получилось следующее – самым быстрым алгоритмом оказался Twofish.

Blowfish (и его версия compat) cast-128 и rijndael (128 и 256) показали хоть и различные, но достаточно близкие друг к другу результаты.

Заметно отстает российский стандарт ГОСТ 28147-89, показав результат в половину худший, нежели большинство тестируемых алгоритмов.

Медленнее всех оказался алгоритм DES.

Примечательно, что в конкурсе AES именно алгоритму DES искали замену в качестве нового стандарта шифрования.

Далее были рассмотрены результаты при изменении количества прогонов.

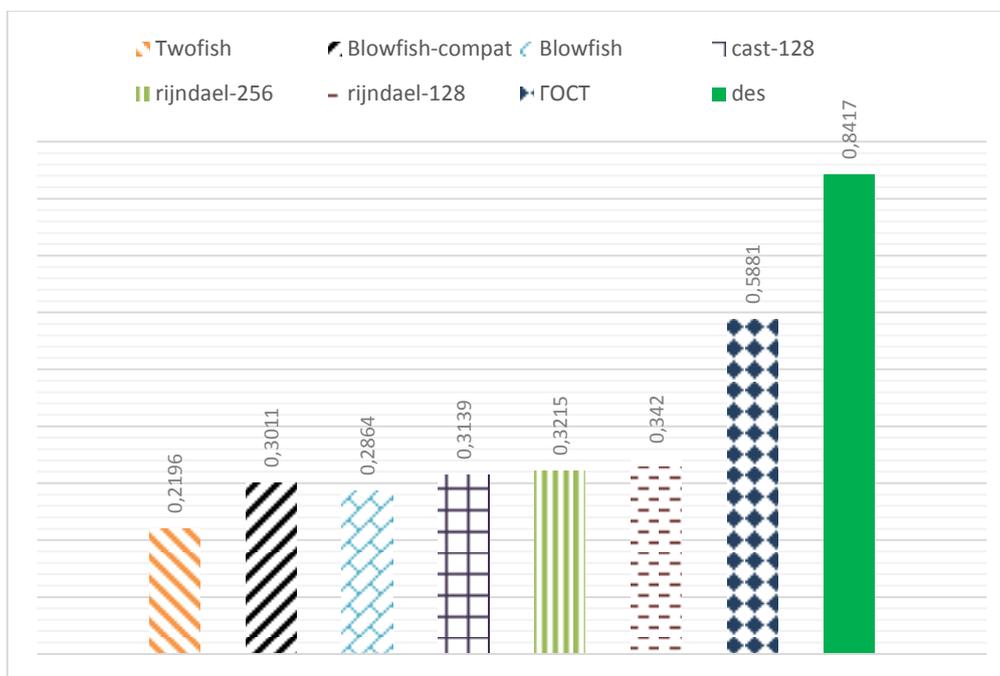


Рис. 2. Результаты тестирования при 1000 прогонах

При рассмотрении результатов эксперимента (рис. 2) с увеличением количества прогонов до 1000 замечено следующее: результаты изменились только численно. Форма графиков и отношения скоростей алгоритмов друг к другу практически не изменились. Если рассмотреть каждый результат в отдельности, замечено практически линейное увеличение времени работы алгоритмов.

Выводы. В ходе экспериментов протестированы некоторые популярные алгоритмы шифрования и установлены их скоростные характеристики. Из результатов можно отметить заметное отставание в скорости у алгоритмов ГОСТ и DES. Остальные алгоритмы выдают близкие результаты и могут использоваться на равных в случаях, где важна скорость шифрования и расшифровки.

Литература

1. Винокуров А., Применко Э. Сравнение российского стандарта шифрования, алгоритма ГОСТ 28147-89, и алгоритма Rijndael, выбранного в качестве нового стандарта шифрования США // Системы безопасности, связи и телекоммуникаций. – 2001. – № 39. – С. 71–72.
2. Штонда К.Н. Сравнение различных методов шифрования по производительности // Изв. ТРТУ. Тематический выпуск. Материалы V Международной научно-практической конференции «Информационная безопасность». – 2003. – № 4(33). – С. 277–280.
3. Al-Tamimi A.-K. Performance Analysis of Data Encryption Algorithms // International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering. – 2013. – V. 3(2). – P. 147–149.

**Кузьмин Максим Павлович**

Год рождения: 1992

Университет ИТМО, факультет программной инженерии и компьютерной техники, кафедра информатики и прикладной математики, тьютор

e-mail: mpkuzmin@corp.ifmo.ru

**Исаев Илья Владимирович**

Год рождения: 1991

Университет ИТМО, факультет программной инженерии и компьютерной техники, кафедра информатики и прикладной математики, аспирант

Направление подготовки: 09.06.01 – Информатика

и вычислительная техника

e-mail: ivisaev@corp.ifmo.ru

**Перл Иван Андреевич**

Год рождения: 1986

Университет ИТМО, факультет программной инженерии и компьютерной техники, кафедра информатики и прикладной математики, к.т.н., доцент

e-mail: ivan.perl@corp.ifmo.ru

УДК 004.4'41

**ИССЛЕДОВАНИЯ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ ИЗМЕНЕНИЙ
В ИСХОДНОМ КОДЕ СТОРОННИХ БИБЛИОТЕК НА ПРОГРАММНЫЙ
ПРОДУКТ****Кузьмин М.П.¹, Исаев И.В.¹****Научный руководитель – к.т.н., доцент Перл И.А.¹**¹Университет ИТМО

Работа выполнена в рамках темы НИР № 617026 «Разработка методов интеллектуального управления киберфизическими системами с использованием квантовых технологий».

В работе рассмотрены методы оценки влияния изменений в исходном коде сторонних библиотек на программный продукт. Проведен анализ алгоритмов разбора исходного кода, выбран оптимальный вариант метода оценки влияния изменений в исходном коде.

Ключевые слова: статический анализ кода, графы, абстрактное синтаксическое дерево, абстрактный семантический граф, дерево синтаксического разбора.

Введение. В настоящее время разработка программных проектов все больше интегрируется в большой мир программного обеспечения. Вначале почти все проекты были написаны вручную и с нуля. Позже, когда в отрасли накопилось достаточно большое количество программного кода, началось построение нового проекта над существующими, и количество уникального кода, написанного для конкретного проекта, начало уменьшаться. Сегодня программные проекты стали более

интегрированными из уже написанных компонентов с требуемым уровнем пользовательской адаптации между интегрированными туда различными элементами и между продуктом и целевой аудиторией, где он будет использоваться. Сегодня уровень общих компонентов и библиотек сделал еще один шаг вперед, интеграция простых библиотек со сторонней частью превратилась в интеграцию целых сторонних проектов в новые проекты большего масштаба. Остро стоит проблема зависимости проектов на уровне программного кода, когда основной проект включает результаты стороннего проекта. Что делать, если происходит изменение в коде стороннего проекта, как проанализировать, не принесет ли это проблему основному проекту.

Цели и задачи исследования. Провести сравнительный анализ различных алгоритмов определения изменений исходного кода в сторонних библиотеках.

Задачи:

- выполнить текстовое сравнение;
- построить дерево синтаксического разбора;
- построить абстрактное синтаксическое дерево;
- построить абстрактный семантический граф;
- произвести выбор оптимального метода.

Текстовое сравнение. Самый примитивный из рассматриваемых методов – текстовое сравнение. Он заключается в построчном сравнении двух текстовых файлов и обнаружении:

1. добавления строк;
2. удаления строк;
3. замены слов.

В качестве примера рассмотрим две версии одной функции на языке C#. Старая версия:

```
public int GetValue()
{
    return 5;
}
```

Новая версия:

```
public int GetValue()
{
    return 8;
}
```

Простое текстовое сравнение даст нам следующий результат:

```
30c30
< return 3;
---
> return 5;
```

Первая строка вывода содержит номера измененных строк в сравниваемых файлах, где 30 перед 'с' – это номер строки в старой версии, а 30 после 'с' – номер строки в новой.

Достоинства:

1. простота;
2. одинаково применяется к исходному коду на любом языке программирования (ЯП).

Недостатки:

1. отсутствует какая-либо информация о синтаксисе ЯП;
2. отсутствует какая-либо информация о семантике измененных строк кода.

Дерево синтаксического разбора. Это упорядоченное, укорененное дерево, представляющее синтаксическую структуру строки, согласно выбранной контекстно-свободной грамматике. Структура большинства ЯП может быть задана такой грамматикой [1].

В качестве примера, рассмотрим построение дерева синтаксического разбора для кода на языке С – «return a + 2;»:

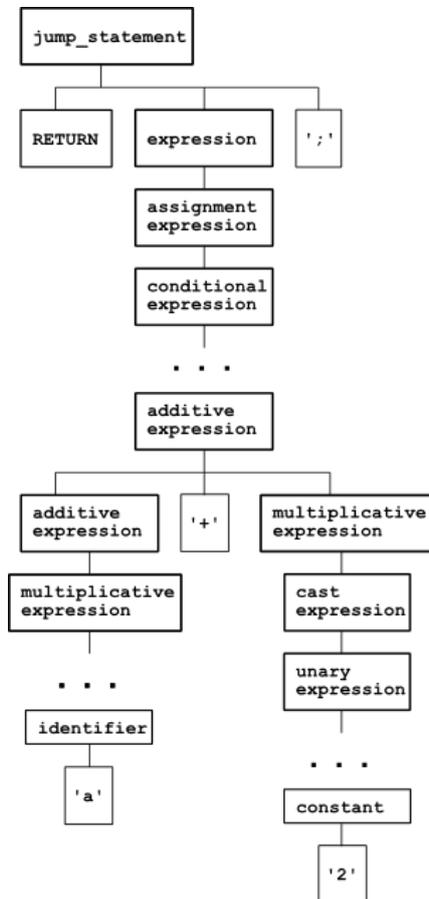


Рис. 1. Пример дерева синтаксического разбора

На рис. 1 приведена лишь часть дерева, но по ней уже видна характерная особенность данной структуры – изобилие синтаксических подробностей.

Достоинства:

1. структура дерева отражает синтаксис исходного кода.

Недостатки:

1. содержит слишком много синтаксических подробностей.

Абстрактное синтаксическое дерево (АСД). АСД – конечное помеченное ориентированное дерево, в котором внутренние вершины сопоставлены (помечены) с операторами языка программирования, а листья – с соответствующими операндами [2].

Рассмотрим пример дерева, построенный по следующему коду на языке С#:

```
namespace code_example_in_c_sharp
{
    public class Teacher
    {
        private string name;
        private string subject;
        private int salary = 10000;
        public Teacher(string name, string subject, int salary)
```

```

{
this.name = name;
this.subject = subject;
this.salary = salary;
}
public string GetInfoFull()
{
return name + ", " + "дисциплина: " + subject + ", оклад: " + salary + " рублей.";
}
}
}
}

```

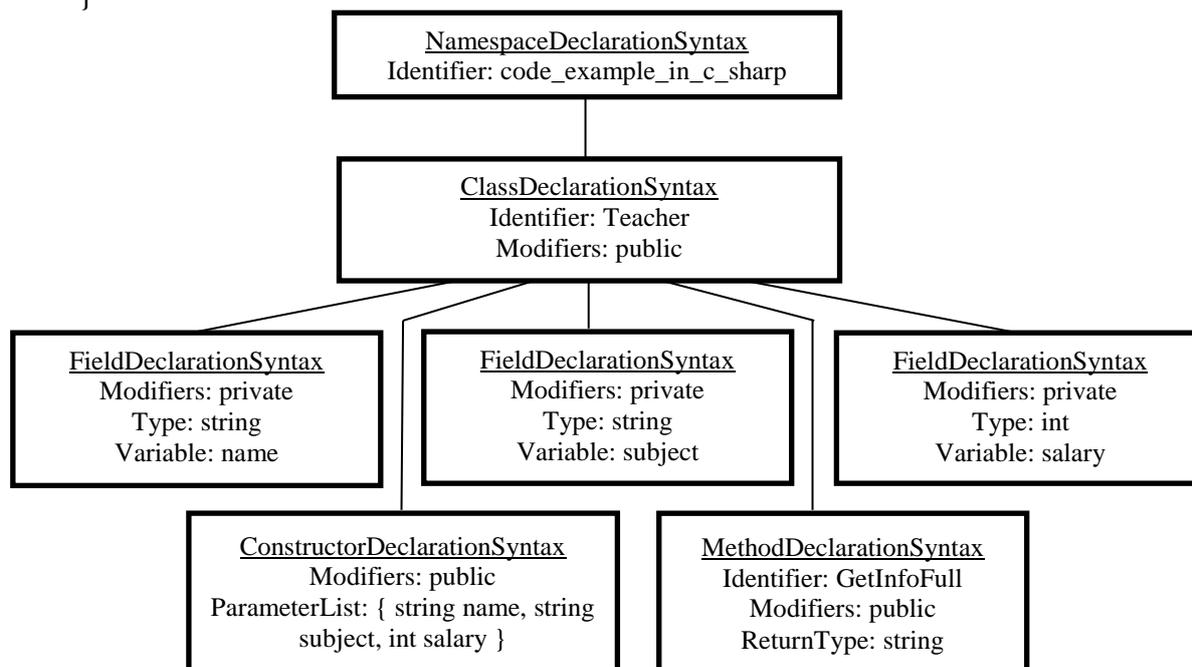


Рис. 2. Абстрактное синтаксическое дерево

Структура (рис. 2) отражает специфичную для ЯП информацию в удобном формате, скрывая лишние подробности.

Достоинства:

1. структура дерева отражает синтаксис исходного кода;
2. отсутствуют незначительные синтаксические подробности.

Недостатки:

1. не хватает некоторых связей, характеризующих семантику кода.

Абстрактный семантический граф (АСГ). АСГ – структура данных, используемая для представления или извлечения семантики выражения на ЯП [3]. АСГ представляет более высокий уровень абстракции, чем АСД. АСГ обычно конструируется из АСД процессом обогащения и абстрагирования. Обогащением может быть, например, добавление обратных указателей, ребер из вершины идентификатора (где используется переменная) в вершину, соответствующую объявлению этой переменной. Абстрагирование может включать удаление деталей, которые нужны только для синтаксического, но не семантического анализа.

Для иллюстрации преимущества АСГ по сравнению с АСД достаточно изменить пример кода, приведенный для АСД. В том исходнике у класса Teacher было поле subject типа string. Заменим string на некую структуру Subject, исходный код которой запишем перед классом Teacher. В итоге измененный исходный код выглядит так:

```
namespace code_example_in_c_sharp
{
    public struct Subject
    {
        string name;
        string department;
    }
    public class Teacher
    {
        private string name;
        private Subject subject;
        private int salary = 10000;
        public Teacher(string name, Subject subject, int salary)
        {
            this.name = name;
            this.subject = subject;
            this.salary = salary;
        }
        public string GetInfoFull()
        {
            return name + ", " + "дисциплина: " + subject.name + ", оклад: " + salary + "
рублей.";
        }
    }
}
```

Такое изменение повлияет на АСД следующим образом:

1. поменяется тип `FieldDeclarationSyntax` для переменной `subject` – там будет название структуры `Subject`;
2. поменяется тип переменной в списке параметров конструктора.

И хотя для структуры `Subject` будет также построено свое АСД, никакой связи между ним и этими переменными не будет, т.е. вместо исходного типа `string` будет просто идентификатор с названием `Subject`.

В свою очередь, в АСГ такая связь будет, и это позволит отслеживать влияние изменений в структуре `Subject`, а равно и в любом аналогичном случае.

Достоинства:

1. структура дерева отражает синтаксис исходного кода;
2. отсутствуют незначительные синтаксические подробности;
3. присутствуют связи, отражающие семантику исходного кода.

Заключение. Легко заметить, что максимальным числом достоинств и минимальным числом недостатков обладает АСГ – абстрактный семантический граф. Именно его мы и считаем оптимальным для решения наших задач.

Литература

1. Cooper K., Torczon L. *Engineering a Compiler*. – Изд-во: Elsevier, 2012. – 825 p.
2. *Abstract vs. Concrete Syntax Trees* [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://eli.thegreenplace.net/2009/02/16/abstract-vs-concrete-syntax-trees/>, своб.
3. Duffy E. *The Design & Implementation of an Abstract Semantic Graph for Statement-Level Dynamic Analysis of C++ Applications* [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://tigerprints.clemson.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1832&context=all_dissertations/, своб.

**Кузьмичев Михаил Валерианович**

Год рождения: 1992

Университет ИТМО, факультет систем управления и робототехники, кафедра технологий интроскопии, аспирант
Направление подготовки: 12.06.01 – Фотоника, приборостроение, оптические и биотехнические системы и технологии
e-mail: kuzmichev.m92@gmail.com

**Егоров Роман Александрович**

Год рождения: 1993

Университет ИТМО, факультет систем управления и робототехники, кафедра технологий интроскопии, аспирант
Направление подготовки: 12.06.01 – Фотоника, приборостроение, оптические и биотехнические системы и технологии
e-mail: roman1465@yandex.ru

УДК 620.178.151.2

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВНЕШНИХ ФАКТОРОВ
НА ДОСТОВЕРНОСТЬ КОНТРОЛЯ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ
МАТЕРИАЛОВ МЕТОДОМ ДИНАМИЧЕСКОГО ИНДЕНТИРОВАНИЯ****Кузьмичев М.В.¹, Егоров Р.А.¹****Научный руководитель – д.т.н., профессор Федоров А.В.¹**¹Университет ИТМО

В работе рассмотрено применение компьютерного моделирования процесса ударного контактного взаимодействия методом конечных элементов, с целью исследования влияния внешних факторов, влияющих на точность определения физико-механических характеристик исследуемых материалов методом динамического индентирования, а также формирование требований к материалам исследуемых данным методом.

Ключевые слова: динамическое индентирование, компьютерное моделирование, метод конечных элементов, неразрушающий контроль, алгоритм обработки.

Моделирование ударного контактного взаимодействия методом конечных элементов выполнено в осесимметричной постановке для материала с упруго-пластичным поведением и жесткой полусферой,двигающейся с постоянной скоростью в момент контакта. Полученные результаты моделирования позволяют построить диаграмму вдавливания – зависимость контактного усилия от глубины вдавливания индентора, необходимую для расчета физико-механических характеристик контролируемого материала.

В конечном результате модель ударного контактного взаимодействия жесткой сферы с упруго-пластичным материалом можно использовать для получения физико-механических характеристик материала без проведения натуральных испытаний, а также для оценки требований, предъявляемых к контролируемому материалу: минимальная толщина контролируемого объекта, шероховатость и радиус кривизны поверхности [1].

Свойства материала, используемые при моделировании, приведены в таблице. В исследовании использовалось билинейное упругопластическое поведение контролируемого материала и упругое поведение для материала индентора. Для анализа было использовано правило кинематического упрочнения [2].

Таблица. Свойства материалов

Параметры	Индентор	Контролируемый материал
Материал	Карбид вольфрама	Мера твердости МТБ-1 101 НВ
Поведение материала	Упругое	Билинейное упругопластическое
Плотность, кг/м ³	15770	3200
Модуль Юнга, ГПа	710	320
Коэффициент Пуассона	0,31	0,3
Предел текучести, МПа	–	700
Касательный модуль, МПа	–	550

Из-за осесимметричности задачи вдоль оси симметрии (ось Y) смещение в X направлении равно нулю ($U_x=0$). Основание материала фиксировалось в вертикальном направлении ($U_y=0$). По данным из проведенного эксперимента к индентору в момент контакта приложена скорость 0,9 м/с и масса 0,0048 кг, земная гравитация 9,8 м/с². Сетка конечных элементов, использованная в модели, состоит из 6500 изогнутых изопараметрических четырехсторонних элементов и сосредоточена в области контактного взаимодействия [3].

Моделирование процесса динамического индентирования было произведено в программном пакете ANSYS Workbench v19.0. На рис. 1, 2 представлено сравнение результатов моделирования и экспериментальных данных, полученных на приборе динамического индентирования «ИСПГ-1» со сферическим индентором радиусом $R=0,75$ мм.

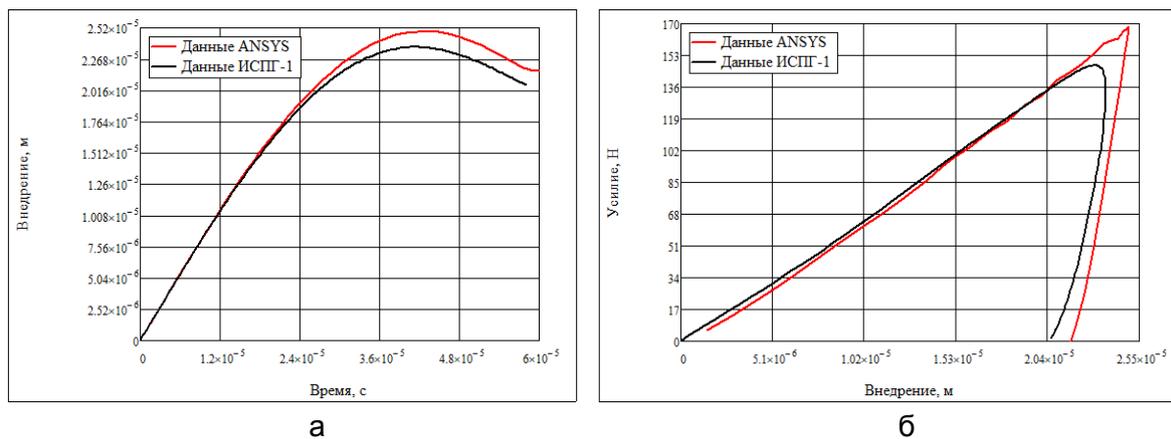


Рис. 1. Внедрения (а) и зависимость контактное усилие-внедрение (б) при динамическом индентировании меры твердости МТБ-1 101НВ

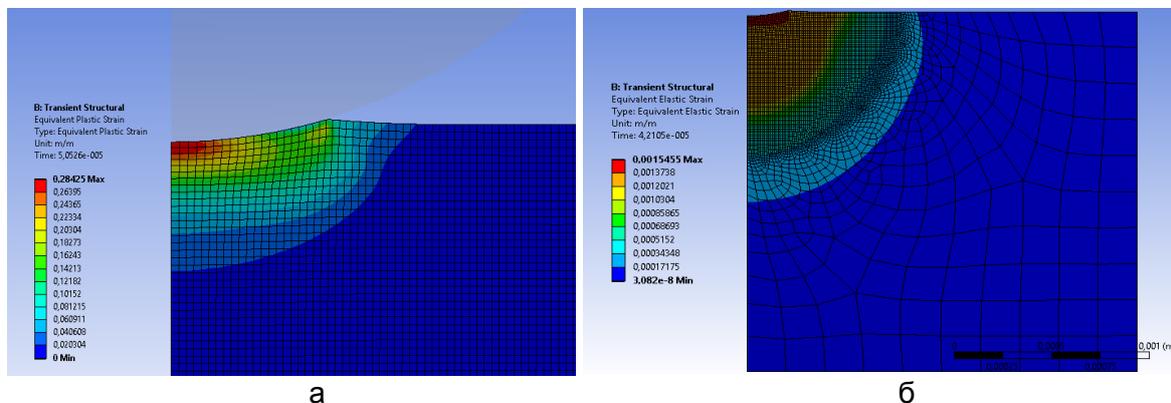


Рис. 2. Пластическая (а) и упругая (б) деформация при динамическом индентировании меры твердости МТБ-1 101НВ при скорости индентора 0,9 м/с

В результате выполненной работы можно сказать, что разработанная модель ударного контактного взаимодействия дает адекватные результаты в сравнении с экспериментальными данными прибора динамического индентирования «ИСПГ-1». Модель позволяет определить упруго-пластические деформации в контролируемом объекте, а следовательно, и ограничения по минимальной толщине, предъявляемые к контролируемому объекту.

Литература

1. ГОСТ Р 56474-2015. Контроль неразрушающий физико-механических свойств материалов и покрытий космической техники методом динамического индентирования. – М.: Стандартиформ, 2015. – С. 15–17.
2. Лукьянова А.Н. Моделирование контактной задачи с помощью программы ANSYS: учеб.-метод. пособие. – Самара: СамГТУ, 2010. – 52 с.
3. Клебанов Я.М., Фокин В.Г., Давыдов А.Н. Современные методы компьютерного моделирования процессов деформирования конструкций: учеб. пособие. – Самара: СамГТУ, 2004. – 100 с.

**Лавринович Александр Андреевич**

Год рождения: 1994

Университет ИТМО, факультет безопасности информационных технологий, кафедра безопасности киберфизических систем, аспирант

Направление подготовки: 10.06.01 – Информационная безопасность

e-mail: lavrinovich.readit@gmail.com

**Волошина Наталия Викторовна**

Год рождения: 1976

Университет ИТМО, факультет безопасности информационных технологий, кафедра безопасности киберфизических систем, к.т.н., доцент

e-mail: nataliv@yandex.ru

УДК 004.056

МОДЕЛЬ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ВНЕШНЕЙ ТОРГОВЛИ С УЧЕТОМ ПРИМЕНЕНИЯ RFID-ТЕХНОЛОГИИ В ИДЕНТИФИКАЦИОННЫХ ЦЕЛЯХЛавринович А.А.¹Научный руководитель – к.т.н., доцент Волошина Н.В.¹¹Университет ИТМО

В работе представлены результаты анализа и построения модели внешней торговли с учетом применения RFID-технологии и в целях идентификации товаров с позиции информационной безопасности. На базе построенной модели выделяются особенности осуществления внешней торговли с применением RFID-технологии.

Ключевые слова: информационная безопасность, внешнеэкономическая деятельность, RFID-технология, RFID-метка, маркировка товаров, модель внешней торговли.

Внешняя торговля представляет собой сложную систему, которая включает в себя множество элементов. Особенность заключается в том, что данные элементы распределены по разным странам, представлены в виде различных материальных и нематериальных объектов, а участники системы преследуют противоположные цели, но при этом вынуждены тесно взаимодействовать для достижения положительного результата. Для анализа особенностей функционирования подобных сложных систем, в том числе в целях определения уровня информационной безопасности, по данной сложной системе можно построить модель.

Актуальность данного исследования заключается в необходимости повышения уровня информационной безопасности при осуществлении внешнеэкономической деятельности, в частности, необходим анализ возможности использования RFID-технологий.

Объектом исследования являлась внешнеэкономическая деятельность, а предметом – особенности информационной безопасности при осуществлении внешнеторговых поставок.

Цель работы – построение модели внешнеэкономической деятельности (ВЭД) с позиции информационной безопасности.

Внешняя торговля может быть охарактеризована следующим образом.

1. Внешняя торговля представляет собой торговлю различными объектами между разными странами. В качестве объектов торговли (товаров) могут выступать одушевленные объекты (например, животные) и неодушевленные (например,

керамика), товары могут быть представлены как материальным объектом (например, ядерный реактор), так и материальным объектом в менее выраженной форме (например, электричество).

2. Для осуществления торговли необходим транспорт (автомобильный, водный, воздушный, железнодорожный и др.), возможен иной способ перемещения объектов (например, трубопроводный транспорт или линии электропередач).
3. Внешнеторговая поставка должна сопровождаться разнородной документацией (коммерческая, таможенная, разрешительная и др.).
4. Покупатели, продавцы, перевозчики, декларанты, как субъекты предпринимательства, в ходе внешней торговли взаимодействуют с таможенными органами, реализующими фискальную функцию [1].

На основе данных утверждений была представлена следующая схема осуществления внешней торговли (рис. 1). Особенность данной схемы заключалась в том, что во внешней торговле перемещаются не только товары, но и сопровождающие их документы, таким образом образуется «сложный товар».

Термин «сложный товар» в данном контексте представляет собой объект, участвующий во внешней торговле, состоящий из товара и его сопровождающей документации. Со сложным товаром по мере продвижения от продавца к покупателю происходят изменения: добавляются новые документы (например, таможенные), вносятся изменения в уже имеющиеся документы (например, проставление отметок о прибыли в страну). Но в любом случае до покупателя должен прийти тот товар, о котором у покупателя была договоренность с продавцом. Товар должен прийти в сопровождении необходимых для такой поставки документов.

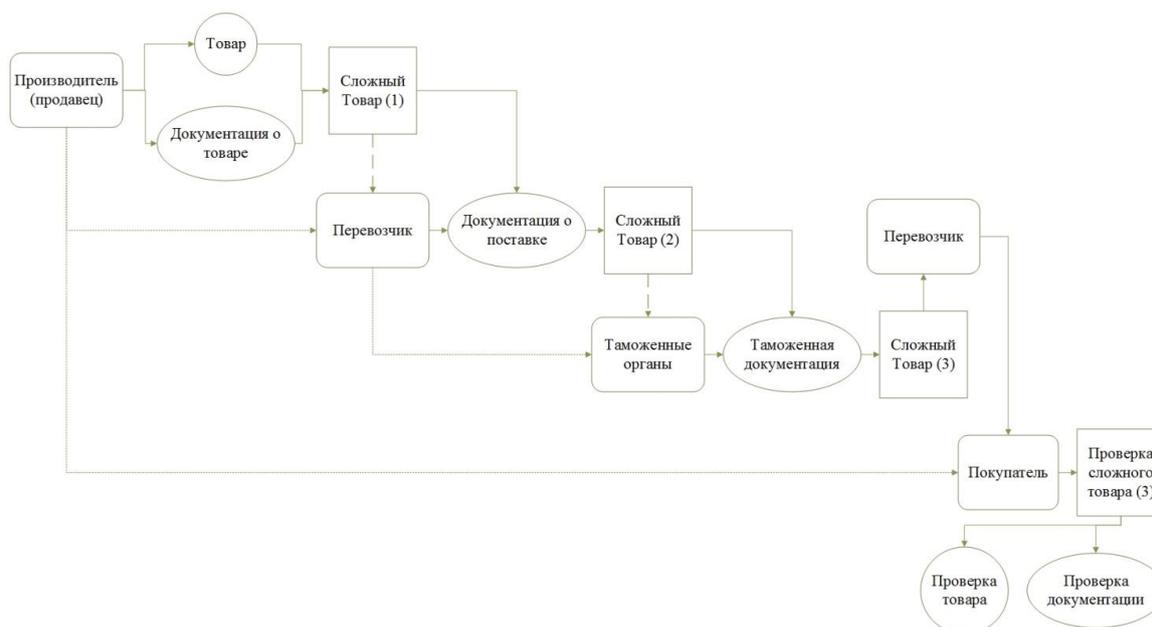


Рис. 1. Схема осуществления внешней торговли

Далее рассмотрена модель внешней торговли с использованием RFID-технологий с ограниченным числом участников.

Элементами данной модели были: продавец (производитель), перевозчик, таможенные органы, покупатель. Данные элементы процесса являлись участниками модели. Модель строилась с учетом перемещения товара от одного участника модели к другому.

Вводными условиями для данной простой модели были:

1. продавец является производителем. Это значит, что в модели сторона продавца представлена одной компанией;

2. покупатель является декларантом. В данной модели посредники представлены только перевозчиком;
3. товар перемещается в Россию из иностранного государства (таможенная процедура – выпуск для внутреннего потребления). В модель не выносятся особенности совершения таможенных операций при ввозе определенных товаров из некоторых стран (нетарифное регулирование ВЭД);
4. товаром является материальный объект (т.е. товар не существует в виде электроэнергии или газа);
5. модель является линейной. В модели последовательно выполняются все этапы, все участники модели выполняют действия успешно, или ситуация позволяет принять положительные решения;
6. в данной модели поставка по правилам INCOTERMS 2010 совершается на условия EXW, т.е. все риски и затраты несет покупатель;
7. товар перемещается автомобильным транспортом.

Для контроля движения по этапам применяется RFID-технология (технология радиочастотной идентификации) в целях идентификации товара. Например, сегодня технология применяется для маркировки изделий из меха на территории Российской Федерации (товарная позиция 4303 ТН ВЭД ЕАЭС) [2]. В данном проекте RFID-метка используется пассивная метка, которая работает в диапазоне ультравысоких частот (UHF – 860–960 МГц), соответствует стандартам ISO/IEC 18000-63, EPCglobal Gen2v2, расстояние считывания до 4 м, скорость передачи информации от 128 кбит/с и более. Тип используемой памяти – Write Once Read Many (WORM) [3].

В 2018 году начинается проект по маркировке обуви, в перспективе маркировка может быть введена в отношении верхней одежды, авиадеталей, древесины и других товаров [4], в будущем планируется создание единой системы маркировки товаров на уровне ЕАЭС [5]. Маркировка RFID-метками уже продолжительное время применяется отдельными участниками внешнеэкономической деятельности при осуществлении внешней торговли. Это позволяет предполагать, что в будущем маркировка товаров будет переходить с уровня частных решений на более широкий уровень использования для идентификации товаров в масштабах всего государства, таможенного или экономического объединения или же в пределах всей внешней торговли.



Рис. 2. Процесс осуществления внешней торговли с учетом применения RFID-технологии в идентификационных целях

Текущий уровень применения технологии позволяет провести ее исследование с помощью метода моделирования. С помощью данного метода можно будет понять особенности применения технологии, в частности, с позиции информационной безопасности понять содержание рисков нарушения целостности, доступности и конфиденциальности информации, которая хранится в RFID-метках, чтобы впоследствии разработать методику обеспечения ее информационной безопасности.

Процесс осуществления внешней торговли с учетом применения RFID-технологии в идентификационных целях представлен на рис. 2.

С учетом RFID-технологии модель осуществления внешней торговли несколько изменит свое содержание (рис. 3). В данном случае проверке будет подвергаться не только сложный товар, но и RFID-метка. Иначе говоря, товар приобретет еще более сложный характер. С одной стороны, это позволит сделать поставку более защищенной, но, с другой стороны реализация угрозы подмены метки приведет к более существенным потерям.

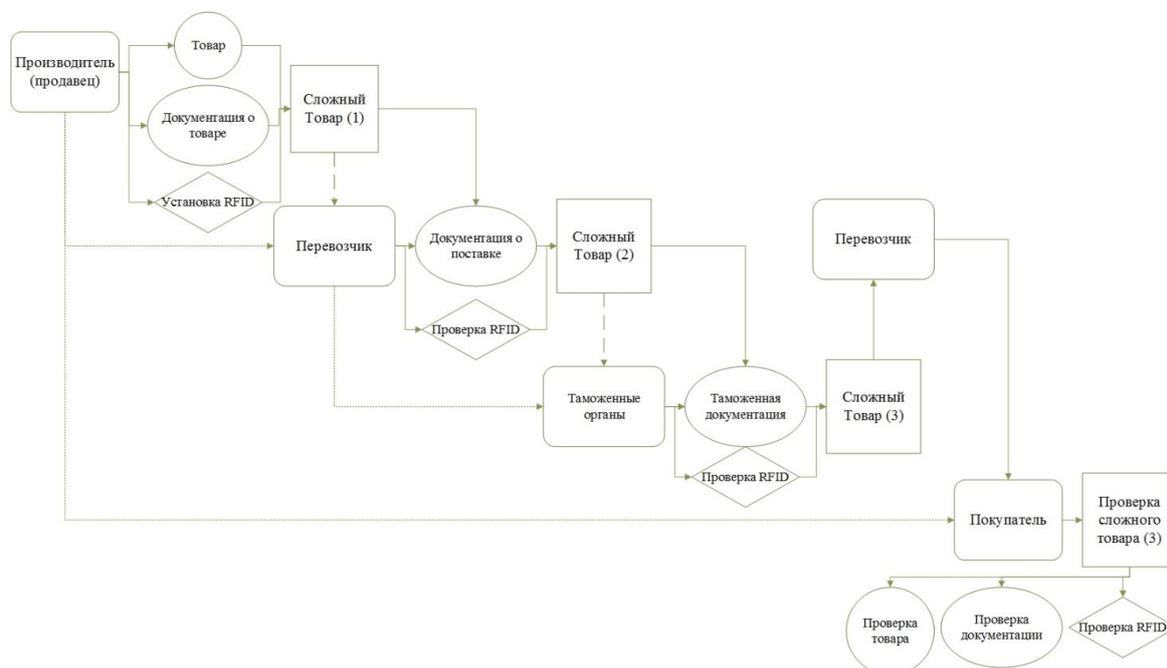


Рис. 3. Модель осуществления внешней торговли с применением RFID

Таким образом, была разработана простая модель осуществления внешней торговли с учетом применения RFID-технологии в идентификационных целях с позиции информационной безопасности. Данная модель может применяться для анализа угроз информационной безопасности при применении RFID-технологий для простейших вариантов осуществления внешнеэкономической деятельности. Для построения более сложных моделей необходимо введение в модель новых участников, выделение особенностей при перемещении разных видов товаров, рассмотрение не только импорта, но еще и экспорта или транзита. Значение построенной модели заключается в том, что в упрощенном виде были записаны основные процессы импортной поставки с применением RFID-технологии, которые нуждаются в дальнейшем исследовании с позиции информационной безопасности.

Литература

1. Таможенный кодекс Евразийского экономического союза (приложение № 1 к Договору о Таможенном кодексе Евразийского экономического союза) [Электронный ресурс]. – Режим доступа:

- http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_215315/ (дата обращения: 23.05.2018).
2. Постановление Правительства РФ от 11.08.2016 № 787 «О реализации пилотного проекта по введению маркировки товаров контрольными (идентификационными) знаками по товарной позиции «Предметы одежды, принадлежности к одежде и прочие изделия, из натурального меха» и признании утратившим силу постановления Правительства Российской Федерации от 24 марта 2016 г. № 235» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_203253/ (дата обращения: 23.05.2018).
 3. Finkenzeller K. [RFID Handbuch. English] Fundamentals and Applications in Contactless Smart Cards, Radio Frequency Identification and Near-Field Communication. – Third Edition, 2015. – 779 p.
 4. Сушкина А.М., Афонин П.Н. Анализ современного состояния информационного обеспечения применения технологий контрольно-идентификационных знаков в таможенном контроле // Бюллетень инновационных технологий. – 2018. – Т. 2. – № 1(5). – С. 52–55.
 5. ЕЭК представила проект единой системы прослеживаемости товаров в ЕАЭС [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.eurasiancommission.org/ru/nae/news/Pages/14-03-18-3.aspx> (дата обращения: 23.05.2018).

**Ле Ван Туан**

Год рождения: 1989

Университет ИТМО, факультет систем управления и робототехники, кафедра систем управления и информатики, аспирант

Направление подготовки: 27.06.01 – Управление в технических системах

e-mail: visaosang89@gmail.com

**Во Куок Дат**

Год рождения: 1989

Университет ИТМО, факультет систем управления и робототехники, кафедра систем управления и информатики, аспирант

Направление подготовки: 27.06.01 – Управление в технических системах

e-mail: cuoi.di.em89@gmail.com

**Бобцов Алексей Алексеевич**

Год рождения: 1973

Университет ИТМО, факультет систем управления и робототехники, кафедра систем управления и информатики, д.т.н., профессор

e-mail: bobtsov@mail.ru

УДК 681.51

**ИДЕНТИФИКАЦИЯ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ПАРАМЕТРОВ СЛОЖНЫХ
ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ****Ле Ван Туан¹, Во Куок Дат¹****Научный руководитель – д.т.н., профессор Бобцов А.А.¹**¹Университет ИТМО

Работа посвящена задаче идентификации нестационарных параметров с использованием методов современной теории управления. Представлен алгоритм идентификации переменных параметров для линейной регрессионной модели. Приведен пример моделирования на синхронном двигателе с постоянными магнитами. Представленный способ можно применить для идентификации сложных технических систем.

Ключевые слова: идентификация, нестационарные параметры, линейная регрессионная модель, динамическое расширение регрессора, синхронный двигатель.

В современной теории управления часто встречаются задачи идентификации нестационарных параметров. При эксплуатации технических систем некоторые параметры динамических моделей могут отклоняться от номинальных значений и изменяться во времени. Следовательно, развитие алгоритмов идентификации нестационарных параметров является актуальным направлением исследований. В работе [1] был представлен новый алгоритм идентификации нестационарных параметров для линейной регрессионной модели. Этот алгоритм можно применять для идентификации сложных технических систем, например, при управлении движением

робототехнических систем [2], электромеханическими объектами [3], а также при управлении фотоэлектрическими батареями [4].

Классическая линейная регрессионная модель имеет вид

$$y(t) = m^T(t)\theta(t),$$

где $y(t) \in R^1$ и $m(t) \in R^n$ – известные скалярная и векторная функции; $\theta(t) \in R^n$ – вектор неизвестных переменных параметров.

В работе [1] был представлен способ для идентификации модели, включающей в себя два неизвестных параметра

$$y(t) = m_1(t)\theta_1(t) + m_2(t)\theta_2(t),$$

где $m_1(t), m_2(t)$ – известные скалярные функции; $\theta_1(t), \theta_2(t)$ – неизвестные нестационарные параметры.

Будем полагать, что $\theta_i(t)$ обладает следующим свойством

$$\dot{\theta}_i = \beta_i = \begin{cases} \beta_{i1} & \text{при } 0 \leq t < t_{i2}, \\ \beta_{i2} & \text{при } t_{i2} \leq t < t_{i3}, \\ \vdots & \\ \beta_{iq} & \text{при } t_{iq} \leq t < t_{iq+1}, \end{cases}$$

где β_{iq} – неизвестные числа, а t_{iq} – моменты времени, когда меняется направление параметра $\theta_i(t)$.

Более подробно данный метод описан в [1]. В данной работе предполагалось применение этого способа для идентификации параметров сложных технических систем, а именно для оценки параметров синхронного двигателя с постоянными магнитами.

Рассмотрим динамическую модель магнитного потока для синхронного двигателя с постоянными магнитами следующего вида

$$\dot{\lambda} = -R\mathbf{i} + \mathbf{u}, \quad (1)$$

$$\lambda = L\mathbf{i} + \lambda_m \mathbf{C}(\theta), \quad (2)$$

где $\mathbf{i} = [\lambda_1 \ \lambda_2]^T$ – неизвестный вектор магнитного потока; $\mathbf{i} = [i_1 \ i_2]^T$ – вектор тока в обмотках двигателя; $\mathbf{u} = [u_1 \ u_2]^T$ – вектор напряжения в обмотках двигателя; $\mathbf{C}(\theta) = [\cos(n_p \theta) \ \sin(n_p \theta)]^T$ – неизвестный вектор, содержащий неизмеряемые гармоники; n_p – число пар полюсов; θ – угловое положение; λ_m – магнитный поток от постоянных магнитов ротора; R – сопротивление обмоток статора; L – индуктивность обмоток статора.

Будем полагать, что сопротивление изменяется, а индуктивность постоянна. Задачей являлась оценка значения сопротивления и индуктивности статора двигателя.

Рассмотрим следующий способ параметризации. Отфильтруем все элементы уравнения (1) через апериодическое звено $W(p) = \frac{1}{p+1}$, где $p = d/dt$ – оператор дифференцирования. Тогда (1) имеет следующий вид

$$\begin{aligned} \frac{p}{p+1} \lambda &= -\frac{1}{p+1} R\mathbf{i} + \frac{1}{p+1} \mathbf{u} = -R \frac{1}{p+1} \mathbf{i} + \frac{1}{p+1} \left[\dot{R} \frac{1}{p+1} \mathbf{i} \right] + \frac{1}{p+1} \mathbf{u} \\ \frac{p}{p+1} \lambda &= -R\varphi_1 + \dot{R} \frac{1}{p+1} \varphi_1 + \frac{1}{p+1} \mathbf{u}. \end{aligned} \quad (3)$$

Отфильтруем элементы уравнения (2) с использованием передаточной функции

$W(p) = \frac{P}{p+1}$. Тогда (2) получим следующее выражение

$$\begin{aligned} \frac{P}{p+1} \lambda &= \frac{P}{p+1} L \mathbf{i} + \lambda_m \frac{P}{p+1} \mathbf{C}(\theta) \\ \frac{P}{p+1} \lambda &= L \frac{P}{p+1} \mathbf{i} + \lambda_m \frac{P}{p+1} \mathbf{C}(\theta). \end{aligned} \quad (4)$$

Приравнявая (3) и (4), имеем

$$\begin{aligned} \frac{1}{p+1} \mathbf{u} &= R \varphi_1 - \dot{R} \frac{1}{p+1} \varphi_1 + L \frac{P}{p+1} \mathbf{i} + \lambda_m \frac{P}{p+1} \mathbf{C}(\theta) \\ \frac{1}{p+1} \mathbf{u} &= R \varphi_1 + \dot{R} \varphi_2 + L \varphi_3 + \lambda_m \varphi_4 \end{aligned}$$

или

$$z = R \varphi_1 + \dot{R} \varphi_2 + L \varphi_3 + \lambda_m \varphi_4, \quad (5)$$

где $z = \frac{1}{p+1} \mathbf{u}$, $\varphi_1 = \frac{1}{p+1} \mathbf{i}$, $\varphi_2 = -\frac{1}{p+1} \dot{\varphi}_1$, $\varphi_3 = \frac{P}{p+1} \mathbf{i}$ и $\varphi_4 = \frac{P}{p+1} \mathbf{C}(\theta)$.

Запишем (5) в следующей форме

$$z_1 = R \varphi_{11} + \dot{R} \varphi_{21} + L \varphi_{31} + \lambda_m \varphi_{41}, \quad (6)$$

$$z_2 = R \varphi_{12} + \dot{R} \varphi_{22} + L \varphi_{32} + \lambda_m \varphi_{42}. \quad (7)$$

Умножим, соответственно, (6) и (7) на φ_{42} и φ_{41} . Далее вычтем одно уравнение из другого. Тогда получим

$$y = z_1 \varphi_{42} - z_2 \varphi_{41} = R(\varphi_{11} \varphi_{42} - \varphi_{12} \varphi_{41}) + L(\varphi_{31} \varphi_{42} - \varphi_{32} \varphi_{41}) + \dot{R}(\varphi_{21} \varphi_{42} - \varphi_{22} \varphi_{41})$$

или

$$y = \theta_1 m_1 + \theta_2 m_2 + \beta_1 m_3, \quad (8)$$

где $R(t) = \theta_1(t)$, $L = \theta_2(t) = \text{const}$, $\beta_1(t) = \dot{\theta}_1(t) = \text{const}$.

Отфильтруем каждый элемент регрессионной модели (8) с использованием апериодического звена $\frac{1}{p+1}$. Тогда для (8) имеем

$$\begin{aligned} y_1 &= \frac{1}{p+1} m_1 \theta_1 + \frac{1}{p+1} m_2 \theta_2 + \frac{1}{p+1} m_3 \beta_1 \\ &= \theta_1 \frac{1}{p+1} m_1 - \frac{1}{p+1} \left[\dot{\theta}_1 \frac{1}{p+1} m_1 \right] + \theta_2 \frac{1}{p+1} m_2 + \beta_1 \frac{1}{p+1} m_3 \\ &= \theta_1 \bar{m}_1 + \theta_2 \bar{m}_2 + \beta_1 \left(\frac{1}{p+1} m_3 - \frac{1}{(p+1)^2} m_1 \right) \\ y_1 &= \theta_1 \bar{m}_1 + \theta_2 \bar{m}_2 + \beta_1 m_4. \end{aligned} \quad (9)$$

Умножим (8) и (9) на \bar{m}_1 и m_1 соответственно. Тогда получим

$$\begin{aligned} g_1 &= y \bar{m}_1 - y_1 m_1 = \theta_2 (m_2 \bar{m}_1 - m_1 \bar{m}_2) + \beta_1 (m_3 \bar{m}_1 - m_1 m_4), \\ g_1 &= \theta_2 m_5 + \beta_1 m_6 = \beta_1 m_6 + \theta_2 m_5. \end{aligned} \quad (10)$$

Запишем (10) в компактном виде

$$Y = \beta_1 M_1 + \beta_2 M_2,$$

где $Y = g_1$, $M_1 = m_6$, $M_2 = m_5$, $\beta_2 = \theta_2$.

Далее используем метод динамического расширения регрессора (DREM) [5] и способ, представленный в [1], для оценки параметров β_1 и β_2 , зависящих от θ_1 и θ_2 .

В данной работе рассмотрено применение предполагаемого подхода на двигателе ВМР0701F со следующими параметрами (таблица).

Таблица. Параметры двигателя ВМР0701F

Индуктивность L , мГн	40,03
Сопротивление R , Ом	8,875
Момент инерции ротора j , кг·м ²	60×10^{-6}
Число пар полюсов n_p , шт.	5
Постоянный магнитный поток λ_m , Вб	0,2086
Максимальный ток I , А	2,3

Пусть напряжение статора двигателя имеет вид $u(t) = \begin{bmatrix} 100\sin(5t) \\ 100\cos(5t) \end{bmatrix}$, индуктивность постоянна и $L = 0,04003$, сопротивление изменяется по форме

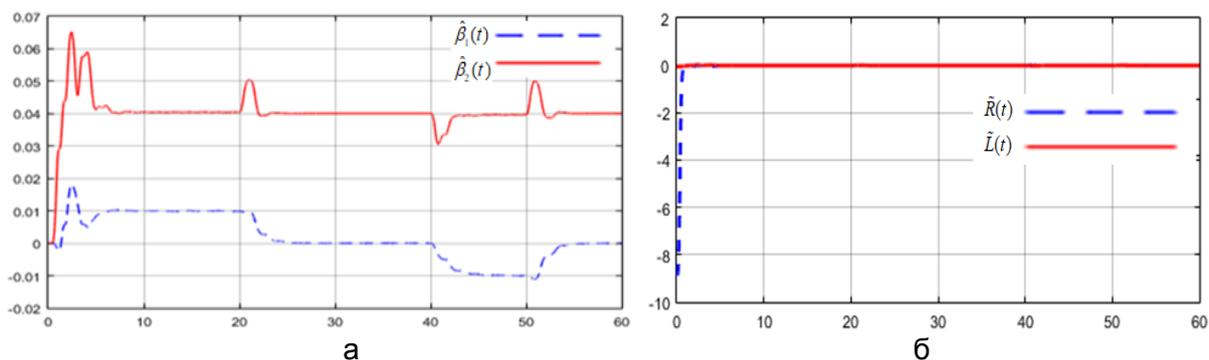
$$R_T = R_0 [1 + \alpha(T - T_0)].$$

$$\text{Пусть } R_T(t) = R_{25^\circ\text{C}} + \int \beta_1(t) dt = 8,875 + \int \beta_1(t) dt,$$

$$\text{где } \beta_1(t) = \begin{cases} 0,01 & \text{при } 0 \leq t < 20, \\ 0 & \text{при } 20 \leq t < 40, \\ -0,01 & \text{при } 40 \leq t < 50, \\ 0 & \text{при } 50 \leq t < 60. \end{cases}$$

Выберем параметры $\tau_1 = 0,1$, $\gamma_i = 1$, $\kappa = 1$ и проведем компьютерное моделирование.

Пусть нагрузочный момент $\tau_L = 2 + \sin(2t)$. На рисунке представлены графики оценок параметров $\hat{\beta}_i$ (рисунок, а), и также графики переходных процессов для ошибки наблюдения параметров сопротивления и индуктивности. Из графика (рисунок, б) видно, что параметры \tilde{R} и \tilde{L} быстро сходятся с высокой степенью точности.

Рисунок. Графики оценок параметров $\hat{\beta}_i$ (а) и \tilde{R}, \tilde{L} (б)

В работе был представлен новый способ для идентификации нестационарных параметров сложных технических систем. Был приведен пример применения этого способа на синхронном двигателе с постоянными магнитами. Полученные результаты показывают, что можно использовать представленный метод в разных областях современной теории управления и обработки сигналов.

Литература

1. Ле В., Бобцов А.А., Пыркин А.А. Новый алгоритм идентификации нестационарных параметров для линейной регрессионной модели // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2017. – Т. 17. – № 5(111). – С. 952–955.
2. Kolyubin S., Shiriaev A., Jubien A. Refining Dynamics Identification for Co-Bots: Case Study on KUKA LWR4+ // In Preprints of the 20th IFAC World Congress. – 2017. – P. 15191–15196.
3. Бобцов А.А., Пыркин А.А., Ортега Р. Адаптивный наблюдатель магнитного потока для синхронного двигателя с постоянными магнитами // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2015. – Т. 15. – № 1. – С. 40–45.
4. Pyrkin A., Mancilla-David F., Ortega R., Bobtsov A., Aranovskiy S. Identification of photovoltaic arrays' maximum power extraction point via dynamic regressor extension and mixing // International Journal of Adaptive Control and Signal Processing. – 2017. – V. 31. – № 9. – P. 1337–1349.
5. Aranovskiy S., Bobtsov A., Ortega R., Pyrkin A. Performance enhancement of parameter estimators via dynamic regressor extension and mixing // IEEE Transactions on Automatic Control. – 2016. – V. 62. – № 7. – P. 3546–3550.

**Летов Николай Евгеньевич**

Год рождения: 1995

Университет ИТМО, факультет программной инженерии и компьютерной техники, кафедра компьютерных образовательных технологий, студент группы № P4122

Направление подготовки: 09.04.04 – Программная инженерия систем реального времени

e-mail: letov.nikolay@gmail.com

**Штенников Дмитрий Геннадьевич**

Год рождения: 1975

Университет ИТМО, факультет программной инженерии и компьютерной техники, кафедра компьютерных образовательных технологий, к.т.н., доцент

e-mail: dshtennikov@gmail.com

УДК 004

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ АЛГОРИТМОВ ХЕШИРОВАНИЯ
НА ПЛАТФОРМЕ RASPBERRY PI**Летов Н.Е.¹Научный руководитель – к.т.н., доцент Штенников Д.Г.¹¹Университет ИТМО

В работе рассмотрены различные известные алгоритмы хеширования и тестирование на платформе Raspberry Pi, а также анализ их на предмет скорости работы.

Ключевые слова: хеширование, IoT, Интернет вещей, Raspberry Pi.

Введение. На сегодняшний день трудно найти задачу в IT, в решении которой не требовалось бы обеспечить целостность и (или) сохранность данных, и одним из методов обеспечения требуемого уровня безопасности является применение функций хеширования.

Хеширование – преобразование входного массива данных произвольной длины в выходную битовую строку фиксированной длины по определенному алгоритму. Преобразования такого вида также называются хеш-функциями или функциями свертки, а их результаты называют хеш-кодом. Также общеизвестно, что «значение хеш-суммы может использоваться для проверки целостности данных, их идентификации и поиска» [1].

С помощью алгоритмов хеширования решается целый спектр задач, таких как:

- подсчет контрольных сумм;
- безопасное хранение паролей;
- обеспечение целостности данных;
- соблюдение авторских прав;
- обеспечение компьютерной безопасности.

Список можно продолжать, но указанных пунктов хватает для того, чтобы сказать, что хеширование – эффективный и востребованный механизм.

На данный момент существует множество алгоритмов хеширования, проверенных в многочисленных программных продуктах и решениях. Однако при создании собственного решения с использованием готовых алгоритмов необходимо понимать особенности каждого отдельного алгоритма, их преимущества и недостатки.

Особенно остро вопрос эффективности встает на маломощных устройствах, таких как встраиваемые системы и устройства класса Интернета вещей (Internet of Things, IoT).

Устройства данного класса начали появляться в начале 2000-х годов, а уже на рубеже 2008–2009 гг. количество подключенных к сети устройств превысило количество людей [2]. Такой высокий темп развития говорит о том, что концепция IoT имеет широкие возможности для применения в самых различных сферах.

Однако главное преимущество IoT оказывается и одним из его недостатков: несмотря на развитие технологий и миниатюризацию электроники, такие устройства остаются гораздо скромнее по техническим характеристикам, нежели полноценные компьютеры. Поэтому перед разработчиками подобных систем возникают две противоположные задачи: необходимо обеспечить надежность и безопасность данных, которые собираются и передаются в сети, и вместе с этим достичь высокой скорости обработки данных.

Для исследования возможностей алгоритмов хеширования на устройствах IoT был взят одноплатный компьютер Raspberry Pi, и проведено тестирование нескольких известных алгоритмов. Особенностью данного компьютера является то, что он управляется полноценной операционной системой, и его настройка и эксплуатация очень похожи на эксплуатацию обычного персонального компьютера, но при этом имеет на борту интерфейс ввода/вывода общего назначения (general purpose input/output, GPIO), что позволяет подключить к нему периферийные датчики и работать напрямую с ними. За счет этого можно предположить, что Raspberry Pi является довольно универсальным сочетанием компьютера и микроконтроллера.

Для тестов был взят Raspberry Pi 2 model B со следующими характеристиками:

- A 900MHz quad-core ARM Cortex-A7 CPU;
- 1GB RAM;
- 100 Base Ethernet;
- 4 USB порта;
- 40 GPIO контактов;
- Full HDMI порт;
- 3.5 mm аудиовыход;
- Camera Serial interface (CSI);
- Display Serial interface (DSI);
- Слот для Micro SD карты;
- VideoCore IV 3D graphics core [3].

Об алгоритмах. Были протестированы следующие алгоритмы (табл. 1): SHA256; SHA512; SHA3-256; SHA3-512; Tiger; Whirlpool.

Таблица 1. Протестированные алгоритмы

Алгоритмы	Авторы	Опубликован, год	Раунды	Структура	Размеры
SHA2 (SHA256, SHA512)	Агентство национальной безопасности США	2002	64 или 80	структура Меркла–Дамгарда	224, 256, 384, или 512 бит [4]
SHA3 (SHA3-256, SHA3-512)	Гвидо Бертони, Йоан Даймен, Михаэль Петерс и Жиль Ван Асс	2012		конструкция губки	произвольные [4]
Tiger	Росс Андерсон и Эли Бихам	1996	24	структура Меркла–Дамгарда	192 бит [4]

Алгоритмы	Авторы	Опубликован, год	Раунды	Структура	Размеры
Whirlpool	Винсент Рэймен и Пауло С.Л.М. Баррето	2000	10	схема Миагучи–Пренеля	512 бит [4]

- SHA-2 представляет собой семейство хеш-функций, разработанных NSA (Агентство национальной безопасности США).
- SHA-3 – алгоритм хеширования переменной разрядности, разработанный группой авторов во главе с Йоаном Дайменом. 2 октября 2012 года Кессак стал победителем конкурса криптографических алгоритмов, проводимым Национальным институтом стандартов и технологий США. 5 августа 2015 года алгоритм утвержден и опубликован в качестве стандарта FIPS 202.
- Tiger – криптографическая хеш-функция, разработанная в 1995 году для повышения эффективности на 64-битных платформах. В отличие от семейства SHA-2 не определены никакие отличительные значения инициализации; они являются просто префиксами полного хэш-значения Tiger/192.
- Whirlpool – итеративная функция криптографического хеширования, основанная на схеме Миагучи–Пренеля, которая использует блочный шифр с симметричными ключами вместо функции сжатия. Блочный шифр в данном случае является измененным шифром AES, который был приспособлен для этой цели.

Методика тестирования. Для тестирования была взята случайная выборка файлов различного размера, содержащая различный тип данных (список представлен на рис. 1). Так как в цели исследования не входило изучение поведения алгоритмов на различных типах данных, было принято решение использовать смешанную выборку: в нее попали файлы видео, исполнимые файлы, файлы данных, образы дисков и т.д.

```
pi@zombie:/home/testfiles $ ls -l --block-size=M
total 3314M
-rw-r--r-- 1 pi pi 31M Apr 16 13:48 Cockatrice-Decked_Out-2.5.0-win64.exe
-rw-r--r-- 1 pi pi 11M Apr 16 13:27 cockatrice.exe
-rw-r--r-- 1 pi pi 179M Apr 16 15:38 common.dat
-rw-r--r-- 1 pi pi 576M Apr 16 13:28 mm6disk1.iso
-rw-r--r-- 1 pi pi 201M Apr 16 13:46 mm6disk2.iso
-rw-r--r-- 1 pi pi 475M Apr 16 16:09 Origins_1.pak
-rw-r--r-- 1 pi pi 122M Apr 16 15:18 player_win_x86.pdb
-rw-r--r-- 1 pi pi 921M Apr 16 17:51 Shared_1.pak
-rw-r--r-- 1 pi pi 57M Apr 16 13:54 SkypeSetupFull.exe
-rw-r--r-- 1 pi pi 740M Apr 16 17:02 Textures_9.pak
-rw-r--r-- 1 pi pi 7M Apr 16 13:27 video.mp4
pi@zombie:/home/testfiles $
```

Рис. 1. Тестовая выборка

Для каждого алгоритма на вход подавалась тестовая выборка и проводились замеры времени вычисления хеша конкретного файла реализацией конкретного алгоритма. На каждый алгоритм было проведено по 10 замеров для каждого файла и в итоговые результаты записывалось среднее значение скорости алгоритма на данном файле.

Результаты тестирования. Данные, полученные в результате тестирования, представлены на рис. 2 и 3.

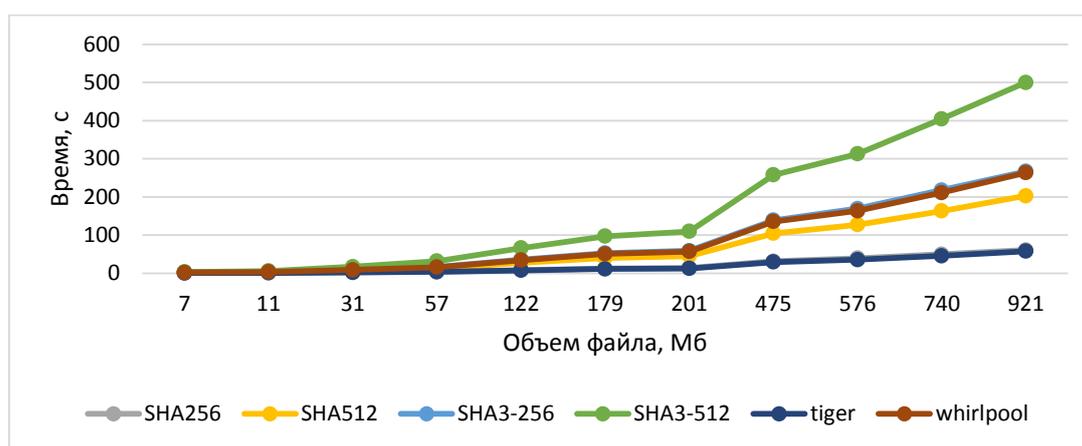


Рис. 2. Результаты тестов в линейной шкале

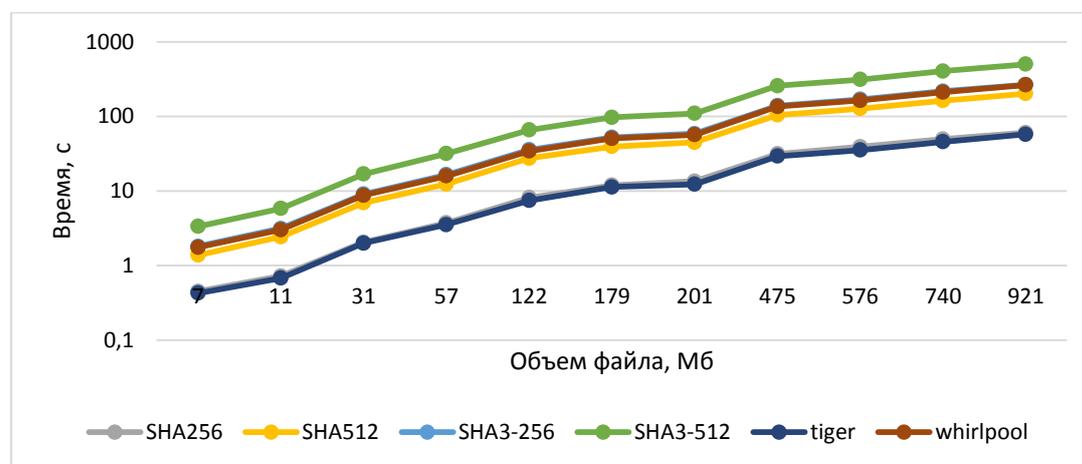


Рис. 3. Результаты тестирования в логарифмической шкале

Из представленных графиков видно, что самыми быстрыми алгоритмами при данной конфигурации тестового устройства оказались Tiger и SHA256. При этом с точки зрения длины хеша SHA256 оказывается предпочтительнее, поскольку его длина хеша 256 бит, в то время как у Tiger – 192.

Отдельно стоит сказать про SHA3-512 – при рассмотрении графика с линейной шкалой создается впечатление, что при хешировании файлов малого объема (до 50 МБ) он практически не уступает остальным алгоритмам, а при дальнейшем увеличении объемов наблюдается гораздо более быстрый рост времени вычисления по сравнению с остальными. Однако при рассмотрении результатов в логарифмической шкале выясняется, что в действительности SHA3-512 проигрывает, что делает данный алгоритм не лучшим решением при необходимости вычислять хеши больших объемов данных.

Алгоритм SHA3-256 проигрывает своему предшественнику SHA512 на объемах файлов более 200 МБ. То же можно сказать и про Whirlpool.

В табл. 2 приведена средняя скорость протестированных алгоритмов.

Таблица 2. Средняя скорость алгоритмов хеширования

Алгоритм	средняя скорость, МБ/с	Алгоритм	средняя скорость, МБ/с
SHA256	15,105013	SHA3-512	1,865526
SHA512	4,573697	Tiger	16,176286
SHA3-256	3,473009	Whirlpool	3,586363

Выводы. В ходе экспериментов были протестированы некоторые известные алгоритмы хеширования и установлены их скоростные характеристики. В общем итоге на смешанных данных лучше всего себя показывает алгоритм SHA256, поэтому в случае с Raspberry Pi разумнее использовать именно его. Алгоритм Tiger может показать чуть лучшие результаты по скорости, однако разница в 64 бита дает разницу в криптостойкости – скорее всего, выигрыш в несколько десятых или сотых долей секунды не стоит потери в стойкости [5–8].

Литература

1. Кнут Д. Искусство программирования. – Т. 3. Сортировка и поиск. – 2-е изд. – М.: Вильямс, 2007. – 824 с.
2. Махровский О.В. От изобретения радио к интернету вещей // Век качества. – 2015. – № 2. – С. 60–67.
3. Raspberry Pi 2 model B – Raspberry Pi [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-2-model-b/>, своб.
4. retter/RETTER.html at master maciejczykewski/retter GitHub [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://github.com/maciejczykewski/retter/blob/master/RETTER.html>, своб.
5. The Whirlpool Secure Hash Function [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://pdfs.semanticscholar.org/f7e3/75bc947377816162c4ee37bd34f161042462.pdf>, своб.
6. Tiger: A Fast New Hash Function [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://pdfs.semanticscholar.org/ef53/86db757b342fc94a62ed3bc9608ec302e8f6.pdf>, своб.
7. Descriptions of SHA-256, SHA-384, and SHA-512 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.iwar.org.uk/comsec/resources/cipher/sha256-384-512.pdf>, своб.
8. The Keccak SHA-3 submission [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://keccak.team/files/Keccak-submission-3.pdf>, своб.

**Меинов Артём Сергеевич**

Год рождения: 1995

Университет ИТМО, факультет программной инженерии и компьютерной техники, кафедра вычислительной техники, студент группы № Р3402

Направление подготовки: 09.03.01 – Информатика

и вычислительная техника

e-mail: svek.95@gmail.com

УДК 004.415**РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ МЕДИЦИНСКОГО УСТРОЙСТВА****Меинов А.С.¹****Научный руководитель – к.т.н., доцент Ключев А.О.¹**¹Университет ИТМО

При создании «Программно-аппаратного комплекса» для людей, имеющих ограничения в движении локтевого сустава и сниженную мышечную активность, учитывались все необходимые параметры объема движений, а также возможность поддерживать мышечный тонус, чтобы не допустить атрофических процессов. При помощи пассивных, а затем и активных движений возвращаются утерянные (впоследствии различных травм) двигательные функции. Разработанное программное обеспечение позволяет создавать комплексы упражнений и нагрузок для конкретных пользователей, а также отслеживать положительную динамику.

Ключевые слова: тренажер, механотерапия, протез, реабилитация.

Принцип создания «Программно-аппаратного комплекса» или «Протеза-тренажера» (рисунок) является сегодня очень актуальным. Современный темп жизни не позволяет оставаться в стороне некоторым категориям граждан, имеющим те или иные физиологические недостатки организма. Поэтому целью создания данного проекта является помощь и возвращение к полноценной жизни целой ячейки общества, адаптация в социальной сфере жизни. А инновационные технологии и возможность создавать современные технологические модели, не только помогают облегчить состояние человека (инвалидные кресла, специализированные подъемные механизмы, лифты), но и позволяют полноценно и комфортно жить.



Рисунок. Прототип аппаратно-программного комплекса

Люди с ограниченными возможностями здоровья, инвалиды, являясь полноценными членами нашего общества, к сожалению, не всегда могут полностью реализовать свои права. Часто ограничения здоровья влекут за собой ограничения жизнедеятельности: сужают круг общения, снижают социализацию и уровень самооценки, не дают возможность достичь успехов в той или иной области (учебной, трудовой и т.д.), а также, сокращают способы и средства самореализации и самовыражения. В такой ситуации, одним из направлений в социальной реабилитации людей, могут стать механические устройства. Физические нагрузки в значительной мере способствуют умственному, нравственному и эстетическому воспитанию людей, участвуя тем самым, в формировании гармонично развитой личности. Помогают справляться с психическими проблемами, неизбежно возникающими при потере или ограничении функционирования двигательной активности.

На сегодняшний день элементы реабилитационных воздействий выходят за пределы больниц, клиник и специализированных центров, и приобретают самостоятельные направления (возможность заниматься реабилитацией на дому). Трудно переоценить значение тренажеров, протезов и протезов-тренажеров для восстановления сил людей с ограниченными возможностями, для развития их основных физических качеств и способностей координировать свои действия.

Термин механотерапия – произошел (от греческого *mechano* и *therapeia*, что значит механизм и лечение.). Механотерапия, призвана улучшить работу и подвижность групп и отдельных мышц, а также подвижность суставов и ускорить функциональную адаптацию человека. Достигается такой результат с помощью различных аппаратов, тренажеров и специальных средств, путем целого комплекса восстановительных упражнений [1].

В данной работе рассмотрена возможность и процесс создания программной части комплекса, для реабилитации людей после инсульта или больных детским церебральным параличом (ДЦП). Комплекс является средством механотерапии – использования аппаратов для реабилитации людей, вместо занятий с врачом. В процессе работы рассмотрены методы механотерапии, позволяющие использовать комплекс для реабилитации людей с недостатком мышечной активности. Полученное устройство может найти применение для людей с ограниченными возможностями.

При создании программного обеспечения (ПО) для протеза-тренажера ставилась цель – разработать устройство, отвечающее высоким требованиям (качество и надежность) современных реабилитационных механизмов, которые помогают людям с проблемами опорно-двигательного аппарата. Чтобы люди, нуждающиеся в реабилитации, имели возможность быстрее получить положительную динамику, а также снизить риск атрофических осложнений в мышцах и возникновении контрактур в суставах. При исследовании данной проблемы часто наблюдается односторонний эффект. В процессе занятий идет активная разработка суставов, а мышцы при этом остаются в пассивном состоянии.

Преимуществом нового ПО для протеза-тренажера является увеличение эффективности, уменьшение времени ответа, а также снижение затрат на изготовление данных устройств.

Для достижения целей исследования решались следующие задачи:

- велись аналитические работы в области востребованности подобного рода устройств;
- проводился сравнительный анализ реабилитационных устройств, по техническим параметрам и их эффективности.

ПО разрабатывается для использования в реабилитационных аппаратах, которые могут применяться для работы с детьми (с диагнозом ДЦП) так и людьми в разной возрастной категории, перенесших инсульт и различные травмы.

Проведя анализ из доступных источников, например, с сайта Министерства здравоохранения и сайтов региональных и муниципальных реабилитационных центров, портала Государственных услуг в разделе Государственные закупки, количества людей с физическими отклонениями, а так же количество закупаемого оборудования для реабилитационных центров становится ясно, что люди, которые получают минимальное количество индивидуальных программ реабилитации занимают невысокое положение в социальной среде, по сравнению с людьми, которые активно занимаются, и при этом используют различные реабилитационные тренажеры.

Задачей работы является написание ПО на языке C в среде разработки MPLAB, для корректной, точной и стабильной работы сервопривода, TFT-дисплея, матричной клавиатуры ввода. Для того чтобы в целом устройство работало правильно и было интуитивно понятным в использовании для потребителя [2].

Изучив рынок аналогов подобных устройств не было установлено ни одного продукта, для которого было подготовлено специальное ПО с русским интерфейсом для Российского потребителя, а не использовался интерфейс, некорректно переведенный с других языков мира.

При создании ПО возникла определенная необходимость использовать «Выходные данные», которые относятся к тому факту, что счетчик таймера сравнивается с фиксированным значением, а когда они равны, цифровой выход установлен на высокий или низкий уровень. Это можно использовать для генерации одного импульса, указывающего длительность или непрерывность хода импульсов. Каждый режим работы может генерировать прерывание.

Как и большинство микроконтроллеров, PIC32 не поставляется с аналоговым выходом. Вместо этого одним из способов передавать аналоговое значение – использовать синхронизацию фиксированной последовательности импульсов с одного цифрового выхода: аналоговое значение, пропорционально рабочему циклу последовательности импульсов, где рабочий цикл представляет собой процентное соотношение периода, при высоком сигнале [3]. Это часто называют «широкоимпульсной модуляцией» (ШИМ). ШИМ-сигналы обычно используются как вход для усилителей H-моста, которые приводят в движение двигатели.

Архитектура PIC32 обеспечивает обширную систему прерываний. При необходимости каждый источник прерываний может иметь уникальную часть кода, называемый прерыванием обслуживания (ISR) или обработчик прерываний, непосредственно связанные с ним для обеспечения требуемого действия по реагированию. Прерывания могут быть полностью асинхронными с потоком выполнения основной программы. Они могут запускаться при любом моменте времени и в непредсказуемом порядке. Быстрое реагирование на прерывания необходимо для быстрого реагирования на событие триггера и быстрого возврата к основному потоку выполнения программы. Поэтому целью являлась минимизация латентности прерывания, определяемая как время между инициирующим событием и исполнением первой инструкции ISR [2]. Предназначенная для каждого заданного источника прерывания (только три или четыре команды циклов) других механизмов, общим для всех 32-разрядных архитектур, таких как кэш и модуль общей шины, может влиять на общее время отклика, добавляя небольшое количество недетерминизма.

При включении питания устройства на TFT-дисплеи загорается приветственное сообщение. Приветственное сообщение может содержать информацию о модели устройства, его артикул и его параметры. Также приветственное сообщение может содержать абсолютно любой набор символов по желанию пользователя. Программой задается длительность вывода приветственного сообщения после этого на дисплей.

Было реализовано несколько режимов работы устройства, но рассмотрен один из них – автоматический режим. Для выбора данного режима пользователю необходимо с

помощью клавиш позиционирования подвести курсор на экране в меню пользователя к пункту с надписью «Автоматический режим». Этот режим позволяет пользователю выбрать предустановленные упражнения, которые задаются по средним показателям среднестатистического пользователя. В этих режимах указывается скорость, угол сгибания/разгибания и нагрузка. Устройство позволяет создать большое количество предустановленных настроек, что позволяет пользователю выбрать для себя наиболее оптимальный режим для занятий.

В устройстве реализована функция записи и считывания информации (ранее заданных профилей), которые позволяют человеку в зависимости от условий быстро менять программные настройки, для того и иного вида упражнения путем смены SD-карт, на которые ранее были записаны комплексы упражнений. Эта функция позволяет использовать устройство человеку, который не обладает техническими знаниями, а просто меняет SD-карту, на которую были записаны комплексы упражнений [4]. Данный комплекс записывается специалистом по рекомендации врача или реабилитолога. Также эта функция позволяет записать на SD-карты как комплекс стандартных упражнений, так и реализовать запись индивидуальных занятий. Запись индивидуальных занятий позволяет реализовать комплекс упражнений под конкретного человека, учитывая его физические и физиологические особенности, при этом есть возможность вести учет и график количества упражнений путем записи информации на внешнюю память. Информация с внешнего носителя предоставляется лечащему врачу либо реабилитологу, для отслеживания динамики процесса реабилитации. Изучив данные с внешнего носителя, врач или реабилитолог самостоятельно, или с помощью специалиста может вносить изменения в комплекс упражнений.

Часто инвалиды оценивают качество жизни как неудовлетворительное, они не видят далеких перспектив. Залог успеха в социальной адаптации людей – это уверенность в своих физических возможностях, а для этого и ведется разработка различных приспособлений.

Преимущества устройства в том, что оно имеет небольшие габариты, вес и возможность пользоваться самостоятельно, без привлечения посторонней помощи. При этом стоимость его не превышает стоимость смартфона. Но не стоит забывать, что использовать данное устройство следует после консультации специалиста, который (порекомендует) назначит необходимую нагрузку и комплекс упражнений. При этом человеку останется лишь с помощью несложных настроек ввести данные и приступить к работе.

Литература

1. Качесов В.А., Качесов К.В. Основы интенсивной реабилитации. Интенсивная реабилитация инвалидов с применением спецтренажеров // Издательские решения. – 2016. – С. 16–24.
2. Predko M. Programming and Customizing the PIC Microcontroller. – Изд-во: McGraw-Hill/TAB Electronics, 2007. – 1263 p.
3. Шпак Ю.А. Программирование на языке C для AVR и PIC микроконтроллеров. – 2-е изд. – МК-Пресс, 2011. – 546 с.
4. Grenning J.W. Test Driven Development for Embedded C. – Изд-во: Pragmatic Bookshelf, 2011. – 365 p.



Менисов Артем Бакытжанович

Год рождения: 1991

Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского,
факультет специальных информационных технологий,
кафедра информационно-аналитической работы, адъюнкт

Направление подготовки: 20.00.00 – Военные науки

e-mail: men.artu@yandex.ru

УДК 004.9

ГЕОФЕНСИНГ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЕЙ

Менисов А.Б.¹

¹Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского

Работа выполнена в рамках темы «Разработка системы адаптивного геофенсинга целевой аудитории на основе данных социальных сетей» по программе «У.М.Н.И.К.».

В работе представлен анализ технологий геофенсинга, особенности и недостатки процесса сбора и обработки данных социальных сетей, а также обоснована необходимость разработки технических решений. Также описано разработанное программно-аппаратное обеспечение геофенсинга на основе данных социальных сетей, которое может быть использовано в качестве системы для геофенсинга целевой аудитории на основе данных социальных сетей, а также для адаптации обработки данных социальных сетей при решении различных задач.

Ключевые слова: геофенсинг, социальные сети.

С развитием и распространением социальных сетей, а также активностью пользователей и интенсивности добавления данных, эти информационно-коммуникационные системы превратились в большие базы разнородных данных, с помощью которых можно решать различные проблемы в различных сферах. Одной из таких проблем является сбор данных о местонахождении целевой аудитории в районе, представляющем интерес – геофенсинг целевой аудитории.

Термин «геофенсинг» является англицизмом, состоящим из частей «geo» – (пер. географический) и «fencing» – (пер. забор, ограждение) и означающий процесс сбора данных о местонахождении целевой аудитории в определенном районе на основе данных, передаваемых с таких технических устройств, как мобильные телефоны и планшеты.

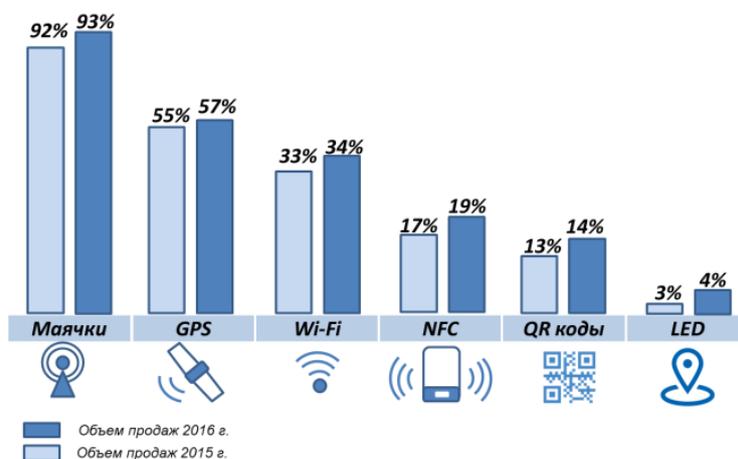


Рис. 1. Распределение использования технологий для геофенсинга

В настоящее время технология геофенсинга имеет распределение применения следующих сенсоров: маячков – 41%. GPS (в том числе и фитнес-трекеров) – 27%, беспроводных сетей – 15%, применение аппаратов NFC – 9%, QR-коды – 8%. Но данные сенсоры либо являются отдельным техническим устройством (маячки), которые применяют лишь в ограниченных областях (в гипермаркетах), либо требуют настройки приватности (Wi-Fi, push-уведомления). Это все может вызвать уменьшение применения геофенсинга и требует стимуляцию пользователей, например, скидками и подарками. Анализ изменения направлений геофенсинга представлен на рис. 1 [1].

Программные компоненты системы геофенсинга взаимодействуют друг с другом посредством API. При этом обычно компоненты образуют иерархию – высокоуровневые компоненты используют API низкоуровневых компонентов, а те, в свою очередь, используют API еще более низкоуровневых компонентов.

API социальных сетей позволяют осуществлять эффективный сбор данных о пользователях, но также обладают рядом технических ограничений доступа, представленных в таблице.

Таблица. Ограничения к API социальных сетей

№ п/п	Название API	Ограничения
1	Google	Свыше 100 тысяч запросов плата в \$0.50 USD за каждые 1000 дополнительных запросов
2	Facebook	200 запросов в час на каждого пользователя
3	Ebay	Предел: 5000 запросов в день
4	Aliexpress	Предел: 300 000 запросов в день
5	Yandex.Market	Предел: 10 000 запросов в день
6	Instagram	500–5000 в час
7	Twitter	15/180 запросов в диапазон, равный 15 минут
8	Vkontakte	3 запроса в секунду/5 запросов в секунду за каждые 10 000 пользователей

Все показатели, получаемые от API социальных сетей, можно разделить на следующие классы (представлены на рис. 2):

- показатели пользователя;
- показатели заинтересованного района;
- показатели материала;
- косвенные (дополнительные) показатели.

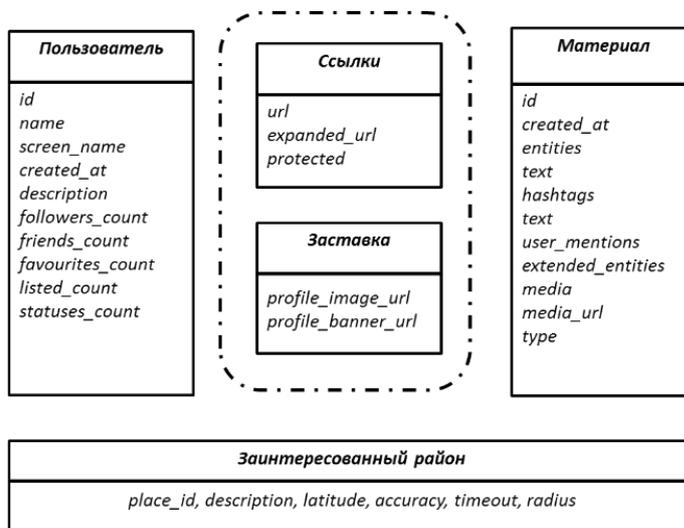


Рис. 2. Классификация получаемых данных от API социальных сетей

Таким образом, в настоящее время существует противоречие, вызванное несовершенством методов сбора большого количества разнородных данных социальных сетей и ограничениями доступа к ним через программируемый интерфейс приложений (Application Programming Interface, API).

Для сбора, обработки, систематизации, анализа и визуального отображения данных социальных сетей, которые являются основными этапами геофенсинга [2], существует необходимость создания специального программно-аппаратного обеспечения, общая архитектура которого представлена на рис. 3.

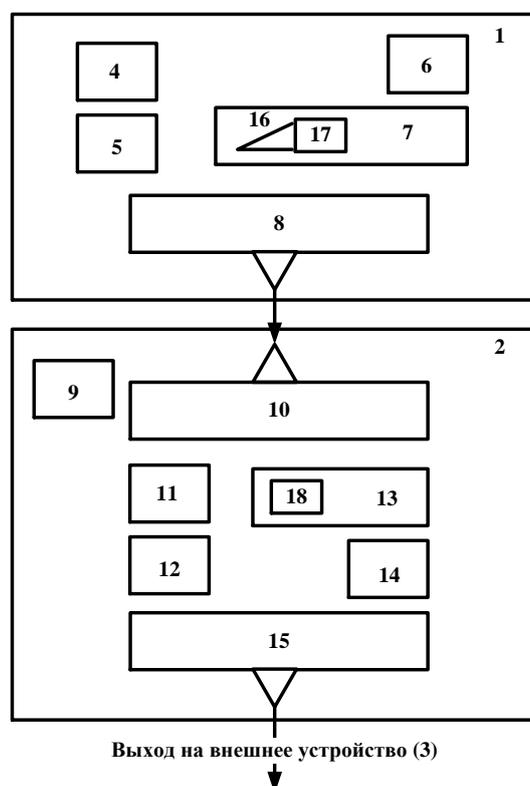


Рис. 3. Структурная схема программно-аппаратного обеспечения геофенсинга

Программно-аппаратное обеспечение геофенсинга на основе данных социальных сетей включает в себя связанные между собой каналами связи устройство сбора данных 1 и обрабатывающее устройство 2, содержащее как минимум один выход, выполненный с возможностью подключения к внешнему устройству. В качестве внешнего устройства может использоваться телевизор, либо программно-аппаратный или аппаратный комплекс отличный от телевизора 3.

Устройство сбора данных 1 содержит модуль авторизации социальных сетей 4, модуль формирования информационного запроса на поиск в районе 5, представляющем интерес, модуль верификации данных запроса 6, модуль отправки запросов и получения структурированных данных социальной сети 7, модуль систематизации данных и хранения информации 8, выход которого, в свою очередь, снабжен интерфейсом передачи данных для трансляции через транспортный поток. Причем выход упомянутого модуля систематизации данных и хранения информации 8 связан с входом обрабатывающего устройства 2 в транспортный поток.

Обрабатывающее устройство 2 включает в себя: автономный источник питания 9; модуль приема транспортного потока 10, вход которого является входом обрабатывающего устройства 2; модуль формирования признаков-индикаторов целевой аудитории 11; модуль формирования референтных групп целевой аудитории 12; модуль классификации 13; модуль выявления объектов и тематических направлений 14

и модуль вывода информации на интерактивную электронную карту 15 на внешнее устройство 3.

Для целей увеличения отказоустойчивости программно-аппаратного обеспечения геофенсинга в устройстве сбора данных 1 реализована верификация формирования информационного запроса в модуле модуль верификации данных запроса 6 для обеспечения всплывающих подсказок для оператора, проводящего сбор данных. Также модуль отправки запросов и получение структурированных данных социальной сети 7 дополнительно содержит переключатель отправки запросов 16, в котором реализован счетчик запросов 17. Счетчик запросов 17 вычисляет пороговое значение ограничения количества запросов к API социальных сетей и выполнен в виде программного комплекса, например, на базе C++ или Python [3], расположенного в энергозависимой или энергонезависимой памяти. Наличие переключателя отправки запросов 16 обеспечивает бесперебойную работу модуля сбора данных 1 и ускоряет весь процесс сбора данных вне зависимости от ограничений запросов API социальных сетей.

Для целей увеличения эффективности системы в обрабатывающем устройстве 2 в модуле классификации 13 добавлен интерфейс пользователя 18, позволяющий осуществить выбор результирующего эффекта работы модуля выявления объектов и тематических направлений 14 данных социальных сетей, что позволяет более оперативно и с меньшей затратой человеческих усилий адаптировать обработку данных социальных сетей для оператора при решении различных задач [3].

Таким образом, предложенный подход и технические решения могут быть использованы в качестве системы для геофенсинга целевой аудитории на основе данных социальных сетей, а также для адаптации обработки данных социальных сетей при решении различных задач.

Литература

1. Исследование компании IfleXion [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.iflexion.com/blog/location-technologies-retail-geofencing-customer-engagement> (дата обращения: 24.08.2017).
2. Менисов А.Б. Адаптивный геофенсинг целевой аудитории на основе данных социальных сетей // Наука и инновации в технических университетах: материалы Десятого Всероссийского форума студентов, аспирантов и молодых ученых. – 2017. – С. 40–44.
3. Менисов А.Б. Система адаптивного геофенсинга целевой аудитории на основе данных социальных сетей // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2018615734 от 15.04.2018.

**Милосердов Александр Олегович**

Год рождения: 1996

Университет ИТМО, факультет программной инженерии и компьютерной техники, кафедра вычислительной техники, студент группы № Р3410

Направление подготовки: 09.03.04 – Разработка программно-информационных систем

e-mail: al.miloserdov96@gmail.com

**Балакшин Павел Валерьевич**

Год рождения: 1984

Университет ИТМО, факультет программной инженерии и компьютерной техники, кафедра вычислительной техники, к.т.н., доцент

e-mail: pvbalakshin@gmail.com

УДК 004.732

РАЗРАБОТКА СРЕДСТВА ДИАГНОСТИКИ СТРУКТУРИРОВАННЫХ КАБЕЛЬНЫХ СИСТЕМ 1000BASE-T**Милосердов А.О.¹****Научный руководитель – к.т.н., доцент Балакшин П.В.¹**¹Университет ИТМО

В работе описаны методы диагностики структурированных кабельных систем типа 1000BASE-T, основанных на медных кабелях категорий 5, 5е, 6, 7 в достаточной мере удовлетворяющих задаче диагностики кабелей структурированных кабельных систем.

Ключевые слова: LAN, TDR, рефлектометрия, сети, диагностика.

Введение. Задача контроля проводных сетей с каждым днем становится все сложнее: требования к качеству услуг обслуживания растут, размеры предприятий растут. Более того, несмотря на повсеместное распространение волоконно-оптических кабелей, структурированные кабельные системы (СКС), основанные на медных кабелях все также актуальны в силу своего повсеместного распространения. В связи с этим диагностика кабелей СКС представляет собой важную задачу. Эту задачу можно в достаточной мере решить с помощью определения длины кабеля (в случае повреждения кабеля – расстояние до обрыва), обнаружения положения кабеля и определения разводки кабеля. Несмотря на то, что существуют устройства, выполняющие эту задачу, их реализация закрыта, соответственно неизвестно влияние внешней среды на их работу, алгоритм их работы и обоснование точности измерений.

Длина кабеля для СКС типа 1000BASE-T определяется как длины витых пар кабеля (категории 5, 5е, 6, 7). Для определения длины витой пары необходимо определить их емкость и вычислить отношение измеренного значения емкости к погонному, которое задается на единицу длины витой пары: $l = \frac{C_{изм}}{C_{пог}}$. Для определения физических характеристик кабеля необходимо определить реакцию физической среды на электрическое воздействие с помощью метода синусоидальной рефлектометрии (рис. 1). Метод заключается в непрерывной посылке синусоидального зондирующего сигнала, наблюдении отраженного сигнала и измерении задержки сигнала – фазового сдвига (рис. 2) [1].

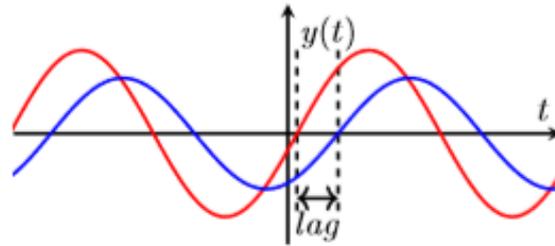


Рис. 1. Рефлектограмма для синусоидальной рефлектометрии

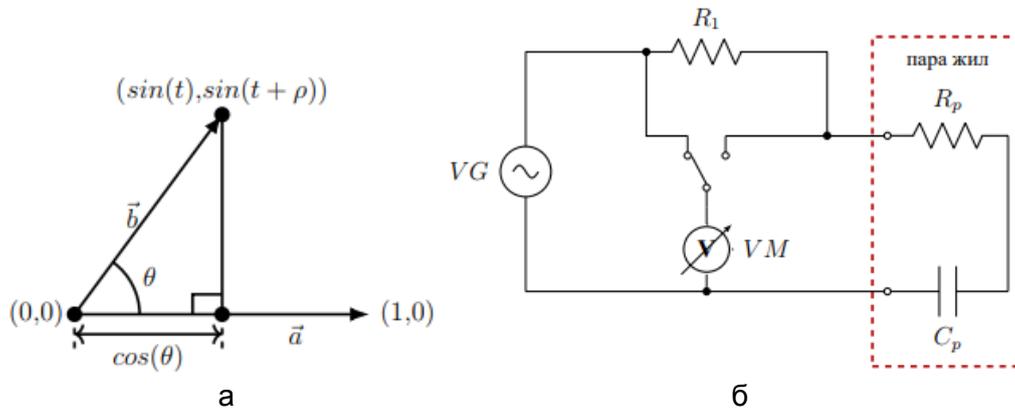


Рис. 2. Диаграмма векторов сигнала (а); схема измерительной цепи (б)

Значение фазового сдвига можно посчитать как скалярное произведение двух векторов:

$$\theta = \arccos \left(\frac{\sum_{n=0}^{N-1} \mathbf{x}[n] \mathbf{vg}[n]}{\sqrt{\sum_{n=0}^{N-1} (\mathbf{x}[n])^2 \sum_{n=0}^{N-1} (\mathbf{vg}[n])^2}} \right),$$

где \mathbf{vg} и \mathbf{x} – векторы зондирующего и отраженного сигналов.

Для дальнейших вычислений необходимо определить амплитуды зондирующего и отраженного сигналов. Эти амплитуды определяются как среднее квадратичное значение описывающих их векторов:

$$U_x = \sqrt{\frac{U_{x1} + U_{x2} + \dots + U_{xN}}{N}}, \quad U_{VG} = \sqrt{\frac{U_{VG1} + U_{VG2} + \dots + U_{VGN}}{N}},$$

где U_x – амплитуда отраженного сигнала, В; U_{VG} – амплитуда зондирующего сигнала, В.

Далее определяем величину полного сопротивления жил [2]:

$Z_x = \frac{U_x}{I} = \frac{U_x R_1}{U_{R1}}$, где R_1 – образцовый резистор, а U_{R1} – напряжение на образцовом резисторе, определяемое как

$$U_{R1} = \sqrt{U_{VG}^2 - 2 \cdot U_{VG} \cdot U_x \cdot \cos(\theta) + U_x^2}.$$

Затем определяем величину фазового сдвига в цепи как разность углов θ и β , где β – фазовый сдвиг между U_{R1} и U_{VG} :

$$\alpha = \theta \cdot \cos^{-1} \frac{U_{R1}^2 + U_{VG}^2 - U_x^2}{2U_{R1} \cdot U_{VG}}.$$

Далее находим сопротивление жил как активную составляющую:

$$R_p = |Z_x| \cdot \cos \alpha. \quad (1)$$

Потом находим реактивную составляющую полного сопротивления жил:

$$X_p = |Z_x| \cdot \sin \alpha.$$

И, наконец, определяем емкость между жилами:

$$C_p = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot X_p},$$

где f – частота сигнала на выходе генератора VG .

Таким образом, вычислив емкость витой пары C_p длина витой пары определяется как $l = \frac{C_p}{C_{\text{пог}}}$. Необходимо повторить эти вычисления для всех пар для определения состояния кабеля.

Положение кабеля можно определить методом трассировки кабеля амплитудно-модулированной синусоидой.

При отправке амплитудно-модулированной синусоиды в жилу кабеля СКС, жила начинает работать как антенна. С помощью принимающего устройства, принимающего сигнал и воспроизводящего его, по громкости воспроизводимого звука можно определить непосредственную близость к трассируемой линии (рис. 3).

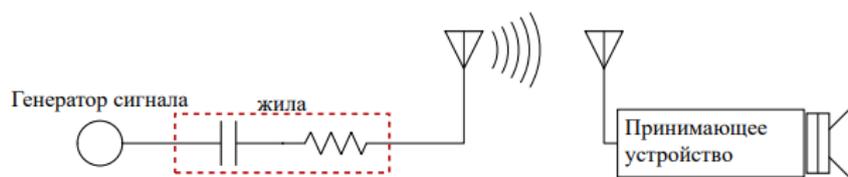


Рис. 3. Принцип трассировки кабеля

Схему разводки кабеля можно определить, высчитав сопротивление для каждой жилы кабеля СКС по формуле (1) с подключенным терминатором на другом конце кабеля. Терминатор (рис. 4) представляет собой последовательно соединенные сопротивления с параллельно подключенными жилами кабеля СКС, где $R_7 > R_6 > R_5 > R_4 > R_3 > R_2 > R_1$. Таким образом, порядок измеренных сопротивлений будет отображать схему разводки кабеля. Так, например, при прямой правильной разводке по стандарту TIA/EIA-568-B [3] полученные сопротивления $R_{\text{изм}}$ будут идти в порядке возрастания:

$$R_{\text{изм}8} > R_{\text{изм}7} > R_{\text{изм}6} > R_{\text{изм}5} > R_{\text{изм}4} > R_{\text{изм}3} > R_{\text{изм}2} > R_{\text{изм}1}.$$

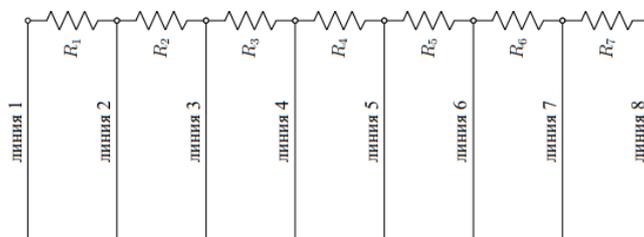


Рис. 4. Схема терминатора

Заключение. Разработанные методы диагностики кабеля позволяют в достаточной мере диагностировать состояние кабелей структурированной кабельной системы. В дальнейшем необходимо протестировать разработанные методы на кабелях категорий 6А и 8. При положительных результатах тестирования, разработанные методы будут возможно использовать в СКС типа 10GBASE-T, 25GBASE-T и 40GBASE-T.

Литература

1. Горохов В.М., Сергеев Д.В. Цифровой вейвлет-рефлектометр [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.svpribor.ru/vestnik.php?id=070302015011>, своб.
2. Capacitance and Inductance Measurements Using an Oscilloscope and a Function Generator. – Tektronix. – 4 p.
3. ANSI/TIA/EIA568-B. Commercial Building Telecommunications Cabling Standard [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ru.scribd.com/document/53076784/Cabling-Standard-ANSI-TIA-EIA-568-B-Commercial-Building-Telecommunications-Cabling-Standard>, своб.

**Михайлов Алексей Борисович**

Год рождения: 1987

Университет ИТМО, факультет систем управления и робототехники, кафедра технологии приборостроения, студент группы № P4175

Направление подготовки: 09.04.01 – Информатика

и вычислительная техника

e-mail: alex.mikhaylov@mail.ru

УДК 681.51: 681.518.3**СОЗДАНИЕ СЕТЕВОЙ СТРУКТУРЫ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ АГЕНТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОНТРОЛЛЕРОВ СЕМЕЙСТВА MODICON M251****Михайлов А.Б.¹****Научный руководитель – к.т.н., доцент Третьяков С.Д.¹**¹Университет ИТМО

Работа выполнена в рамках темы НИР № 617026 «Разработка методов интеллектуального управления киберфизическими системами с использованием квантовых технологий».

В работе приведена реализация сетевой структуры производственных агентов с использованием контроллеров Modicon M251. Возможности контроллеров указанной версии позволяют значительно повысить скорость обмена информацией внутри сети при большом количестве агентов. В рамках реализуемой архитектуры на практике достигли уменьшения времени переналадки типографской машины и осуществили поддержку синхронизированной работы ее валов.

Ключевые слова: промышленный контроллер, сетевой протокол, сетевая архитектура, протокол CANopen, протокол Modbus, порт Ethernet.

Современные производственные площадки требуют от оборудования и сетевой архитектуры высокого качества передачи информации и достаточной степени отказоустойчивости. Все это обусловлено большими объемами данных, создаваемыми многочисленными миниатюрными датчиками на первом уровне производственных систем. Для реализации межмашинной коммуникации необходимо обеспечить совместную работу множества сетей различных технологий и протоколов доступа в гетерогенной конфигурации [1].

Данная задача решена применением высокопроизводительного оборудования и созданием такой сетевой архитектуры, которая позволит обеспечить высокую степень коммуникации между имеющимися производственными агентами. Для этого была развернута сетевая модель обмена информацией с обязательным включением в ее основу промышленных контроллеров от Schneider Electric с версией исполнения 251 и выше. Ограничение в использовании промышленных контроллеров, не ниже указанной версии, обусловлено наличием двухъядерной архитектуры, где одно ядро отвечает за коммуникации, второе – за задачи PLC. Это означает, что каким бы нагруженным поток обмена по Ethernet не был, на общую задачу он влияния не окажет, поскольку ядра промышленного контроллера Modicon M251 работают независимо. Такое решение играет ключевую роль в случае обмена большими объемами данных, когда время задачи начинает расти и контроллеру требуется больше времени на коммуникацию. В большинстве промышленных применений подобная проблема имеет критическое значение [2].

Заранее обговорено, что на рассматриваемом контроллере отсутствуют дискретные вход/выход. Наша задача – реализовать распределенную архитектуру с промышленным контроллером Modicon M251 в ее основе. В полученной структуре первым Ethernet-портом контроллер «смотрит в мир» и обращается к SCADA и к любой

другой подобной системе высокого уровня. На втором Ethernet-порте реализуется Industrial Ethernet manager – общение с внутренними устройствами-агентами, в частности, на нем исполнены заданные программы и осуществлен обмен данными вверх и вниз по иерархии между членами сети.

В качестве частного случая дополнительно реализовано решение с сетевым протоколом CANopen на базе второго Ethernet порта и создана структура с агентами – промышленными конвейерами. Преимуществом такого решения является возможность построения шинной структуры между конвейерами по Ethernet-протоколом CANopen, где нет необходимости протягивать к каждому контроллеру отдельный Ethernet-канал, поскольку это единственная шина (кроме Profibus от Siemens), в которой можно гарантировать точное время опроса, зная физическую скорость на шине, количество устройств и количество параметров для считывания. Контроллер позволяет реализовать подобную конфигурацию, поскольку его заданное быстродействие позволяет поддерживать до 100 ПИД-регуляторов с генератором случайного псевдовоздействия – 2,7 мс, и наличии быстрых входов на 200 кГц.

На практике осуществлено подключение четырнадцати производственных агентов: семь напрямую, остальные семь через модуль расширения. Для удобства управления добавлен модуль-дисплей, где самостоятельно моделируются и задаются кнопки управления, выведены графики – сформирован Java-апплет для постоянной работы с ним, таким образом осуществлена веб-визуализация всего процесса.

Еще одним частным случаем реализации сетевой модели является возможность подключения посредством порта Ethernet 2 по Profibus к оборудованию, поставляемому компанией Siemens. Однако в данной работе был использован открытый коммуникационный протокол Modbus. В Modicon M251 Modbus-сервер активен всегда, принимая все входящие обращения по 502 порту. При построении сетевой модели мы убедились, что работая в качестве сервера Modbus TCP, не требуется дополнительного вмешательства. Достаточно объявить соответствующие переменные по адресам и передать эти адреса тем агентам, кто способен их принимать. С другой стороны, для работы в качестве клиента требуется настроить Industrial Ethernet manager через 251 порт (1 и 2 Ethernet). В данном случае сдвоенный порт контроллера выполняет функцию switch (переключателя). Такое решение помогает избежать построения топологии сети «звезда» со всеми ее недостатками. Для этого на первом порту требуется задать функцию Enable IP forwarding. Только в этом случае мы можем читать вторую сеть посредством 251 порта из первой сети. Подобная схема способна работать даже на пустом контроллере (без программ), но требуется настроить два адреса от Ethernet 1 и Ethernet 2. Возможности промышленных контроллеров семейства M251 и старше позволяют одновременно поддерживать 8 соединений на запись и 8 на чтение, что позволило настроить частотный преобразователь из соседней сети с двумя интерфейсами – Modbus RTU и Modbus TCP для управления асинхронным двигателем 350~750 Вт. Более того, практика показала преимущество подобного решения в условиях работы механических типографских машин, реализующих четырехстороннюю печать, где все валы требуют синхронизации. Чтобы изменить передаточное число, перенастроить станок, ранее уходило до двух часов. Однако данное решение (в структуру входят серводвигатели, соединенные кабелями) позволило быстро перенастраивать производственную площадку за двадцать минут.

Литература

1. Росляков А.В., Ваняшин С.В., Гребешков А.Ю. Интернет вещей. – Самара: ПГУТИ, 2015. – 200 с.
2. Диммлер Г., Фритц Х., Фрешль Д., Хеглингер В., Керн А. «Умные» заводы на платформе IEC UA // Полимерные материалы. – 2017. – № 3. – С. 18–23.

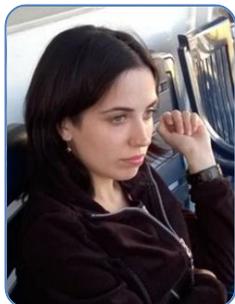
**Мостовой Роман Александрович**

Год рождения: 1993

Университет ИТМО, факультет безопасных информационных технологий, кафедра проектирования и безопасности компьютерных систем, аспирант

Направление подготовки: 10.06.01 – Информационная безопасность

e-mail: rommostovoy@gmail.com

**Башарина Анастасия Александровна**

Год рождения: 1991

Университет ИТМО, факультет безопасных информационных технологий, кафедра проектирования и безопасности компьютерных систем, студент группы № N4250

Направление подготовки: 10.04.01 – Информационная безопасность

e-mail: renarny@yandex.ru

**Левина Алла Борисовна**

Год рождения: 1983

Университет ИТМО, факультет безопасности информационных технологий, кафедра проектирования и безопасности компьютерных систем, к.ф.-м.н., доцент

e-mail: alla_levina@mail.ru

УДК 004.056.53

**АТАКИ ПО СТОРОННИМ КАНАЛАМ НА КРИПТОГРАФИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО СИГНАЛА:
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ****Мостовой Р.А.¹, Башарина А.А.¹****Научный руководитель – к.ф.-м.н., доцент Левина А.Б.¹**¹Университет ИТМО

Работа выполнена в рамках темы НИР № 617026 «Разработка методов интеллектуального управления киберфизическими системами с использованием квантовых технологий».

Атаки по сторонним каналам являются на данный момент одной из самых актуальных угроз конфиденциальности данных в вычислительных системах. Автоматизированный поиск уязвимостей к атакам по сторонним каналам позволит разработать отсутствующую на данный момент методику оценки защищенности криптографических систем к атакам по сторонним каналам, а также внедрить оценку защищенности в жизненный цикл продукта как на стадиях разработки и производства, на этапе ввода в эксплуатацию, так и в рамках регулярных аудитов безопасности. В работе приведен анализ атакуемой криптографической системы с точки зрения автоматизированного поиска уязвимостей к атакам по сторонним каналам, формализация задачи автоматизированной обработки сигналов для поиска уязвимостей к атакам по сторонним каналам. Данные результаты позволяют создать модель системы, которая будет выполнять автоматизированный поиск уязвимостей и выполнять оценку защищенности. В качестве основного канала для съема информации рассмотрено паразитное электромагнитное излучение и наводки, однако с точки зрения анализа данных рассуждения, приведенные в работе, справедливы для всех пассивных побочных каналов.

Ключевые слова: атаки по сторонним каналам, уязвимости, автоматизированный поиск уязвимостей.

Паразитное электромагнитное излучение и наводки (ПЭМИН) – технический канал утечки информации, интерес к которому начал развиваться еще в начале XX века. Однако опасность уязвимостей, связанных с модуляцией паразитных электромагнитных излучений информационными потоками, обрабатываемыми средствами вычислительной техники, а также средства эксплуатации и устранения таких уязвимостей, были окончательно признаны мировым сообществом на рубеже 60–70-х годов. Термин ПЭМИН был введен в обращение именно в это время, на западе же использовалась аббревиатура TEMPEST (Transient Electromagnetic Pulse Emanation Standard), которая обозначала стандарт защиты средств обработки и передачи данных от утечки информации через побочные электромагнитные излучения, однако на данный момент стала, с одной стороны, синонимом ПЭМИН, а с другой – обозначением комплекса мер по устранению ПЭМИН-уязвимостей.

Первой публикацией, предназначенной для широкой общественности, стала работа Вима ван Эйка «Электромагнитное излучение видеодисплейных модулей: Риск перехвата?», опубликованная в 1985 году. Была доказана сначала теоретическая возможность, а затем – и реализуемость на практике съема информации, выводимой на экран электронно-лучевой трубки монитора, при помощи ПЭМИН. В этой работе электромагнитное излучение используется уже именно как побочный канал в современном понимании этого термина – этот момент можно считать переломным в истории атак по сторонним каналам. Сложилась предпосылка к созданию принципиально нового вида криптоанализа:

- расширение спектра задач, выполняемых средствами вычислительной техники, в том числе использование криптосистем на их базе;
- увеличение сложности криптографических алгоритмов, низкая эффективность классических средств криптоанализа;
- выход задач криптоанализа и криптозащиты за рамки обеспечения государственной и военной тайны.

Широкое распространение идеи атак по сторонним каналам получили в последнем десятилетии прошлого века благодаря Полу Кохеру. Его работа «Timing attacks on implementations of Diffie-Hellmann, RSA, DSS, and other systems» [1], опубликованная в 1996 году, посвящена уязвимости некоторых криптографических алгоритмов к одному из самых простых видов атак по сторонним каналам – по времени выполнения операций. Метод атак по сторонним каналам отличается высокой степенью привязки к конкретному воплощению криптографической системы. Таким образом, постоянное соревнование между злоумышленником, находящим все новые уязвимости, и разработчиками криптосистем и их компонентов, устраняющими найденные уязвимости, приобретает все более экстенсивный характер, что ранее было не свойственно криптографической сфере защиты информации.

Отдельную группу в целом однотипных атак представляют атаки по различным видам излучения и энергопотреблению. В их основе лежит наблюдение за колебаниями различных физических характеристик среды (пассивное «прослушивание»), в которой находится система. Криптографическая система на базе средств вычислительной техники представляет собой набор радиоэлектронных компонентов, энергопотребление которых не постоянно во времени и зависит от выполняемых операций [2]. Колебание энергопотребления может находить отражение в различных средах и видах излучения – электромагнитное, акустическое, видимое, тепловое и т.д. Другими словами можно утверждать, что любой колебательный канал (то, что криптосистема излучает или другие переменные физические характеристики среды, с которой она взаимодействует),

будет содержать в себе информацию о работе системы. Может отличаться лишь ценность данной информации для криптоаналитика и требуемые методы для ее обработки [3].

Атаки по сторонним каналам показали уязвимость вычислительно стойких шифров. Многие актуальные алгоритмы были успешно взломаны в той или иной реализации. Один из создателей шифра RSA, Ади Шамир, в составе исследовательской группы из университета Тель-Авива провел атаку на реализацию алгоритма RSA в библиотеке GnuPG с использованием акустического сигнала [4]. Длительность атаки составила всего один час, при этом атака осуществима и на доступном практически каждому желающему оборудовании. Позже идея атаки была развита той же командой ученых [5] – на этот раз жертвой стали алгоритмы RSA и El-Gamal все в той же библиотеке GnuPG, а в качестве опасного сигнала выступили колебания потенциала на заземленных частях компьютера – корпус, контакты кабелей. Кратко идею атаки можно свести к тому, что итеративно подбираемый шифротекст позволяет добиться резкого увеличения числа проходов по определенной ветке алгоритма в случае правильно угаданного n -го бита ключа – что, в свою очередь, приводит к заметным отличиям в спектре сигнала побочного канала. Интересным является тот факт, что полученные спектры сигналов в различных каналах утечки (колебания потенциала, акустическое излучение) получились весьма схожими.

В общем случае след процесса в сигнале не обязательно будет нести полезную для атаки информацию (коррелировать с секретными данными) [6]. Также характеристики опасного сигнала – такие, как полоса частот, время и мощность излучения, могут сделать процесс его детектирования крайне затруднительным с технической точки зрения, т.е. процесс поиска и детектирования опасного сигнала является задачей не тривиальной и требующей отдельного рассмотрения. В данной же работе рассмотрены вектора (следы), заведомо несущие информацию о состоянии системы во времени.

В первом приближении криптографическая система представляет собой черный ящик с вектором входа (будем представлять его бинарным), и вектором выхода. Между входом и выходом существует функциональная зависимость. Текущие параметры функциональной зависимости определяются ключом, который можно представить, как управляющее воздействие, вектор настроек (строго говоря, ключ не обязан только лишь участвовать в вычислении математических функций). Входной поток можно представить, как бинарный вектор \mathbf{I}_n где n – длина сообщения (открытого текста или шифротекста), выходной поток – как бинарный вектор \mathbf{O}_m , где, аналогично, m – длина результирующего сообщения (зашифрованного или дешифрованного). Ключ же – бинарный вектор \mathbf{X}_k длиной k . При этом при фиксированном ключе отображение множества векторов входа на множество векторов выхода является биекцией. С другой стороны, в общем случае не гарантируется, что при разных ключах один открытый текст будет отображен в разные шифротексты, т.е. отображения при разных настройках функциональной зависимости могут пересекаться.

В идеализированной ситуации, пара векторов $\mathbf{I}_n, \mathbf{O}_m$ – известные нам данные, вектор \mathbf{X}_k – интересующая криптоаналитика информация (т.е. его задача сводится к тому, чтобы скомпрометировать ключ). Одному вектору \mathbf{X}_k соответствует набор пар известных векторов. Если речь идет о функциях шифрования/дешифрования, которые представляют собой биективные функции отображения множества сообщений открытого текста во множество сообщений шифротекста, каждая тройка векторов $\mathbf{I}_n, \mathbf{O}_m, \mathbf{X}_k$ однозначно идентифицируема парой векторов – ключом и одним из векторов входа/выхода. Принципы построения надежных шифров требуют, чтобы даже небольшое изменение открытого текста приводило к сильному видоизменению шифротекста. Поэтому, а также в силу того, что множества открытых и зашифрованных сообщений бесконечны, однозначно сопоставить паре $\mathbf{I}_n, \mathbf{O}_m$ вектор \mathbf{X}_k в случае, если

алгоритм шифра не поддается классическим методам криптоанализа, практически невозможно. Однако известны успешные попытки ассоциативного извлечения ключей алгоритма DES только лишь на базе входных и выходных значений с использованием искусственной нейронной сети [7].

Добавим к данной модели вектор полученного сигнала. Этот вектор – «след» (trace) – может быть представлен в виде вектора \mathbf{T} , $c = t/v$, где c – число отсчетов; t – время записи следа; v – частота дискретизации. Он обладает двумя отличительными свойствами:

- несет информацию, характеризующую реализацию системы;
- описывает не результат, а состояние криптосистемы во времени.

Основную гипотезу, на основании которой базируются атаки по сторонним колебательным каналам, можно выразить следующим образом: условная энтропия ключа при знании следа ниже, чем условная энтропия при знании одного или двух векторов входа/выхода.

$$\mathbf{H}(\mathbf{X}|\mathbf{T}) < \mathbf{H}(\mathbf{X}|\mathbf{C}). \quad (1)$$

Для повышения эффективности атаки, в число анализируемых векторов следует добавить вектор входа:

$$\mathbf{H}(\mathbf{X}|\mathbf{T} \wedge \mathbf{C}) < \mathbf{H}(\mathbf{X}|\mathbf{C}) \quad (2)$$

это позволит еще больше снизить энтропию (в формировании следа участвуют вектор входа и вектор ключа), а также, при условии возможности модификации входа, сделать атаку более управляемой (адаптивной). Здесь в формулах энтропии в качестве входного вектора фигурирует шифротекст. Причина такого замещения в том, что предпочтительным объектом для атаки является дешифратор по следующим причинам:

- в ассиметричных системах шифрования с секретным ключом работает именно дешифратор;
- в реальных системах получение и модификация шифротекста являются задачами более простыми, нежели получение и модификация открытого текста.

С точки же зрения пассивных атак – это позволяет разбить след на несколько последовательных непересекающихся векторов, каждый из которых соответствует некоторому этапу алгоритма, в котором участвуют известные биты ключа и входного вектора – подмножества соответствующих векторов, что дает следующие преимущества:

- зависимость между известными и искомыми данными может иметь различный характер на разных этапах исполнения алгоритма – некоторые из них могут быть более уязвимыми к атаке;
- участие в этапе алгоритма не полных векторов (меньшей длины) снижает абсолютные значения энтропии.

Отправными точками для нашего исследования стали несколько упомянутых ранее работ, посвященных атакам по пассивным каналам. Низкочастотный вариант атаки был воспроизведен в нашей лаборатории с использованием сигнала, полученного по электромагнитному каналу. Поставленный эксперимент показал, что, во-первых, съем низкочастотного электромагнитного сигнала позволяет добиться высоко соотношения сигнал/шум даже при использовании оборудования потребительского уровня; во-вторых, причина возникновения опасного сигнала, а следовательно, и процесс подготовки адаптивного шифротекста и последующей обработки сигналов такие же, как и для других пассивных каналов.

Использование дополнительной информации – вектора \mathbf{T}_c (или даже набора векторов \mathbf{T}_{c1} , \mathbf{T}_{c2} и т.д.) оправдано в том случае, если найти зависимость между значениями этих векторов (дополненного векторами входа/выхода) и ключевым вектором проще, нежели между парой векторов открытого/закрытого текста и ключевым вектором. Учитывая тот факт, что для реальной криптосистемы атака не

предполагает знание открытого текста, зависимость, которая делает возможной атаку по стороннему каналу, может быть представлена в виде формулы:

$$\mathbf{T}_c = f(\mathbf{X}_k, \mathbf{I}_n). \quad (3)$$

Входной вектор более удобен для анализа, поскольку только его мы можем модифицировать по своему желанию. Так как нам известен шифротекст, целевой операцией будет дешифрование. При этом по-прежнему может выполняться условие:

$$\exists(\mathbf{X}_{k_1, n_1})(\mathbf{X}_{k_2, n_2}): F(\mathbf{X}_{k_1, n_1}) = \mathbf{T}_c = \mathbf{T}_{c_2} = F(\mathbf{X}_{k_2, n_2}). \quad (4)$$

Так как множество ключей конечно, и выделение из него любого подмножества, сокращающего количество вариантов, облегчает задачу аналитика – полученный результат можно развить с помощью средств традиционного криптоанализа или брутфорса.

Для того чтобы убедиться, что сигнал по побочному каналу может стать основой для атаки, необходимо проверить, что вектор следа зависит от используемого ключа – например, с использованием кросс-корреляции [8]. Ситуация, что вектор следа зависит только от ключа, крайне маловероятна. Однако это играет на руку криптоаналитику. Разные комбинации входных векторов и ключей могут давать различные по своей информативности вектора следов – достаточно взглянуть, к примеру, на атаку на RSA и El-Gamal в реализации GNUPG [9]. Таким образом, значение функции (3) (вектор следа) в некоторых случаях может давать дополнительную информацию и о связи между входным вектором и ключом. Именно поэтому важно иметь возможность контролировать процесс формирования входного потока – выбор шифротекста может повысить эффективность атаки и скорость компрометации ключа.

Формально задачи, которые стоят перед системой, осуществляющей атаку по сторонним каналам, можно сформулировать следующим образом:

- отнести множество пар векторов следа и шифротекста к нескольким классам (количество которых не превышает заданный порог), описывающим криптосистему с разными ключами (векторами настроек), гарантируя попадание правильного ключа в кандидаты;
- оценить информативность векторов следов в зависимости от используемых для их получения шифротекстов.

В ходе данного исследования были проанализированы актуальные на текущий момент уязвимости криптографических систем к атакам по сторонним каналам, а также задачи обеспечения защищенности от данных атак.

На основании проведенной работы были формализованы требования к используемым в атаке сигналам, формализована задача обработки сигналов, построена математическая модель атакуемой системы.

Разработанная модель позволяет разработать атакующую систему, способную выполнять поиск уязвимостей к атакам по сторонним каналам, а также оценить эффективность применяемых мер защиты после их внедрения [10].

Литература

1. Kocher P. Timing Attacks on Implementations of Diffie- Hellman, RSA, DSS, and Other Systems // In Advances in Cryptology. Crypto 96. – 1996. – V. 1109. – P. 104–113.
2. Kocher P., Jaffe J., Jun B. Differential Power Analysis // In Advances in Cryptology. Lecture Notes in Computer Science. – 1999. – V. 1666. – P. 398–412.
3. Yang S., Zhou Y., Liu J., Chen D. Back Propagation Neural Network Based Leakage Characterization for Practical Security Analysis of Cryptographic Implementations // Information Security and Cryptology. ICISC 2011. Lecture Notes in Computer Science. – 2012. – V. 7259. – P. 169–185.
4. Genkin D., Shamir A., Tromer E. RSA Key Extraction via Low-Bandwidth Acoustic Cryptanalysis [Электронный ресурс]. – Режим доступа:

- <https://www.cs.tau.ac.il/~tromer/papers/acoustic-20131218.pdf>, своб.
5. Genkin D., Shamir A., Tromer E. Get Your Hands Off My Laptop: Physical Side-Channel Key-Extraction Attacks on PCs // CHES. – 2014. – P. 242–260.
 6. Levina A., Borisenko P., Mostovoy R. SCA as Mobile Security Threat // Proceedings of the 20th Conference of Open Innovations Association FRUCT. – 2017. – P. 236–241.
 7. Dhia N., Al-Shakarchy N.D. Simulating DES Algorithm Using Artificial Neural Network // Journal of Kerbala University. – 2012. – V. 10. – № 4. – P. 13–21.
 8. Ometov A., Levina A., Borisenko P., Mostovoy R., Orsino A., Andreev S. Mobile Social Networking under Side-Channel Attacks: Practical Security Challenges // IEEE Access. – 2017. – V. 5. – P. 2591–2601.
 9. Genkin D., Pachmanov L., Pipman I., Tromer E., Yarom Y. ECDSA Key Extraction from Mobile Devices via Nonintrusive Physical Side Channels [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://eprint.iacr.org/2016/230.pdf>, своб.
 10. Tanaka H. Information leakage via electromagnetic emanations and evaluation of Tempest countermeasures // Lecture notes in computer science. – 2007. – P. 167–179.

**Мулюкин Алексей Андреевич**

Год рождения: 1994

Университет ИТМО, факультет компьютерных технологий и программной инженерии, кафедра информатики и прикладной математики, аспирант

Направление подготовки: 10.06.01 – Информационная безопасность

e-mail: alexprey@yandex.ru

**Перл Иван Андреевич**

Год рождения: 1986

Университет ИТМО, факультет программной инженерии и компьютерной техники, кафедра информатики и прикладной математики, к.т.н., доцент

e-mail: ivan.perl@corp.ifmo.ru

УДК 004.67

ОБЗОР МЕХАНИЗМОВ ДЛЯ ХРАНЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ СИСТЕМНОЙ ДИНАМИКИМулюкин А.А.¹Научный руководитель – к.т.н., доцент Перл И.А.¹¹Университет ИТМО

Работа выполнена в рамках темы НИР № 617026 «Разработка методов интеллектуального управления киберфизическими системами с использованием квантовых технологий».

С активным развитием облачных технологий и приходом таких понятий, как MaaS (моделирование как сервис) и Continuous Modelling (непрерывное моделирование), вопрос хранения результатов моделирования встает очень остро. Подход непрерывного моделирования подразумевает исполнение модели на потоке реальных данных. Это позволяет превратить системную динамику в мощный инструмент анализа данных. Однако такой подход порождает большой объем данных. В работе рассмотрены особенности данных, полученных путем моделирования, и представлен обзор технологий, которые справятся с задачей хранения большого объема результатов моделирования.

Ключевые слова: системная динамика, моделирование, системная динамика, базы данных, распределенные системы.

Введение. Системная динамика – это методология моделирования, которая помогает изучать сложные системы, развивающиеся во времени, и позволяет находить внешние факторы, влияющие на них. Очень широкое распространение получили экономические модели. Кроме того, такой подход моделирования активно применяется в таких сферах как: медицина, экология, бизнес-процессы, механика, анализ данных [1] и Интернет вещей [2]. С активным развитием облачных технологий и приходом таких понятий, как MaaS (моделирование как сервис) [3] и Continuous Modelling (непрерывное моделирование) [4], вопрос хранения результатов моделирования встает очень остро. Подход непрерывного моделирования подразумевает постоянное исполнение модели системной динамики на потоке реальных данных, получаемых с одинаковым промежутком времени с датчиков распределенной инфраструктуры

Интернета вещей. Это позволяет использовать системную динамику не просто как инструмент моделирования, но и как мощный инструмент анализа данных для выявления аномалий в поведении реальной системы. Однако такой подход порождает большое количество данных, которые необходимо хранить для последующего анализа. Еще одним из способов применения системной динамики является оптимизация процессов. Для этого исследователи строят модель рассматриваемого процесса и выделяют область определения параметров модели и область допустимых характеристик, которые получаются в результате исполнения модели. Такой подход называется задачей оптимизации параметров модели. Для получения корректного ответа на поставленную задачу оптимизации необходимо проанализировать большой набор результирующих данных моделирования, полученных с множественного исполнения модели. Как следствие, все результаты моделирования следуют хранить для последующего решения задачи.

Рассмотрим пример простой экономической модели, описывающей производство на заводе. Задача оптимизации для такой модели может звучать следующим образом: «Как произвести необходимое количество деталей с наименьшими затратами?». Допустим, что были выбраны следующие области определения параметров модели: «Зарплата в час» – от 5\$ до 30\$ с шагом 0,5\$; «Количество рабочих» – от 100 до 500 с шагом 1; «Качество производимых деталей» является табличной функцией, зависящей от зарплаты сотрудников; «Диапазон моделируемого времени» установлен на промежутке от 0 до 240 часов. Размер кадра моделирования равен 52 Б, что необходимо для хранения 13 результирующих характеристик модели. Имея эти данные, можно произвести расчет объема полученных данных в ходе решения задачи оптимизации. Общее количество запусков моделей на каждом наборе входных параметров будет равно 20 000. При шаге моделирования в один час мы получим 4 800 000 кадров моделирования, что эквивалентно 238 МБ.

Стоит обратить внимание на тот факт, что чем сложнее является модель и чем больше узлов используется в ее структуре, тем больше данных порождается в результате исполнения модели на определенном промежутке времени моделирования. Результаты моделирования представляют собой не только конечные значения каждого из узлов разработанной модели, но и все промежуточные шаги моделирования. Для уменьшения объема хранимых данных можно увеличивать шаг моделирования, что позволит существенно снизить получаемый объем данных моделирования. Однако такой подход не эффективен, так как увеличение шага моделирования приводит к потере точности, а также может скрыть аномалии в поведении системы, которые проявляются на участках времени в несколько раз меньших, чем увеличенный шаг моделирования. Уменьшение шага моделирования является частой практикой для улучшения точности получаемых результатов.

В современных системах частной практикой для хранения данных, не равномерных данных, является использование NoSQL-баз данных, предоставляющих возможность работы не с отдельными записями, как классические реляционные базы данных, а с документами, структура которых может варьироваться в рамках одной коллекции. Этот подход был применен при разработке облачной платформы для моделирования sdCloud, в рамках которой результаты моделирования сохраняются в NoSQL-базе данных MongoDB. Однако при реализации новых подходов к моделированию и применению системно-динамических моделей возникла необходимость в поисках оптимальных способов хранения результатов моделирования. С активным развитием таких сфер, как Интернет вещей, анализ данных, появился новый подход для хранения и обработки данных, хранящие в себе метку времени. Данные результатов моделирования являются таковыми, они содержат в себе метку времени, за одним исключением, что метка времени относится к пространству времени

моделирования, а не к пространству реального времени. Такие данные называются Time Series Data, и для хранения таких данных был разработан ряд систем хранения – Time Series DB, в их число входят: InfluxDB, RRD Tool, Graphite, Kdb+. Представленные хранилища данных используют особые алгоритмы для сжатия данных, учитывая их особенности, полученных путем периодического сбора из разных источников. Это позволяет добиться невероятной эффективности в сжатии хранимых данных [5].

Проведение эксперимента. Рассмотрим три типа хранилищ данных: реляционные базы данных (MySQL), документ-ориентированные базы данных (MongoDB), базы данных временных рядов (InfluxDB).

Для тестирования был сформирован следующий набор входных данных:

- один кадр моделирования состоит из 4 полей типа Float (16 Б);
- 2 000 кадров моделирования;
- 100 запусков исполнения модели;
- всего кадров моделирования 200 000.

Если подсчитать объем памяти, который необходим для хранения таких данных, то получим показатель в 4 МБ.

Для каждой системы хранения будут получены следующие показатели:

- время записи всех данных моделирования;
- среднее время выборки данных для одного запуска исполнения модели;
- общий объем, занимаемый системой для хранения всех данных моделирования.

Было разработано специальное демо-приложение, которое отвечает за генерацию тестовых входных данных указанного объема, записи и получения данных, а также за сбор необходимых показателей, определенных выше. Стоит отметить тот факт, что для получения корректных данных для сравнения, генерация тестовых данных проводилась однократно для одного запуска демо-приложения. Соответственно каждое тестируемое хранилище данных использовало одинаковый набор входных значений.

1. Реляционное хранилище данных (MySQL). Для хранения кадров моделирования была сформирована одна таблица, которая содержит всю необходимую информацию о результатах моделирования. Таблица содержит в себе следующий набор полей для хранения данных:
 - ExecutionId: Integer, Primary Key;
 - ColumnId: Integer, Primary Key;
 - TimeId: Integer, Key;
 - Value: Float.
2. Документ-ориентированное хранилище данных (MongoDB). Для хранения кадров моделирования была создана новая коллекция, в которой каждый кадр моделирования представлен отдельным документом. Представление документа состоит из следующих полей:
 - id: ObjectId;
 - ExecutionId: Integer, Index;
 - Time: Float, Index;
 - Values: Dictionary<String, Float>;
 - Key – ColumnName: String;
 - Value – Value: Float.
3. Хранилище временных рядов (InfluxDB). Для хранения данных в данном хранилище, используется иной подход для определения данных. InfluxDB может записывать определенные метрики, которые привязываются к конкретной метке времени, и может быть помечена любыми текстовыми метками. Метки являются индексами для

быстрого поиска. Соответственно можно построить следующую структуру данных для хранения результатов моделирования:

- Timestamp: long;
- Tags: ExecutionId;
- Metrics: Dictionary<string, object>;
- Key – ColumnName: String;
- Value – Value: Float.

Сравнение показателей баз данных. После нескольких запусков приложения для тестирования баз данных, были выбраны средние значения характеристик, результаты представлены в таблице.

Таблица. Сравнение характеристик баз данных

Хранилище данных	Время записи	Объем данных, МБ	Время выборки, мс
MongoDB	3,7 с	37	45
MySQL	12 мин	71	70
InfluxDB	3,2 ч	8	15

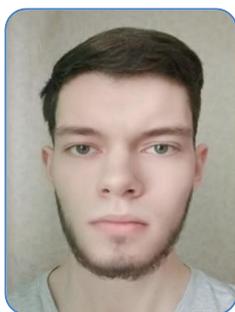
Анализируя полученные результаты, можно сказать, что InfluxDB является отличной базой данных для хранения результатов моделирования, т.е. предназначена для хранения данных привязанных к определенной метке времени и имеет встроенные механизмы оптимизации хранения таких данных. Видно, что время доступа к таким данным является наименьшим среди других представленных баз данных. Тем не менее, время, необходимое для записи такого объема данных, является большим. Для записи 200 000 кадров моделирования требуется 3,2 ч. В то же время как другие хранилища для записи такого объема данных требуют 12 мин (MySQL) и 3,7 с (MongoDB). InfluxDB не предназначена для записи большого потока данных одновременно. Базы данных такого плана предназначены для записи метрик с разных устройств с небольшой периодичностью, например, одна запись в 50–100 мс с одного подключения. В рамках задачи хранения результатов моделирования необходимо записать все значения одновременно. Если рассматривать оставшиеся базы данных, то наилучшие показатели оказались у документ-ориентированного хранилища – MongoDB. Данное хранилище наилучшим образом подходит для хранения результатов моделирования. Объем занимаемого пространства на диске сервера MongoDB в два раза меньше, чем при использовании MySQL. При этом скорость записи и чтения результатов моделирования из MongoDB также превосходят показатели MySQL.

Вывод. На основе полученных данных можно сделать вывод, что на данный момент лучшим решением для хранения результатов моделирования является документ-ориентированные хранилища данных. Однако хранилища временных рядов являются очень перспективной целью для дальнейшего изучения их алгоритмов хранения и сжатия данных для построения новой системы хранения данных, специализирующейся на хранении результатов моделирования системной динамики для обеспечения наилучших показателей.

Литература

1. Houghton J., Siegel M. Advanced data analytics for system dynamics models using PySD // Proceedings of the 33rd International Conference of the System Dynamics Society. – 2015. – V. 2. – P. 1436–1463.
2. Preventive and Predictive Maintenance [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.lce.com/pdfs/The-PMPdM-Program-124.pdf>, своб.

3. Perl I.A., Ward R. sdCloud: Cloud-based computation environment for System Dynamics models // System Dynamics Review. – 2016. – V. 32. – № 3-4. – P. 50–55.
4. Perl I., Mulyukin A., Kossovich T. Continuous Execution of System Dynamics Models on Input Data Stream // Proceeding of the 20th conference of FRUCT association. – 2017. – P. 371–376.
5. Pelkonen T., Franklin S., Teller J. Gorilla: A Fast, Scalable, In-Memory Time-Series Database // Proceedings of the VLDB Endowment. – 2015. – V. 8. – № 12. – P. 1816–1827.

**Осинкин Егор Александрович**

Год рождения: 1997

Университет ИТМО, факультет систем управления и робототехники, кафедра систем управления и информатики, студент группы № Р3335

Направление подготовки: 15.03.06 – Мехатроника и робототехника

e-mail: egoros97@yandex.ru

**Баев Пётр Альбертович**

Год рождения: 1997

Университет ИТМО, факультет систем управления и робототехники, кафедра систем управления и информатики, студент группы № Р3335

Направление подготовки: 15.03.06 – Мехатроника и робототехника

e-mail: petry322lol@gmail.com

**Зенкин Артемий Михайлович**

Год рождения: 1997

Университет ИТМО, факультет систем управления и робототехники, кафедра систем управления и информатики, студент группы № Р3335

Направление подготовки: 15.03.06 – Мехатроника и робототехника

e-mail: zenkinartem1997@gmail.com

УДК 004.93+004.942

МОНОКУЛЯРНЫЙ SLAM ДЛЯ ДРОНА**Осинкин Е.А.¹, Баев П.А.¹, Зенкин А.М.¹****Научный руководитель – к.т.н. Капитонов А.А.¹**¹Университет ИТМО

В работе рассмотрены основные этапы реализации алгоритма SLAM. Визуальная одометрия и картирование окружающей среды осуществляются посредством единственной камеры. Произведена оценка перемещения камеры между парами кадров, отрезки объединяются в траекторию. Ключевые точки, принадлежащие паре кадров, могут быть спроецированы в пространство для построения трехмерной карты местности.

Ключевые слова: компьютерное зрение, локализация, картирование, проективная геометрия, эпиполярная геометрия, feature-based SLAM.

На данный момент одной из сложнейших задач в области компьютерного зрения является задача одновременного картирования и локализации (Simultaneous Localization and Mapping). Она состоит из множества подзадач, которые в совокупности охватывают всю историю развития компьютерного зрения от сглаживания и фильтрации до сравнения изображений и геометрических преобразований. Большое количество операций, выполняемых над группами последовательных изображений, оказывают огромное влияние на быстродействие, поэтому большинство используемых традиционных алгоритмов нуждаются в оптимизации.

Облако точек, полученное в результате картирования, можно рассматривать как карту препятствий при планировании движения робототехнического устройства. Дрон,

выполняющий монокулярный SLAM, может быть использован для обследования опасных и труднодоступных мест [1]. Существует четыре основных способа решения задачи SLAM. По выбору оборудования их можно подразделить следующим образом:

1. RGBD SLAM – в качестве датчика используется RGBD-камера, которая получает информацию не только о цвете пикселей, но и об их удаленности, данный подход позволяет опустить этап триангуляции;
2. Stereo SLAM – картирование посредством пары камер, обобщенный случай RGBD SLAM, дополнительную сложность создает необходимость точной калибровки стереопары. При известной базе (фиксированном расстоянии между камерами) триангуляция выполняется сравнительно просто;
3. Monocular SLAM – SLAM с использованием одной камеры. К недостаткам можно отнести сложную калибровку, необходимость особой инициализации с целью определения масштабов окружающей среды, большой дрейф и, как правило, низкую плотность облака точек. Оптимизация такой карты осложняется неточной триангуляцией и малым количеством точек. Главным достоинством является универсальность (может быть реализован на любом устройстве с камерой, включая смартфон);
4. CNN SLAM [2] – SLAM, основанный на сверточных нейронных сетях (Convolutional Neural Networks). Позволяет построить плотную и полуплотную карты на основании последовательности изображений с одной камеры (как и монокулярный SLAM).

Монокулярный SLAM является наиболее оптимальным решением для дрона (рассматривается модель Parrot ARDrone 2.0), так как не требует установки дополнительной камеры или замены существующей. Изменение конфигурации дрона, в свою очередь, может повлечь изменения в его динамике.

Алгоритм SLAM включает в себя целый ряд подзадач, в его основе лежит отслеживание перемещения камеры между кадрами, которое находится в виде матриц поворота и смещения. Значения этих матриц необходимо найти с высокой точностью, однако этому препятствуют шумы на изображении, а также линзовые искажения – радиальная дисторсия. Для исправления кривизны изображения выполняется оценка внутренних параметров камеры: координат центра, фокального расстояния и коэффициентов дисторсии. Затем на основе внутренних параметров камеры производится нормализация изображения, в результате которой искривленные линии выправняются.

Для оценки перемещения камеры между кадрами сначала необходимо найти некоторое количество ключевых точек, принадлежащих каждому изображению. Ключевыми точками, как правило, являются вершины углов. Среди всех алгоритмов поиска ключевых точек в задачах SLAM и SfM (Structure from Motion) наиболее часто применяются следующие:

1. FAST – простейший и в то же время крайне эффективный алгоритм:
 - 1.1. рассматривается окружность из 16 пикселей вокруг точки P ;
 - 1.2. точка является угловой, если существует N смежных пикселей на окружности, интенсивности в которых больше или меньше $I_p - t$, где t – пороговое значение;
 - 1.3. первыми проверяются интенсивности точек 1, 5, 9, 13, Если условие (1.2) выполняется для этих точек, проводится полный тест.
2. ORB [3] – объединяет в себе детектор ключевых точек FAST и бинарный дескриптор BRIEF, который попарно сравнивает значения яркостей некоторого подмножества точек в окрестности p . Если первая в паре точка обладает большей яркостью в строку, то записывается единица, иначе ноль.
3. SIFT – основан на поиске разности Гауссианов (изображений размытых фильтром Гаусса). В результате вычитания изображений с разной степенью размытия пиксели, принадлежащие границам объектов на изображении, сохраняют наибольшую интенсивность. Главным достоинством этого метода является высокая

робастность, однако в то же время этот метод является самым ресурсоемким и непреодолен для использования в реальном времени.

На последовательных нормализованных изображениях попарно производится поиск и сравнение ключевых точек. В результате поиска, как правило, появляется некоторый процент ложных соответствий, которые фильтруются в два этапа. Независимая от геометрии фильтрация заключается в проверке условия, что наилучшее соответствие из первого изображения во второе должно совпадать с наилучшим соответствием из второго в первое. Второй этап – фильтрация по эпиполярному ограничению: точки, лежащие на одной прямой на первом изображении, также лежат на некоторой прямой на втором изображении. Сопоставив ключевые точки в двух последовательных кадрах, найдем матрицы поворота и смещения, для этого необходимо знать существенную матрицу \mathbf{E} размерностью 3×3 такую, что $(x_1')^T \mathbf{E} x_2' = 0$, где x_1' и x_2' – нормализованные однородные координаты одной точки (рис. 1) в двух последовательных кадрах. Наиболее эффективным с точки зрения производительности и робастности является пятиточечный [4] алгоритм поиска матрицы \mathbf{E} . Матрицы поворота \mathbf{R} и смещения \mathbf{t} получаются путем сингулярного разложения \mathbf{E} .

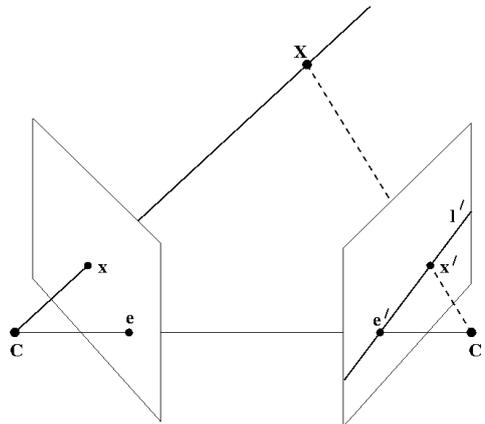


Рис. 1. Точка, наблюдаемая из двух положений камеры

Примем, что в начальный момент времени вращение и смещение отсутствуют, таким образом, матрица \mathbf{R}_0 является единичной матрицей 3×3 , а $t_0 = [0 \ 0 \ 0]^T$. Перемещение камеры между кадрами записывается как $R_i = R \cdot R_{i-1}$, $t_i = t_{i-1} + R \cdot t$, $i = 1, 2, \dots, n$.

Визуальная одометрия, основанная на алгоритмах FAST и ORB, была протестирована на наборе данных «KITTI odometry data set». Набор данных представляет собой последовательность изображений, снятых с камеры, закрепленной на автомобиле.

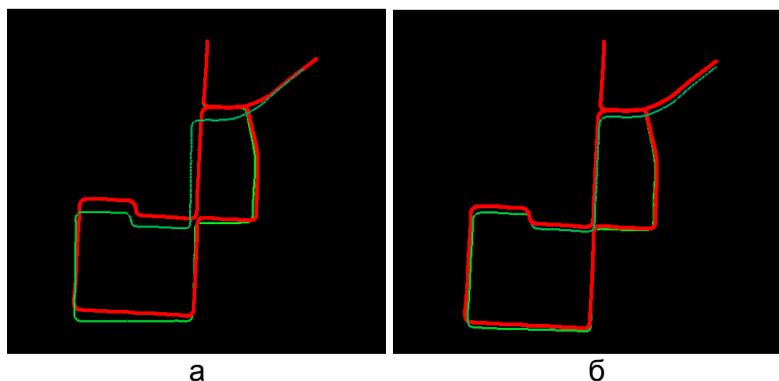


Рис. 2. Красным цветом обозначена истинная траектория, зеленым – траектория на основе визуальной одометрии с использованием сочетаний ORB (а) и FAST (б)

В ходе отслеживания траектории камеры, которая определяет положение дрона в пространстве, неизбежно накапливается ошибка (рис. 2). В случае, когда известны данные с других датчиков, таких как гироскоп и акселерометр, для устранения ошибки применяется фильтр Калмана.

Другим способом борьбы с дрейфом является закрытие циклов [5], т.е. корректировка карты, когда робот обнаруживает себя в ранее посещенном месте. Для отслеживания таких мест используется метод визуальных слов, т.е. за каждым участком траектории закрепляется набор дескрипторов, хранящих информацию о ключевых точках, которые наблюдает дрон. Если число совпадений между дескрипторами текущего кадра и одного из предшествующих достаточно велико, то предполагается, что камера наблюдает ранее посещенную точку или находится вблизи таковой. Для построения карты выполняется триангуляция всех видимых ключевых точек, которые добавляются к локальному облаку точек, через несколько итераций локальная карта присоединяется к глобальной.

Литература

1. Wang X.B. et al. Obstacles Avoidance for UAV SLAM Based on Improved Artificial Potential Field // *Applied Mechanics and Materials*. – 2013. – V. 241-244. – P. 1118–1121.
2. Tateno K., Tombari F., Laina I. and Navab N. CNN-SLAM: Real-time dense monocular slam with learned depth prediction [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://openaccess.thecvf.com/content_cvpr_2017/papers/Tateno_CNN-SLAM_Real-Time_Dense_CVPR_2017_paper.pdf, своб.
3. Rublee E., Rabaud V., Konolige K. and Bradski G. ORB: An efficient alternative to SIFT or SURF // *International Conference on Computer Vision*. – 2011. – P. 2564–2571.
4. Li H. and Hartley R. Five-Point Motion Estimation Made Easy // *18th International Conference on Pattern Recognition*. – 2006. – P. 630–633.
5. Ho K.L., Newman P. Loop closure detection in SLAM by combining visual and spatial appearance // *Robotics and Autonomous Systems*. – 2006. – V. 54. – № 9. – P. 740–749.



Пелин Виталий Олегович

Год рождения: 1995

Университет ИТМО, факультет программной инженерии и компьютерной техники, кафедра информатики и прикладной математики, студент группы № Р3417

Направление подготовки: 09.03.04 – Разработка программно-информационных систем

e-mail: pelinvo@gmail.com



Акпаралиев Нурбек Акпараливич

Год рождения: 1995

Университет ИТМО, факультет программной инженерии и компьютерной техники, кафедра информатики и прикладной математики, студент группы № Р4117

Направление подготовки: 09.04.04 – Программная инженерия

e-mail: n.akparaliev@gmail.com



Исаев Илья Владимирович

Год рождения: 1991

Университет ИТМО, факультет программной инженерии и компьютерной техники, кафедра информатики и прикладной математики, аспирант

Направление подготовки: 09.06.01 – Информатика и вычислительная техника

e-mail: ivisaev@corp.ifmo.ru

УДК 004.852

ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ АНАЛИЗ АЛГОРИТМОВ ОПТИМИЗАЦИИ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ЗАДАЧ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ

Пелин В.О.¹, Акпаралиев Н.А.¹

Научный руководитель – аспирант Исаев И.В.¹

¹Университет ИТМО

В работе рассмотрены алгоритмы оптимизации искусственных нейронных сетей. Произведен анализ рассмотренных алгоритмов, их преимущества и недостатки. Выбран оптимальный алгоритм оптимизации нейронных сетей.

Ключевые слова: алгоритмы оптимизации, искусственные нейронные сети, стохастический градиентный спуск, Nesterov Accelerated Gradient, AdaGrad, RMSProp, AdaDelta, Adam.

Введение. Градиентный спуск известен, как один из наиболее популярных алгоритмов оптимизации и наиболее распространенным способом для обновления весов искусственных нейронных сетей (ИНС). В работе приведен анализ некоторых алгоритмов оптимизации на основе градиентного спуска.

При использовании в проекте ИНС уделяется много внимания выбору применяемой модели сети: будет ли применяться сеть прямого распространения (СПР), или, может быть, рекуррентная нейронная сеть (РНС), сколько будет слоев и сколько нейронов в слое. Меньшего внимания удостоиваются методы оптимизации, используемые для обучения. Эти алгоритмы воспринимаются как черный ящик, потому что внутреннее устройство и механизм их работы сложны и требуют некоторой математической подготовки для понимания.

Поэтому выбор способа обучения происходит на основе прошлого опыта использования, а не на основе разумной оценки. При этом в процессе разработки для улучшения результатов применяемый метод может меняться, что увеличивает издержки как временные, так и денежные.

Цель исследования. Провести исследовательский анализ алгоритмов оптимизации ИНС.

Задачи исследования:

1. исследование алгоритмов оптимизации ИНС;
2. обзор искусственных нейронных сетей;
3. сравнение алгоритмов;
4. оценка и составление сравнительной таблицы.

Данное исследование проводилось, в том числе для определения метода оптимизации нейронной сети для прогнозирования с учетом исторического контекста, в рамках предметной области автоматизации мониторинга и управления процессом разработки программного обеспечения с использованием искусственных нейронных сетей.

Задача градиентного спуска и других алгоритмов оптимизации – минимизация целевой функции $f(\theta_{t-1})$ (функции ошибки). Обновление весов сети происходит в обратном градиента направлении, потому что он указывает в сторону роста ошибки. Скорость обучения определяет размер шага, совершаемого для достижения локального минимума.

Веса связей – переменные в $f(\theta_{t-1})$, благодаря этому можно строить способные решать сложные задачи нейронные сети. При этом возникают следующие проблемы:

- не все параметры встречаются одинаково часто, поэтому они могут обновляться реже, эта ситуация возникает, если присутствуют редкие несущие много информации признаки;
- в некоторых случаях целевая функция имеет сложный ландшафт, когда плато может чередоваться с сильной нелинейностью в некоторых регионах; при этом градиент на плато стремится к нулю, а при обрыве – шаг будет слишком большим, что затруднит процесс минимизации;
- алгоритм может застрять в локальном минимуме или в одной из седловых точек, которые часто встречаются для функции с большого числа весов;
- величина скорости обучения также влияет на сходимость, если она слишком мала – алгоритм будет сходиться долго, слишком велика – из-за большого размера шага алгоритм может пропустить глобальный минимум; эта проблема особенно актуальна для случаев, когда нужно точно определять скорость обучения, в случаях, когда достаточно примерного значения и точность не так важна, эта проблема встречается реже.

Рассмотрим подробнее стохастический градиентный спуск (Stochastic Gradient Descent, SGD):

$$g_t \equiv \nabla_{\theta_{t-1}} \times f_t(\theta_{t-1}),$$

$$\theta_t = \theta_{t-1} - \alpha_t \times g_t,$$

где θ_t – состояние сети на момент времени t ; $\nabla_{\theta_{t-1}}$ – градиент; $f_t(\theta_{t-1})$ – стохастическая целевая функция (функция потерь); α_t – скорость обучения (размер шага).

Метода Нестерова. Для описания метода Нестерова (Nesterov Accelerated Gradient, NAG) рассмотрим следующий пример: шар катится по склону, если он движется, например, вправо некоторое время, он продолжит свое движение в этом направлении после изменения склона. NAG накапливает импульс, используя недавние

изменения [1]. Для этого используется экспоненциальное скользящее среднее. Так как известно, что момент v_t используется для перемещения, можно вычислить функцию с учетом этого:

$$\begin{aligned} v_t &= \gamma \times v_{t-1} + (1 - \gamma) \times \alpha \times \nabla_{\theta} \times f(\theta_{t-1} - \gamma \times v_{t-1}), \\ \theta_t &= \theta_{t-1} - v_t, \end{aligned}$$

где v_t – момент (экспоненциальное скользящее среднее); γ – сглаживающая константа.

При увеличении γ – сглаживание сильнее и наоборот. А если $\nabla_{\theta} = 0$, v_t начнет затухать по экспоненте. При уменьшении γ , NAG ведет себя как SGD.

Таким образом, этот алгоритм, заглядывая вперед, вычисляет градиент в точке $\theta_{t-1} - \gamma \times v_{t-1}$.

Если производная будет расти в направлении движения, размер шага будет больше и наоборот. При слишком большом сглаживании начинает промахиваться мимо областей, в которых градиент имеет противоположный знак.

1. AdaGrad. В AdaGrad используется следующий принцип: если мы часто обновляем определенные параметры, необходимо уменьшить величину изменения. Эта идея нашла применение, потому что некоторые значения признаков могут нести больше информации и встречаться редко. Типичность признаков в таком случае влияет на результат.

Формула примет вид:

$$\begin{aligned} G_t &= G_t + g_t^2, \\ \theta_t &= \theta_{t-1} - \frac{\alpha}{\sqrt{G_t + \epsilon}} \times g_t, \end{aligned}$$

где G_t – сумма квадратов обновлений; ϵ – параметр сглаживания.

Знаменатель будет расти при частом обновлении одинаковых параметров.

Во время использования Adagrad не обязательно точно выбирать скорость обучения [2]. Когда величина обновлений не велика, алгоритм может парализовать, так как G_t может расти без ограничений.

2. RMSProp. Root Mean Square Propagation впервые был опубликован Джеффом Хинтоном не в научном издании, а в Лекции по машинному обучению на Coursera [3].

В то же время он реализован в библиотеках глубокого обучения [4]. Этот метод создавался для применения на небольших группах данных (mini-batches).

Чтобы избежать взрыва градиента, необходимо увеличить размер шага, и наоборот, уменьшить, чтобы градиент не затух. Во время вычисления будем использовать усредненный g_t^2 :

$$\begin{aligned} E[g^2]_t &= \gamma \times E[g^2]_{t-1} + (1 - \gamma) \times g_t^2. \\ \text{RMS}[g]_t &= \sqrt{E[g^2]_t + \epsilon}. \\ \theta_t &= \theta_{t-1} - \frac{\alpha}{\text{RMS}[g]_{t-1}} \times g_t. \end{aligned}$$

Этот алгоритм получил такое название, потому что выражения в знаменателе. Автор предлагает использовать 0,9 для γ и 0,001 для α .

Применяемый в RMSProp подход стабилизирует процесс обучения, что позитивно сказывается на сходимости.

3. AdaDelta. Этот алгоритм улучшает идеи, реализованные в AdaGrad, так как размер изменения опускается лишь до определенного уровня, а не до нуля [2]. Это решает проблему паралича алгоритма. Масштабируя размер шага на основе истории градиента, принимаем во внимание только значения в определенном окне, а не на всех исторических данных

Вычисление AdaDelta:

$$\begin{aligned} E[\Delta\theta^2]_t &= \gamma \times E[\Delta\theta^2]_{t-1} + (1 - \gamma) \times \Delta\theta_t^2. \\ \text{RMS}[\Delta\theta]_t &= \sqrt{E[\Delta\theta^2]_t + \epsilon}. \end{aligned}$$

$$\Delta\theta_t = -\frac{\text{RMS}[\Delta\theta]_{t-1}}{\text{RMS}[g]_t} \times g_t.$$

$$\theta_t = \theta_{t-1} + \Delta\theta_t.$$

Для этого алгоритма, как и для RMSProp не нужно точно выбирать величину скорости обучения. Авторы предлагают брать для ϵ значение 10^{-6} .

4. Adam. Adam использует накопление движения и идею обновления признаков, которые являются типичными. Свое название (Adaptive Moment Estimation) этот алгоритм получил, потому что он оценивает первый момент (среднюю величину) и второй момент (дисперсию):

$$m_t = \beta_1 \times m_{t-1} + (1 - \beta_1) \times g_t.$$

$$v_t = \beta_2 \times v_{t-1} + (1 - \beta_2) \times g_t^2.$$

$$\hat{m}_t = \frac{m_t}{1 - \beta_1^t}.$$

$$\hat{v}_t = \frac{v_t}{1 - \beta_2^t}.$$

$$\theta_t = \theta_{t-1} - \frac{\alpha \times \hat{m}_t}{\sqrt{\hat{v}_t} + \epsilon}.$$

В данной работе предлагаются следующие значения:

- $\beta_1 = 0,9$;
- $\beta_2 = 0,999$;
- $\epsilon = 10^{-8}$.

Также авторы приводят доказательства лучшей сходимости по сравнению с другими алгоритмами на нескольких областях применениях [5].

Заключение. В работе были рассмотрены алгоритмы оптимизации нейронных сетей. Среди них наиболее подходящим является Adam, так как дает лучший результат при отсутствии необходимости точно подбирать параметры. Поэтому он стал одним из наиболее популярных алгоритмов оптимизации среди специалистов по машинному обучению. Ключевой момент – соединение подходов NAG и AdaGrad, AdaDelta и RMSProp.

Литература

1. Nesterov Y. A method for unconstrained convex minimization problem with the rate of convergence $o(1/k^2)$ // Doklady ANSSSR. – 1983. – V. 269. – P. 543–547.
2. Duchi J., Hazan E. & Singer Y. Adaptive Subgradient Methods for Online Learning and Stochastic Optimization // Journal of Machine Learning Research. – 2011. – V. 12. – P. 2121–2159.
3. Neural Networks for Machine Learning Lecture 6e rmsprop: Divide the gradient by a running average of its recent magnitude [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.cs.toronto.edu/~tijmen/csc321/slides/lecture_slides_lec6.pdf, своб.
4. rmsprop – climin 0.1 documentation [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://climin.readthedocs.io/en/latest/rmsprop.html#tieleman2012rmsprop>, своб.
5. Kingma D.P. & Ba J.L. Adam: a Method for Stochastic Optimization // International Conference on Learning Representations. – 2016. – V. 53. – P. 1–13.

**Питерсков Павел Павлович**

Год рождения: 1993

Балтийский государственный технический университет «Военмех» им. Д.Ф. Устинова, факультет «Е» оружие и системы вооружения, кафедра Е1 «Стрелково-пушечное, артиллерийское и ракетное оружие», студент группы № Е1М21

Направление подготовки: 15.04.03 – Прикладная механика

e-mail: piterskov@mail.ru

Побирохин Геннадий Сергеевич

Год рождения: 1988

ООО «РОСНА Инжиниринг НТ»

e-mail: gennady.pobirokhin@rosna.spb.ru

УДК 004.356.4**3D-ПЕЧАТЬ КЕРАМИКОЙ. ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ. МЕТОДЫ.****Питерсков П.П.¹, Побирохин Г.С.²****Научный руководитель – Побирохин Г.С.²**¹Балтийский государственный технический университет «Военмех» им. Д.Ф. Устинова, Санкт-Петербург; ²ООО «РОСНА Инжиниринг НТ», Санкт-Петербург

В работе проведено исследование и анализ основных свойств керамики как материала, рассмотрены основные технологии 3D-печати керамикой, проведено сравнение технических характеристик, преимуществ и недостатков основных методов печати.

Ключевые слова: 3D-печать керамикой, SLA-технология, DLP-технология, аддитивные технологии, стереолитография.

3D-печать керамических изделий – это одно из наиболее перспективных направлений аддитивных технологий, которое активно развивается в последние несколько лет. Использование аддитивных технологий при производстве керамических изделий имеет ряд особенностей и преимуществ, изложенных ниже.

Керамика – это поликристаллические материалы и изделия из них, состоящие из соединений неметаллов III–VI групп периодической системы с металлами или друг с другом и получаемые путем формования и обжига соответствующего исходного сырья. Исходным сырьем могут служить как вещества природного происхождения (силикаты, глины, кварц и др.), так и искусственного (чистые оксиды, карбиды, нитриды и др.).

Промышленная керамика, получаемая при помощи традиционного формования или трехмерной печати, используется в таких областях как авиакосмическая промышленность, автомобилестроение, медицина, электроника, ювелирная, атомная промышленность, а также литье по выплавляемым моделям и других сферах, требующих высокой точности геометрии и высоких физико-механических свойств конечного изделия [1].

Основной целью исследования являлся поиск наиболее оптимальной технологии 3D-печати керамикой для печати деталей сложного профиля с высокими требованиями к точности и шероховатости поверхности.

Типовой аддитивный процесс для керамических материалов состоит из этапа 3D-печати фоточувствительным материалом, удаления связующего и спекания керамической заготовки. В 3D-принтере производится послойное построение заготовки детали на базе рабочей пасты с вязкостью 2000–4000 Па·с, которая состоит из смеси основного керамического порошка субмикронного размера и связующего фоточувствительного полимера. Керамический порошок состоит из мелкодисперсных гранул сферической формы размером 0,4–0,6 мкм, что в конечном итоге позволяет

получить высокую точность и качество поверхности детали. После процесса печати из заготовки необходимо извлечь связующий полимер посредством выпаривания в печи при температуре до 1200°C в течение 10–14 ч. Финальная геометрия и физико-механические свойства формируются в процессе диффузионного сплавления гранул посредством спекания в отдельной печи при температуре до 1600°C в течение 12–24 ч, присутствует равноосная усадка 25–35%.

Множество аддитивных технологий в разрезе 3D-печати керамикой можно разделить на методы лазерной стереолитографии (SLA) и методы послойного затвердевания (DLP).

Лазерная стереолитография (SLA) – технология 3D-печати, основанная на послойном отверждении жидкого материала под действием постепенного перемещения луча лазера по контуру. В емкость с жидким рабочим материалом помещается сетчатая платформа, на которой будет происходить выращивание заготовки. Изначально платформа устанавливается на такой глубине, чтобы ее покрывал тончайший слой вещества, толщиной около 0,02–0,1 мм, по сути, это и есть толщина слоя в лазерной стереолитографии. Далее лазер, последовательно воздействует на участки рабочего материала, вызывая затвердевание фоточувствительного полимера по контуру слоя детали. После этого вся платформа погружается ровно на один слой, т.е. на глубину 0,02–0,1 мм. Как и многие другие методы 3D-печати, SLA требует построения поддерживающих структур, которые вручную удаляются по завершении печати [2]. Общий принцип печати по методу SLA показан на рис. 1.

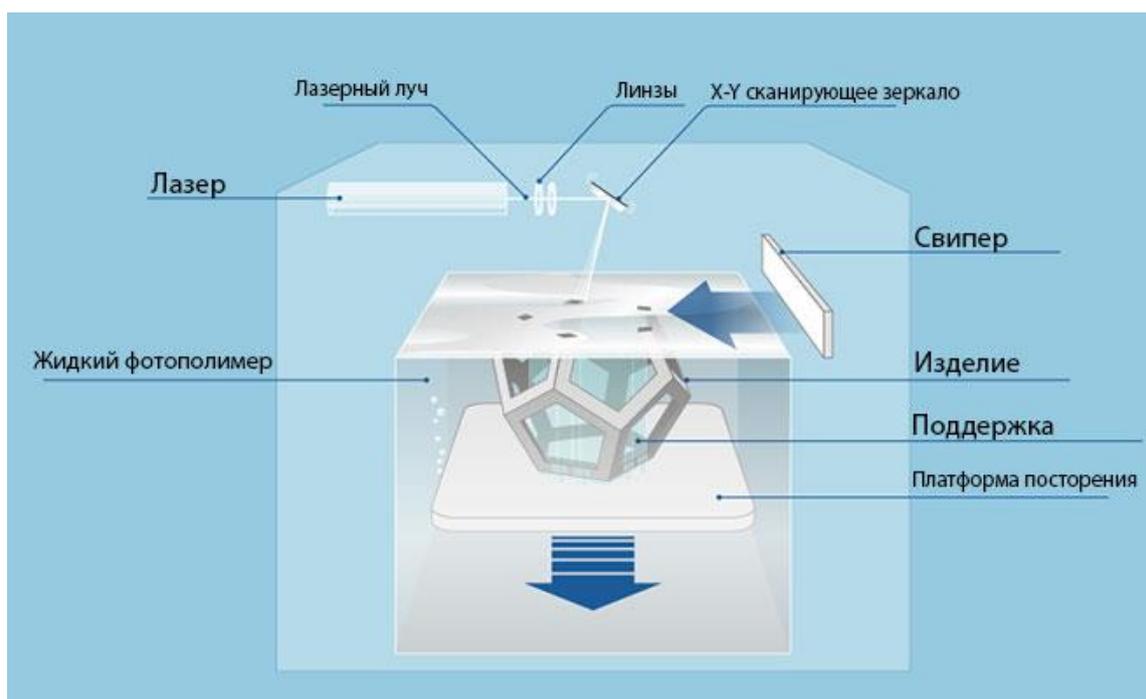


Рис. 1. Принцип 3D-печати по технологии SLA

Метод 3D-печати DLP – альтернативный метод SLA, использует вместо лазерных установок светодиодные проекторы, которые значительно снижают стоимость 3D-принтеров. В отличие от метода SLA, при котором сканирование поверхности материала по контуру детали производится лучом от одной или нескольких головок, DLP-3D-принтеры проецируют и проводят затвердевание целого слоя фоточувствительного полимера, после чего аналогично наносятся последующие слои материала [3]. Общая схема принтера, печатающего по методу DLP, представлена на рис. 2.

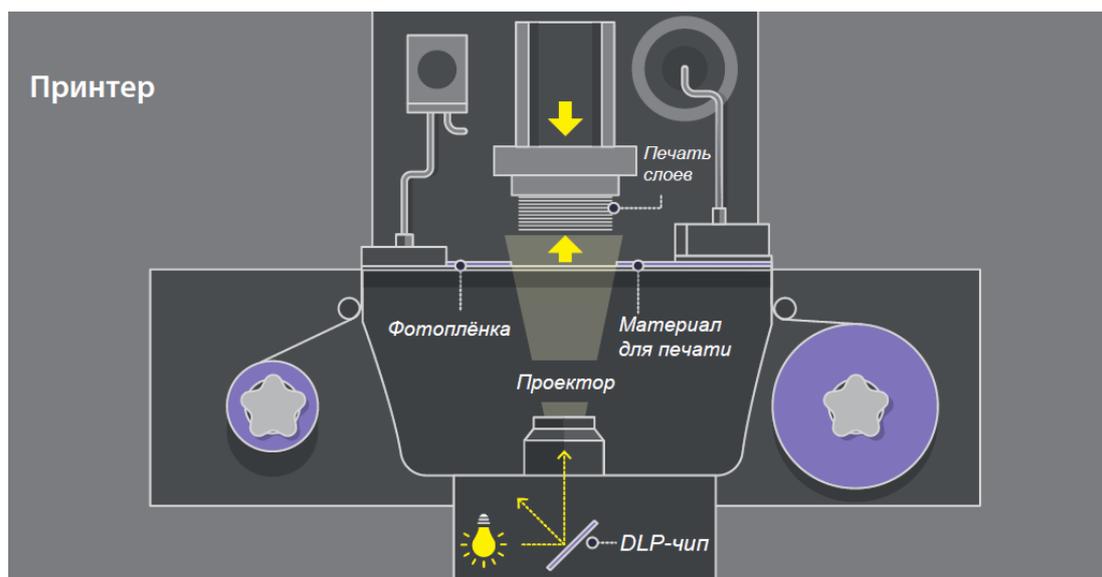


Рис. 2. Принцип 3D-печати по технологии DLP

Преимущества метода DLP в сравнении с технологией SLA [4]:

- высокая скорость печати до 20–25 мм/ч;
- высокая точность печати (до 10 мкм);
- низкая шероховатость поверхности (до Ra 0,08–0,16 мкм);
- ниже капитальные и эксплуатационные затраты;
- более простая и экономичная очистка изделия после печати;
- возможность повторного использования до 99% рабочего материала;
- меньше необходимость в построении поддерживающих структур;
- возможность печати комбинированных материалов.

Недостатки метода DLP в сравнении с технологией SLA:

- меньшее поле печати;
- требуется активная термостабилизация;
- более чувствителен к влажности помещения.

Все множество современных 3D-принтеров для печати керамикой имеет схожие проблемы, в частности – ограничение по габаритам рабочей зоны (максимальные размеры рабочей зоны имеет принтер компании 3DCERAM – 300×300×100 мм). Данное ограничение значительно сокращает области применения технологии. Другим не менее важным аспектом является разнообразие материалов, применяемых для печати. Основными материалами у большинства производителей являются оксид алюминия, оксид циркония и диоксид кремния. Данные материалы не могут решить все множество имеющихся задач, однако, для начала исследования, опытных работ и поиска наиболее подходящей технологии печати данных материалов вполне достаточно.

В ходе анализа технологий не выявлено явного преимущества одной технологии над другой. Ввиду этого требуется проведение тестовых работ на принтерах, представляющих каждую из методик печати.

Использование методов 3D-печати керамикой благодаря очевидным преимуществам (уменьшение количества этапов производства, снижение затрат, печать изделий сложной геометрии, высокая точность печати и др.) имеет большие перспективы развития и применения в современных типах производства. Использование аддитивных технологий позволит увеличить уровень автоматизации и гибкости производства. Более низкая стоимость технологической цепочки оборудования позволяет снизить затраты на подготовку производства и сократить срок амортизации [5–7].

Литература

1. Матренин С.В., Слосман А.И. Техническая керамика. Учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2004. – 75 с.
2. SLA (лазерная стереолитография) – технология 3D-печати [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://3d.globatek.ru/3d_printing_technologies/sla/ (дата обращения: 10.04.2018).
3. DLP – высокие показатели точности печати [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.3d-format.ru/technologies/dlp/> (дата обращения: 10.04.2018).
4. About the ADMAFLEX technology [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://admateceurope.com/> (дата обращения: 10.04.2018).
5. 6 Things You Need To Know About Ceramic 3D Printing [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.fabbaloo.com/blog/2016/6/7/6-things-you-need-to-know-about-ceramic-3d-printing> (дата обращения: 10.04.2018).
6. Gibson I., Rosen D., Stucker B. Additive Manufacturing Technologies 3D Printing, Rapid Prototyping, and Direct Digital Manufacturing. – Second Edition. – New York: Springer-Verlag, 2015. – 498 p.
7. Berman B. 3-D printing: The new industrial revolution // Business Horizons. – 2012. – V. 55. – P. 155–162.

**Полюга Николай Любомирович**

Год рождения: 1993

Университет ИТМО, факультет систем управления и робототехники, кафедра электротехники и прецизионных электромеханических систем, аспирант

Направление подготовки: 09.06.01 – Информатика

и вычислительная техника

e-mail: van-der-gan@mail.ru

Мухамбедьяров Бекбол Бокейханович

Год рождения: 1993

Университет ИТМО, факультет систем управления и робототехники, кафедра электротехники и прецизионных электромеханических систем, аспирант

Направление подготовки: 09.06.01 – Информатика и вычислительная техника

e-mail: space_line93@mail.ru

Ловлин Сергей Юрьевич

Год рождения: 1987

Университет ИТМО, факультет систем управления и робототехники, кафедра электротехники и прецизионных электромеханических систем, к.т.н., доцент

e-mail: seri-1@yandex.ru

УДК 629.3.016

**МЕТОДЫ СНИЖЕНИЯ ПОТЕРЬ ЭНЕРГИИ В ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ
ЭСКАЛАТОРА****Полюга Н.Л.¹, Мухамбедьяров Б.Б.¹, Ловлин С.Ю.¹
Научный руководитель – к.т.н., доцент Ловлин С.Ю.¹
¹Университет ИТМО**

В работе проанализированы возможные методы снижения потерь в электроприводе тоннельного эскалатора метрополитена, а именно: в двигателе, в редукторе и в силовых преобразователях. Для снижения потерь в редукторе возможно применить следующий метод: оптимальное расположение торца зуба на выходе контакта для снижения трения между зубьями, также безредукторный привод является возможной альтернативой редукторному. Для снижения потерь в двигателе возможно применение модифицированных алгоритмов частотного управления, в результате чего потери энергии в двигателе уменьшаются при моменте сопротивления, значительно меньшем номинального момента сопротивления двигателя (приблизительно 10% от номинального и выше). Для снижения потерь в силовом преобразователе на стороне питающей сети возможно применить другие топологии преобразователя, например: трехуровневый преобразователь с общей нейтралью, трехуровневый преобразователь Т-типа.

Ключевые слова: электропривод, эскалатор, энергопотребление, потери энергии, стоимость, метрополитен, выпрямитель, рекуператор, частотное управление.

Введение. В наши дни активно решаются проблемы по улучшению экологической обстановке в мире. Все чаще применяется добыча электрической энергии из возобновляемых источников энергии, транспорт постепенно оснащают электрическими двигателями. Также решаются проблемы по неэффективной трате энергии, т.е. выполняются задачи, связанные со снижением потерь энергии в различных устройствах. В данной работе рассмотрены методы снижения потерь энергии, повышение коэффициента полезного действия (КПД) электропривода тоннельного эскалатора. В последние годы проходит модернизация эскалаторного оборудования в метрополитене. Релейно-контакторные системы заменяются на

частотно-регулируемые системы с логикой работы на программируемом логическом контроллере (ПЛК). Такая система включает в себя выпрямитель/рекуператор, управляемый инвертор, фильтр, ПЛК. Потери в электроприводе подразделяются на: потери мощности в электродвигателе (43%), потери энергии в редукторе (45%), потери в силовой электронике (12%). Потери в двигателе возникают из-за того, что она в основном работает в недогруженном режиме. Потери в редукторе имеют место быть из-за трения между зубьями колес, трения в подшипниках и разбрызгивания, и размешивания масла. В силовых преобразователях потери энергии возникают из-за потерь в полупроводниковых элементах.

Потери энергии в редукторе. Редуктор на главном валу тоннельного эскалатора – это самая массогабаритная и дорогая часть электропривода эскалатора. Он имеет литой или сварной корпус, в котором размещены цилиндрические шестерни. Шестерни снабжены валами, установленными на подшипниках. Смазывание шестерен осуществляется маслом, залитым в корпус до нужного уровня [1].

КПД редуктора на валу эскалатора равен 93,5%. Номинальный коэффициент полезного действия двигателя, применяемого в тоннельных эскалаторах, составляет 92,6%, отсюда номинальный КПД системы редуктор-двигатель равен 86,5%. Одним из способов снижения потерь в редукторе является модернизация самого редуктора. Также возможно применение безредукторного электропривода.

Научно-техническим центром (НТЦ) «Редуктор» разработана технология оптимального расположения торца зуба контакта на выходе (рис. 1) для снижения трения между зубьями, применение которой позволяет повысить коэффициент полезного действия на 3–8%. КПД разработанного данным НТЦ редуктора ЦЗНШ-450М-40 достигает 95%, однако, максимально-допустимый момент на выходном валу данного редуктора равен 40 кН·м, частота вращения 1500 об/мин. Стандартные редукторы с аналогичными характеристиками имеют КПД около 92%.

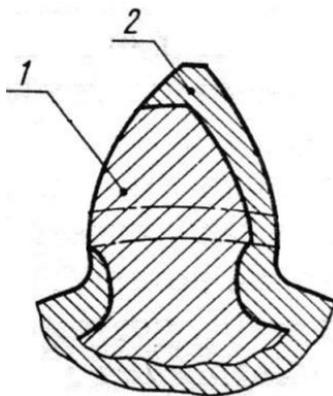


Рис. 1. Формы зубьев: 1 – стандартная форма; 2 – модифицированная форма

Безредукторные привода все активнее применяются в транспорте. Сейчас решения с приводом без редуктора активно применяются для приводов лифтов. Компаниями АВВ и Metso спроектировали безредукторный привод мельницы. Также имеются разработки для приводов в колесном и рельсовом пассажирском транспорте [2].

Предприятиями НПК «Энергодвижение» и ООО «Альфа-Механика» разработана конструкция и макет безредукторного привода эскалатора (рис. 2). Работы над двигателем продолжаются и сегодня. Расчетные величины данного изделия: номинальная мощность шагового высокомоментного электродвигателя составляет 200 кВт, номинальная частота вращения – 10 об/мин, номинальный КПД – 88%, номинальный момент – 200 кН·м, диаметр статора – 5 м. Сам двигатель является двухфазным.

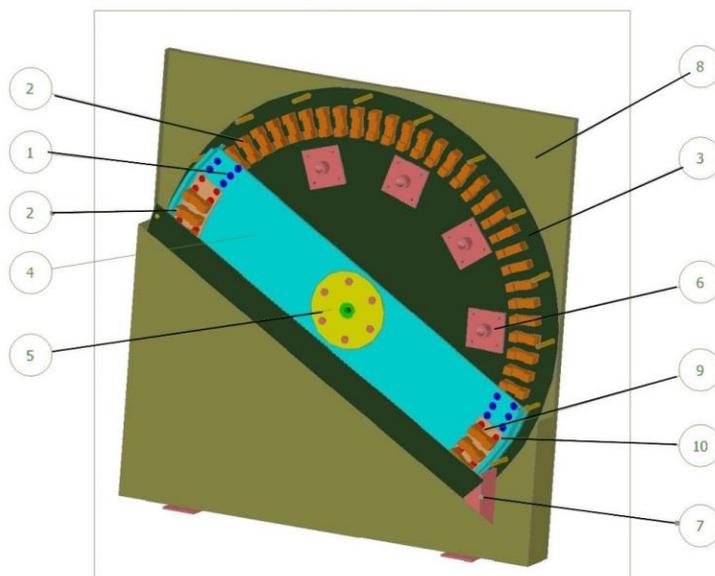


Рис. 2. Общий вид двигателя: 1 – постоянные магниты ротора; 2 – электромагниты статора; 3 – корпус статора; 4 – диск с «матрицей»; 5 – подшипниковый узел; 6 – шаровые опоры; 7, 8 – часть корпуса; 9 – прорези дисков; 10 – наконечники из магнитомягкого материала

Как и двигатель с редуктором, данный двигатель имеет свойство самоторможения при отказе электрооборудования или отключения питающей сети за счет взаимодействия между постоянными магнитами ротора и стальными частями статора за счет вихревых токов. В двигателе с редуктором данное свойство проявляется за счет редуктора. Номинальный коэффициент полезного действия данного высокомоментного двигателя на 1,5% выше КПД системы редуктор-двигатель, применяемой сегодня в тоннельных эскалаторах.

Потери энергии в двигателе. В электродвигателе при снижении момента нагрузки ниже номинального увеличиваются потери в двигателе, и снижается его КПД. Номинальная масса пассажиров для тоннельного эскалатора составляет 35 т. Момент нагрузки при номинальной загруженности эскалатора равен 50% от момента номинального, потому что при выборе приводного двигателя его мощность берется с двукратным запасом для обеспечения пуска эскалатора с предельной нагрузкой. По причине этого двигатель в основном работает в недогруженном режиме, что снижает его КПД, следовательно, увеличиваются потери. Применяемые сейчас алгоритмы частотного управления: векторное и скалярное, не снижают потери мощности при нагрузке ниже номинальной.

В данной работе проанализированы три алгоритма частотного управления, повышающие КПД двигателя на нагрузке, ниже номинальной: скалярное управление с блоком вычисления минимальной мощности (ММ) потерь, векторное управление с блоком вычисления ММ потерь [3], векторное управление с нейросетевым регулятором на основе радиально-базисных функций (РБФ) [4]. В первом алгоритме вычисление ММ потерь выполняется соответствующим блоком, расположенным параллельно блоку скалярного управления. Входами блока вычисления ММ потерь являются скорость вращения магнитного потока ротора и электромагнитный момент. Выход – оптимальное значение индекса модуляции, которое умножается на величину соотношения V/f . Во втором из рассматриваемых алгоритмов блок вычисления ММ потерь расположен перед контуром магнитного потока. Выходом упомянутого блока является оптимальное значение тока намагничивания, при этом величина тока задания рассчитывается на основе тока статора q -проекции в $d-q$ координатах и скорости вала ротора, которые являются входами блока вычисления ММ потерь. В третьем алгоритме

нейросетевой регулятор расположен перед преобразователем координат из двухфазной системы в трехфазную. Входами являются значения выходов регулятора магнитного потока и регулятора скорости, а также результаты интегралов первого и второго порядка от данных сигналов. Выходы: значения напряжений в двухфазной системе координат, которые поступают на преобразователь координат. Проведено моделирование систем с указанными алгоритмами частотного управления (рис. 3) со следующими параметрами двигателя: мощность 158 кВт, номинальный момент 1704 Н·м, номинальная частота вращения ротора 740 об/мин, номинальное напряжение 400 В при соединении обмоток звездой, номинальный ток 240 А, коэффициент мощности 0,84, момент инерции ротора 5,3 кг·м², тип – асинхронный с короткозамкнутым ротором.

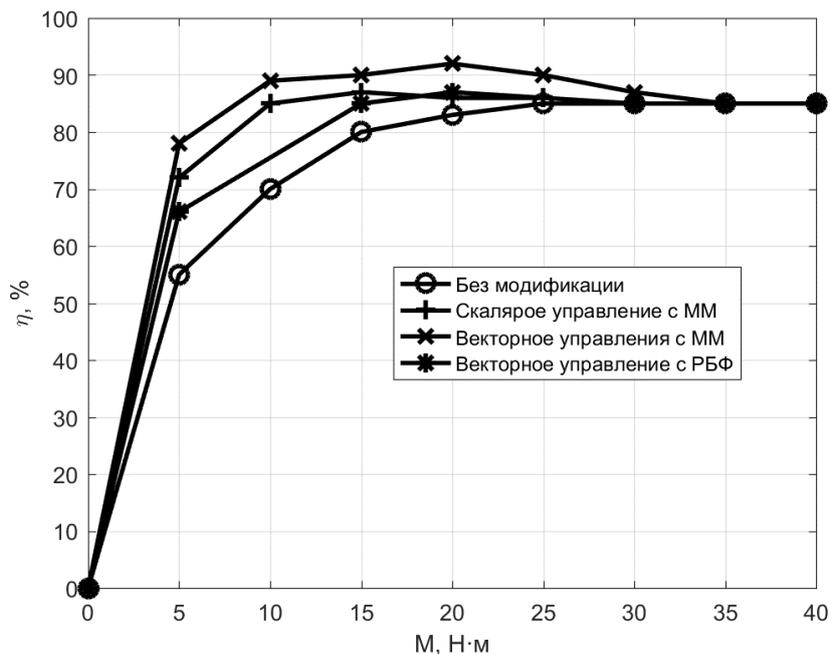


Рис. 3. Графики зависимости КПД от момента нагрузки

Из рис. 3 видно, что наибольшее повышение КПД происходит при применении векторного управления с блоком вычисления минимума мощности, наименьшее – с применением векторного управления, содержащим нейросетевой регулятор на основе радиально-базисных функций.

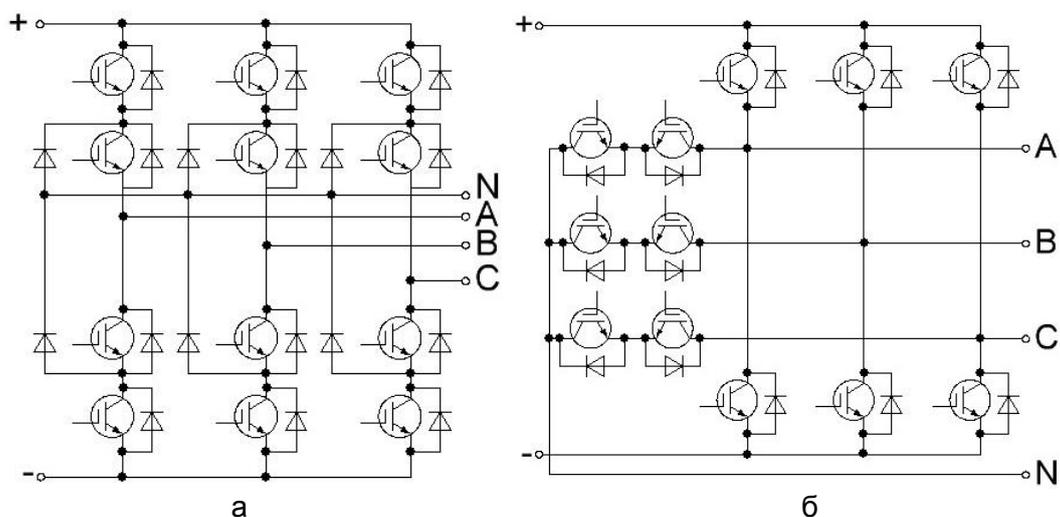


Рис. 4. Силовая схема трехуровневого преобразователя: с общей нейтралью (а); Т-типа (б)

Потери в силовых преобразователях. В составе применяемых сегодня электроприводов эскалаторов имеются выпрямитель/рекуператор и автономный инвертор. Самым мощным из силовых преобразователей в электроприводе эскалатора является выпрямитель/рекуператор ЕК-АV6-0,5-АF-10,4 УХЛ4 (мощностью 500 кВт), мощность автономного инвертора составляет 220 кВт. Данное устройство реализуется на шести IGBT-транзисторах и шести диодах по двухуровневой мостовой схеме.

Помимо двухуровневой топологии существуют трехуровневая топология с общей нейтралью и трехуровневая топология Т-типа [5] (рис. 4).

Проведено исследование систем на стенде [5], содержащем указанные типы преобразователей (рис. 5). Мощность преобразователя 11 кВт, ток нагрузки 20 А, частота широтно-импульсной модуляции преобразователя 32 кГц. Из рисунка, что наименьшие потери у преобразователя Т-типа и составляют 140 Вт в режиме выпрямителя и 160 Вт в режиме инвертора. Наибольшие потери наблюдаются у двухуровневого преобразователя и равны 270 и 330 Вт в режимах выпрямителя и инвертора, соответственно. Для достижения такого же уровня неосновных гармоник в выходном синусоидальном сигнале для трехуровневых преобразователей требуется меньшая частота переключения, как следствие – сокращение потерь при изменении состояния транзисторов.

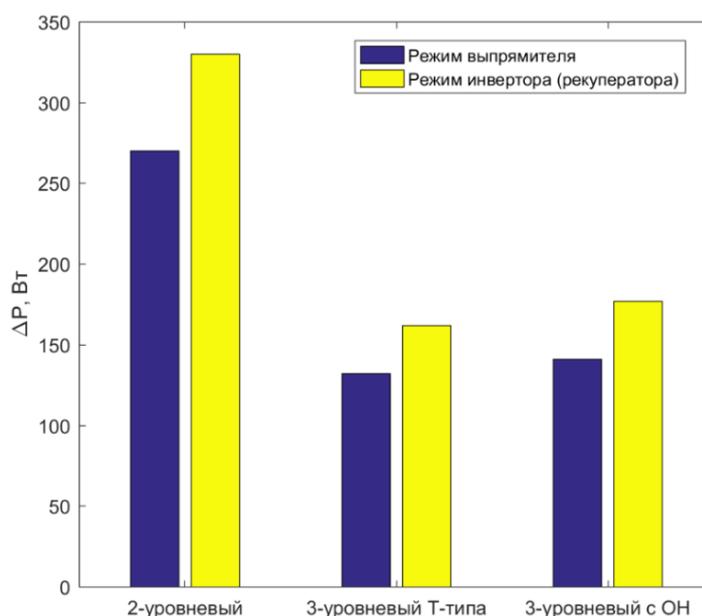


Рис. 5. Потери на полупроводниковых элементах в преобразователях (ОН – общая нейтраль)

Выводы. Проанализированы возможные методы снижения потерь энергии в электроприводе эскалатора, а именно: в редукторе, в двигателе, в выпрямителе/рекуператоре.

При применении модифицированной формы торца зуба уменьшается трение между зубьями шестеренчатых колес редуктора, КПД редуктора возрастает на 3%. Также возможно редукторный привод заменить безредукторным, что может повысить КПД системы на 1,5%. Однако данный тип привода находится в разработке и для его установки потребуется изменить приводную часть эскалатора.

Из рассмотренных модифицированных алгоритмов частотного управления: скалярное управление с блоком вычисления минимальных потерь мощности, векторное управление с блоком вычисления минимальных потерь и векторное управление с нейросетевым регулятором на основе радиально-базисных функций, наибольшее

увеличение КПД двигателя проявляется при применении векторного управления с блоком вычисления минимальных потерь мощности.

Трехуровневые топологии силового преобразователя позволяют снизить потери на полупроводниковых элементах по сравнению со стандартной двухуровневой схемой приблизительно на 50%.

Литература

1. Манухин С.Б., Нелидов И.К. Устройство, техническое обслуживание и ремонт лифтов: учебник для нач. проф. образования. – М.: Академия, 2004. – 336 с.
2. Никитин В.В., Пармас А.Я.-Ю., Пивоваров В.М., Саттаров Р.Р. Безредукторный тяговый электропривод городского рельсового транспорта // Изв. ПГУПС. – 2013. – Вып. 3(36). – С. 31–38.
3. Waheedabeevi M., Sukeshkumar A., Nair N.S. New online loss-minimization-based control of scalar and vector-controlled induction motor drives // IEEE International Conference on Power Electronics, Drives and Energy Systems. – 2012. – P. 1–7.
4. Zhang D., Luo W., Chen W., Xie R. Notice of retraction energy-saving control based on neural network inverse decoupling for asynchronous motors // Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conf. – 2010. – P. 1–4.
5. Schweizer M., Friedli T., Kolar J.W. Comparative evaluation of advanced tree-phase three-level inverter/converter topologies against two-level system // IEEE Transactions on Industrial Electronics. – 2013. – V. 60(12). – P. 5512–5527.

**Попов Илья Юрьевич**

Год рождения: 1993

Университет ИТМО, факультет безопасности информационных технологий, кафедра проектирования и безопасности компьютерных систем, аспирант

Направление подготовки: 10.06.01 – Информационная безопасность

e-mail: ilyapopov27@gmail.com

Крылов Борис АлексеевичУниверситет ИТМО, факультет безопасности информационных технологий, кафедра проектирования и безопасности компьютерных систем, к.т.н., доцент
e-mail: krylovb@mail.ru**УДК 004.4****РАЗРАБОТКА МЕТОДА ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ РАСПРЕДЕЛЕННЫМ СЕТЕВЫМ АТАКАМ****Попов И.Ю.¹****Научный руководитель – к.т.н., доцент Крылов Б.А.¹**¹Университет ИТМО

Работа выполнена в рамках темы НИР № 417021 «Программно-аппаратная платформа противодействия сетевым атакам на отказ в обслуживании».

В работе рассмотрена разработка метода противодействия распределенным сетевым атакам с целью применения в программно-аппаратной платформе. Это обосновано тем, что разработанные методы мало применимы на практике, так как создаются исключительно в рамках конкретной задачи с использованием заведомо известных метрик и условий применения.

Ключевые слова: сетевые атаки, обнаружение сетевых атак, отказ в обслуживании, безопасность вычислительных сетей, программно-аппаратная платформа.

В настоящее время для защиты от различных сетевых угроз, в том числе DDoS-атак, многие полагаются на традиционные инструменты, такие как межсетевые экраны, системы предотвращения вторжений (IPS) [1] и т.д. Хотя эти устройства и являются важными элементами стратегии обеспечения безопасности, они не могут противостоять современным DDoS-атакам. Для действенной защиты необходимо специализированное решение. Существующие подходы к защите в основном используют увеличение канала связи или блокировку по правилам (межсетевой экран). Зачастую данные подходы не эффективны, и занимают не только большое количество вычислительных ресурсов, но и ограничивают доступ легитимным пользователям во время сетевой атаки.

Целью работы являлось обеспечение безопасности распределенной сети от распределенных атак на отказ в обслуживании на больших скоростях.

Разработка метода противодействия сетевым распределенным атакам. На основе анализа и систематизации существующих подходов к решению задач детектирования и блокирования сетевых атак в условиях высоких скоростей передачи данных (до 100 Гбит/с) в работе предполагался синтез новых методов с задействованием интеллектуального анализа данных, машинного обучения и использования программируемых логических устройств (FPGA).

Интеллектуальный анализ данных позволяет обеспечить построение модели представления распределенных атак в виде, необходимом для предиктивного обнаружения атак. Дерево решений, которым могут быть представлены сетевые атаки, дает возможность его адаптации к изменениям как в параметрах защищаемых приложений, так и признаках выявляемых атак.

Реализация разрабатываемого дерева решений на FPGA позволяет выполнять классификацию сетевого трафика к защищаемому приложению на высоких скоростях. Выполнение проверки адекватности полученных результатов теоретически предполагалось осуществить на основе экспериментального исследования с использованием реализуемой программно-аппаратной платформы детектирования и блокирования сетевых распределенных атак (рис. 1).

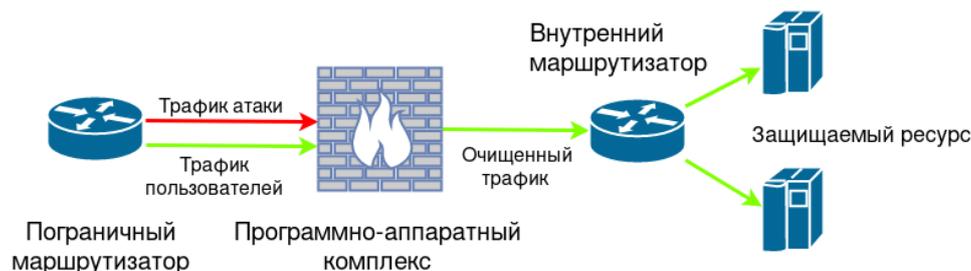


Рис. 1. Принцип работы программно-аппаратного комплекса

Уникальность результатов реализации данной работы заключалась в детектировании и блокировании распределенных сетевых атак на уровнях, выше чем L2-L4 эталонной модели OSI. Разрабатываемые в работе методы позволяют детектировать и блокировать атаки на уровне приложения (L7), что дает возможность применения для защиты отдельных приложений и применения точечных, индивидуальных средств защиты на скоростях до 100 Гбит/с.

Метод включает в себя разработку следующих задач:

1. процедуру идентификации параметров работы сетевых приложений, подлежащих защите;
2. модель представления распределенных сетевых атак на основе дерева решений для целей детектирования и раннего обнаружения;
3. метод формирования дерева решений для целей детектирования сетевых атак;
4. метод адаптации дерева решений для нестационарных условий работы сетевых приложений;
5. способ повышения скорости исполнения процесса идентификация атаки с задействованием FPGA.

Принцип разрабатываемого метода можно представить в виде UML-диаграммы (рис. 2).

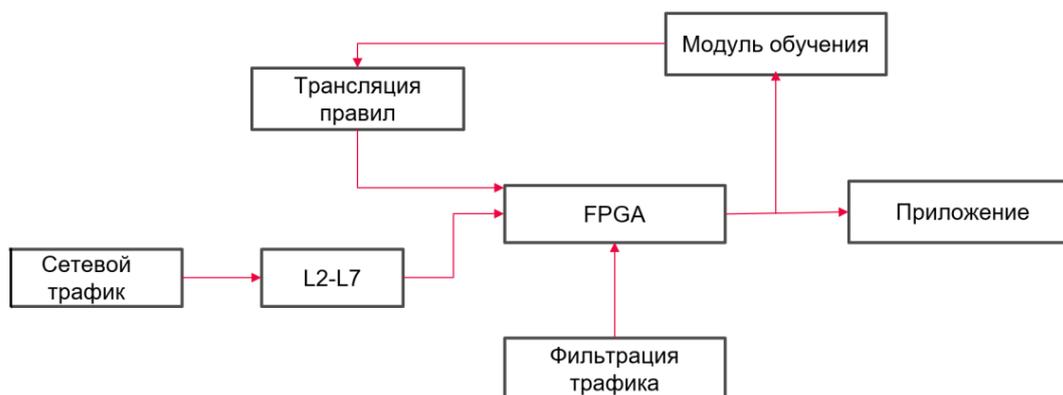


Рис. 2. UML-диаграмма обработки сетевого трафика на основе ПЛИС

Вредоносный трафик попадает на обрабатываемый программно-аппаратный модуль. Далее, по правилам ACL, блокируются атаки на L2-L4 модели OSI, с помощью дерева решений [2], хранимое непосредственно на FPGA. Разработанные методы обнаружения сетевых распределенных атак эффективны для детектирования таких как SYN-флуд, UPD-флуд только лишь на L2-L4 модели OSI [3], но практически бесполезен на уровне L7. Такие атаки, как HTTP GET-флуд, HTTP POST-флуд являются практически не детектируемыми [4]. В данном случае предложено использовать интеллектуальные методы по детектированию «медленных» сетевых атак, а именно алгоритмы машинного обучения [5].

Заключение. В ходе работы были рассмотрены основные модули для разработки метода противодействия сетевых распределенных атак типа «отказ в обслуживании». Разрабатываемый метод будет применен в дальнейшей работе, по созданию автоматизированной программно-аппаратной платформы защиты от 40 Гбит/с DDoS-атак на основе сетевых плат FPGA PCI-E.

Литература

1. Жукова П.Н., Насонова В.А., Ходякова Н.В. О некоторых средствах защиты информационных систем от несанкционированного доступа // Проблемы правоохранительной деятельности. – 2015. – № 2. – С. 83–88.
2. Кафтанников И.Л., Парасич А.В. Особенности применения деревьев решений в задачах классификации // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2015. – Т. 15. – № 3. – С. 26–32.
3. Обзор DDoS-атак во втором квартале 2011 года [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://securelist.com/ru/analysis/208050712/Obzor_DDoS_atak_vo_vtorom_kvartale_2011_goda (дата обращения: 20.05.2018).
4. Kuzmanovich A. Knighly E.W. Low-rate TCP-target denial of service attacks and counter strategies // IEEE/ACM Trans. Netw. – 2006. – № 14(4). – P. 683–696.
5. Мухамедиев Р.И., Мухамедиева Е.Л., Кучин Я.И. Таксономия методов машинного обучения и оценка качества классификации и обучаемости // Cloud of science. – 2015. – Т. 2. – № 3. – С. 359–378.

**Прендота Александр Викторович**

Год рождения: 1995

Университет ИТМО, факультет программной инженерии и компьютерной техники, кафедра вычислительной техники, студент группы № P4110

Направление подготовки: 09.04.04 – Информационно-вычислительные системы

e-mail: prendota@mail.ru

**Балакшин Павел Валерьевич**

Год рождения: 1984

Университет ИТМО, факультет программной инженерии и компьютерной техники, кафедра вычислительной техники, к.т.н., доцент

e-mail: pvbalakshin@gmail.com

УДК 004.434**БРАУЗЕРНАЯ ПЛАТФОРМА ДЛЯ ЯЗЫКА ПРОГРАММИРОВАНИЯ KOTLIN****Прендота А.В.¹, Балакшин П.В.¹****Научный руководитель – к.т.н., доцент Балакшин П.В.¹**¹Университет ИТМО

В работе рассмотрены онлайн-платформы для существующих языков программирования, а также кратко описана разработка браузерной платформы для языка программирования Kotlin, который в настоящее время активно развивается и набирает большую популярность среди разработчиков по всему миру.

Ключевые слова: Kotlin, браузер, онлайн-платформа, разработка.

Введение. Kotlin – статически типизированный язык программирования, активно разрабатываемый компанией JetBrains. Он работает на базе распространенной в области промышленного программирования виртуальной машины Java Virtual Machine (JVM), а также компилируется в JavaScript. Изначально Kotlin разрабатывался с целью повышения безопасности и лаконичности по сравнению с языком программирования Java и для упрощения структуры языка по сравнению с языком программирования Scala. Kotlin был представлен в 2011 году [1], а уже в 2017 году компания Google сообщила, что язык программирования Kotlin стал официальным инструментом для операционной системы Android. К середине 2018 года было представлено почти 5000 докладов про язык программирования Kotlin. Все это свидетельствует о том, что язык Kotlin является актуальным, активно развивается и набирает большую популярность среди разработчиков по всему миру.

Для того чтобы язык активно развивался и количество пользователей росло, необходимо предоставлять пользователям различные курсы по обучению языка, а также удобную среду разработки для закрепления практических навыков. Компания JetBrains предоставляет среду разработки IntelliJ IDEA для разработки на языке Kotlin, а также плагины для образования, которые позволяют непосредственно в интерактивной среде разработки (IDE, Integrated Development Environment) проходить различные курсы. Однако еще более удобная форма взаимодействия – это браузерная онлайн-платформа. Поэтому цель исследования – разработка браузерной платформы

для языка программирования Kotlin, а также интеграция в нее различных курсов для образования начинающих разработчиков.

Для лучшего понимания текущей ситуации на рынке было проведено исследование браузерных платформ для других популярных языков программирования. Многие из них имеют онлайн-платформу для компиляции кода, чтобы разработчики могли компилировать программы, не имея у себя на вычислительной машине полноценной среды разработки. Данная особенность обеспечивает регулярный прирост новых пользователей. В качестве примеров можно привести следующие:

- <https://play.golang.org/> – онлайн-платформа для языка программирования Go;
- <https://scastie.scala-lang.org/> – онлайн-платформа для языка программирования Scala;
- <https://try.ceylon-lang.org/> – онлайн-платформа для языка программирования Ceylon;
- <https://jsfiddle.net/> – онлайн-платформа для языка программирования JavaScript.

Минусами данных платформ является отсутствие наглядных примеров по разработке на конкретном языке. Данная особенность повышает порог вхождения в любой язык программирования, поэтому шанс заинтересовать пользователя с помощью внедрения небольших курсов в браузерную онлайн-платформу является очень важным аспектом. Следует отметить, что большинство подобных онлайн IDE не поддерживают горячие клавиши, такие как автодополнение или форматирование кода, которые позволяют программистам легче понять язык.

На рисунке представлена браузерная платформа для языка программирования Kotlin [2]. В настоящий момент платформа поддерживает несколько курсов, который каждый пользователь может пройти даже без возможности регистрации. Платформа поддерживает несколько вариантов компиляции Kotlin-кода, например, компилирование кода под JVM на стороне сервера и возвращение результата на сторону клиента, либо компиляция Kotlin-кода в JavaScript код на стороне сервера и исполнение JavaScript кода уже непосредственно в самом браузере.

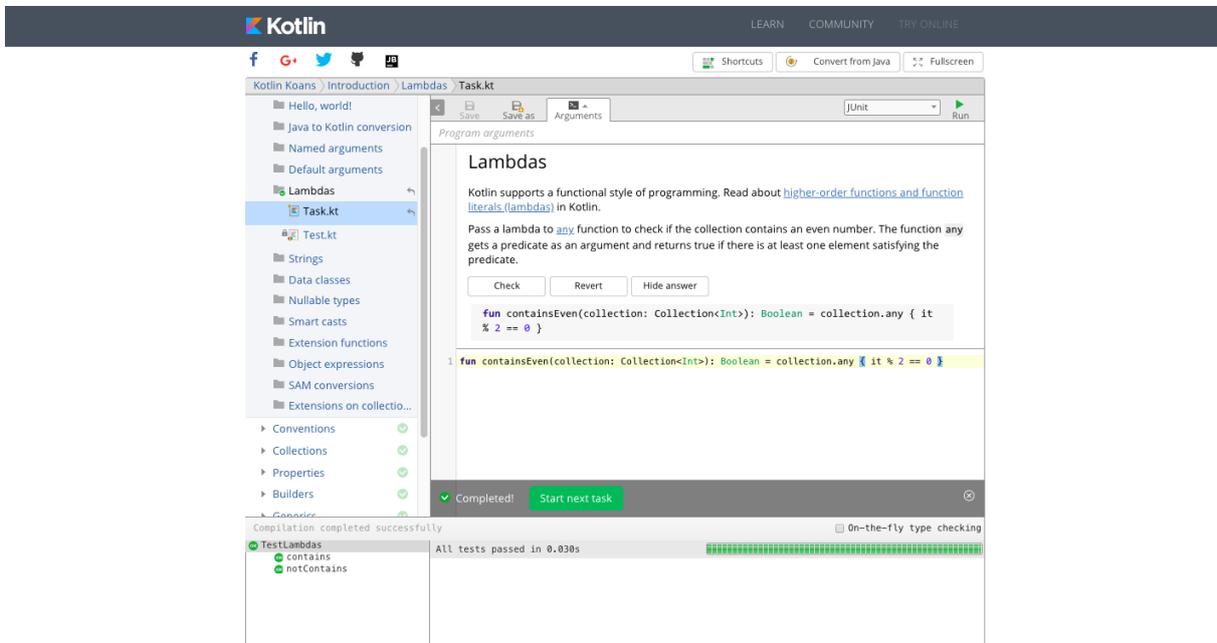


Рисунок. Браузерная платформа для языка программирования Kotlin

Данная платформа позволяет исполнять тестовые сценарии. Эта особенность была необходима для добавления курсов, чтобы пользователь мог проверить свое решение на предоставленные задания. Важным плюсом разработанной браузерной платформы для языка программирования Kotlin является то, что данная платформа поддерживает большое количество горячих клавиш, включая автодополнение, комментарии в коде,

форматирование кода, сохранение программы, запуск программы. Платформа также поддерживает несколько версий компилятора Kotlin [3], в данный момент времени это версии: 1.0.7, 1.1.60, 1.2.41. Эта особенность реализована для того, чтобы пользователи могли наблюдать за тем, как язык менялся в течение времени.

Заключение. Разрабатываемая браузерная платформа позволит развивать образовательную деятельность по обучению языку программированию Kotlin, что в дальнейшем будет способствовать привлечению новых разработчиков, появлению новых проектов на данном языке. В дальнейшем необходимо систематизировать тестирование этой платформы и углублять взаимодействие с российскими и международными образовательными онлайн-платформами.

Литература

1. Жемеров Д.Б., Исакова С.С. Kotlin в действии / Пер. с англ. Киселев А.Н. – М.: ДМК-Пресс, 2017. – 402 с.
2. Belov R. Embedding Kotlin Playground [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://blog.jetbrains.com/kotlin/2018/04/embedding-kotlin-playground/>, своб.
3. Prendota A. Kotlin Playground [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://habr.com/company/JetBrains/blog/354620/>, своб.



Руденко Анна Сергеевна

Год рождения: 1993

Университет ИТМО, факультет систем управления и робототехники, кафедра высшей математики, студент группы № P4296

Направление подготовки: 01.04.02 – Прикладная математика и информатика

e-mail: plane2393@gmail.com



Трифанов Александр Игоревич

Год рождения: 1985

Университет ИТМО, факультет систем управления и робототехники, кафедра высшей математики,

к.ф.-м.н., доцент

e-mail: alextrifanov@gmail.com

УДК 535.14

РЕАЛИЗАЦИЯ КВАНТОВЫХ ОПЕРАЦИЙ В ЧАСТОТНОЙ ОБЛАСТИ

Руденко А.С.¹

Научный руководитель – к.ф.-м.н., доцент Трифанов А.С.¹

¹Университет ИТМО

Наиболее перспективным направлением квантовой информатики и квантовых коммуникаций является реализация элементной базы инфокоммуникационных технологий на основе частотного кодирования единицы квантовой информации – кубита. Это связано, с одной стороны, с наличием действующих протоколов передачи классической информации, а с другой – возможностями создавать и управлять многомодовыми квантовыми состояниями при помощи устройств преобразования спектра – электрооптическими модуляторами света. Даже несмотря на то, что физико-математические модели процессов, происходящих при обработке сигналов в каналах передачи информации хорошо известны и изучены, они мало применимы для описания протоколов передачи квантовой информации. Потому в настоящее время на экспериментальном и теоретическом уровне интенсивно ведется работа по разработке таких протоколов. В частности, предложены полуклассические модели процесса фазовой модуляции однофотонных состояний, а также феноменологические модели параметрического взаимодействия конечного числа спектральных мод. В рамках одной из таких моделей исследован процесс преобразования логических единиц квантовой информации (частотных кубитов) в специальных устройствах – квантовых логических вентилях. В частности, речь идет об устройствах, работающих с одно- и двух кубитовыми состояниями и образующих логический базис квантовых вычислений. Это операции Адамара и контролируемого НЕ.

Ключевые слова: кубит, частотное кодирование, фазовый модулятор, квантовый компьютер.

В работе выполнено представление двухкубитной операции CNOT (контролируемое – НЕ) с помощью электрооптического фазового модулятора. Под электрооптическим модулятором будем понимать устройство, перепутывающее частотные моды. Электрооптический фазовый модулятор представляет собой нелинейный кристалл, расположенный между двумя металлическими электродами. Микроволновая мода возникает между электродами и характеризуется волновым

числом $k_{MW} = \frac{2\pi}{L}$ и частотой $\Omega_{MW} = k_{MW}v_{MW}$. На вход такого модулятора подается

оптическая мода с параметрами $k_{opt} = \frac{2\pi m_{opt}}{L}$, $\Omega = \frac{|k_{opt}| v_{opt}}{|m_{opt}|}$. Подробно данная модель описана в [1].

Кубит – это единица измерения количества квантовой информации, которая в отличие от классического бита, может находиться в квантовой суперпозиции своих состояний. Иначе говоря, имея, также как и бит два состояния – логический ноль и логическую единицу, кубит может одновременно находиться в этих состояниях.

При частотном кодировании состояние кубита кодируется в состояниях пары частотных мод двумодового электромагнитного поля [2]. Если фотон будет подаваться в одной частоте, будем считать, что фотон кубит подается в логическом нуле, если в другой частоте – в логической единице, если же в какой-то промежуточной моде – то в суперпозиции собственных состояний (рис. 1).

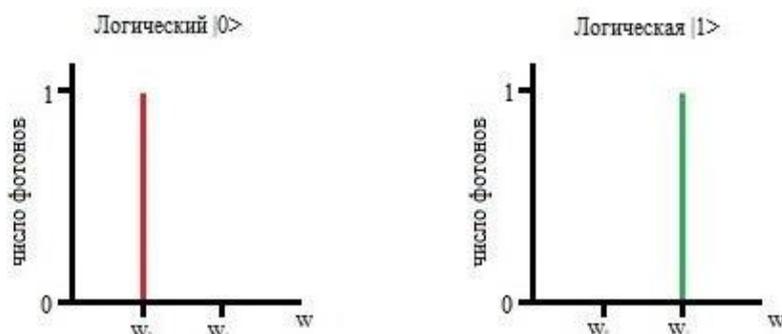


Рис. 1. Собственные состояния кубита в частотной области

Объектом исследований авторов являлась операция CNOT. Это двухкубитная операция, которая в зависимости от состояния первого кубита меняет или не меняет состояние второго кубита [3]. Это преобразование выглядит следующим образом:

$$|0_{q_1} 0_{q_2}\rangle = |0_{q_1} 0_{q_2}\rangle, \quad (1a)$$

$$|0_{q_1} 1_{q_2}\rangle = |0_{q_1} 1_{q_2}\rangle, \quad (1б)$$

$$|1_{q_1} 0_{q_2}\rangle = |1_{q_1} 1_{q_2}\rangle, \quad (1в)$$

$$|1_{q_1} 1_{q_2}\rangle = |1_{q_1} 0_{q_2}\rangle. \quad (1г)$$

Было доказано [4], что CNOT можно реализовать на базе шести оптических светоделителей. Частотный аналог оптического светоделителя может быть реализован с использованием фазового модулятора, взаимодействующего с парой мод. Отсюда естественным образом возникает вопрос, можно ли реализовать CNOT на базе фазовых модуляторов, реализующих взаимодействие большего числа мод. В настоящей работе была сделана попытка решить данную задачу.

На вход модели подаются два кубита, т.е. четыре рабочие моды (w_a, w_b – отвечают за первый кубит; w_c, w_d – за второй). Тогда преобразование (1) для данного случая будет выглядеть следующим образом:

$$|w_a w_c\rangle = |w_a w_c\rangle, \quad (2a)$$

$$|w_a w_d\rangle = |w_a w_d\rangle, \quad (2б)$$

$$|w_b w_c\rangle = |w_b w_d\rangle, \quad (2в)$$

$$|w_b w_d\rangle = |w_b w_c\rangle, \quad (2г)$$

Сначала была попытка реализовать CNOT с помощью одного фазового модулятора. На вход этой модели, помимо четырех рабочих мод, подавались и две

вспомогательные (w_e, w_d). При этом начальное состояние выглядит следующим образом.

$$\alpha_{ij}\beta_{kl}, \quad (3)$$

где α_{ij} – матрица коэффициентов квантового состояния рабочих мод; β_{kl} – коэффициенты вспомогательных мод.

Фазовый модулятор μ действует на это начальное состояние следующим образом:

$$\alpha_{ij}\beta_{kl}a_i a_j a_k a_l \rightarrow \alpha_{ij}\beta_{kl}b_i b_j b_k b_l = \hat{\alpha}_{i'j'k'l'} a_i a_j a_k a_l, \quad (4a)$$

$$\hat{\alpha}_{i'j'k'l'} = \alpha_{ij}\beta_{kl}\mu_{i'i'}\mu_{j'j'}\mu_{k'k'}\mu_{l'l'}, \quad (4б)$$

$$\hat{\alpha}_{i'j'k'l'} = \alpha_{ij}\Gamma_{i'j'k'l'}^{ij}. \quad (4в)$$

Индексы в уравнениях (4) пробегают по следующим множествам $i'j'k'l'=(w_a, w_b, w_c, w_d, w_e, w_d)$, $ij=(w_a, w_b, w_c, w_d)$, $kl=(w_e, w_d)$. Условия, при которых будет реализовываться операция CNOT, будут выглядеть следующим образом.

$$\Gamma_{w_a w_c w_e w_f}^{w_a w_d} = \Gamma_{w_a w_d w_e w_f}^{w_a w_d} = \Gamma_{w_b w_c}^{w_b w_c} = \Gamma_{w_b w_d w_e w_f}^{w_b w_d} = \lambda \neq 0, \quad (5a)$$

$$\Gamma_{i'j'56}^{ij} = 0. \quad (5б)$$

При одном фазовом модуляторе наилучшими параметрами стали $\left(\frac{\pi}{4}, \frac{\pi}{6}, \frac{\pi}{2}\right)$.

Однако вероятность успеха операции CNOT в данном случае очень мала – 1%.

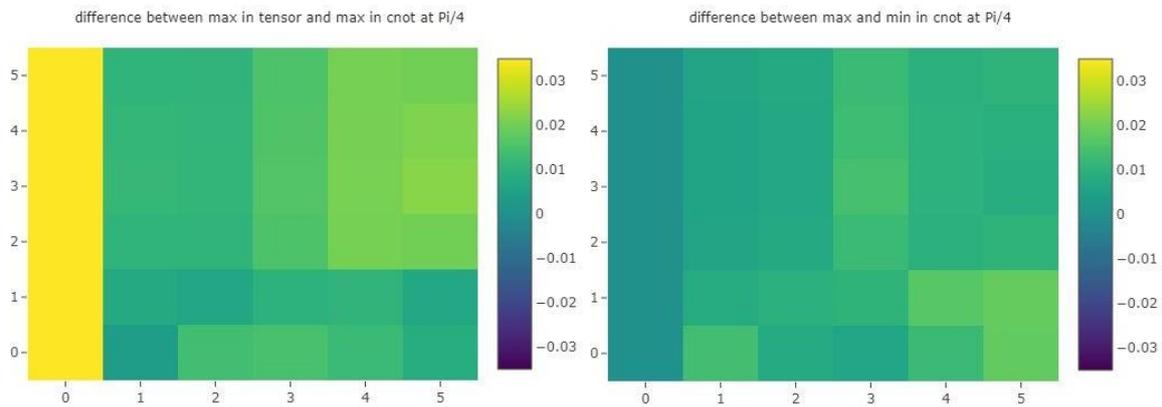


Рис. 2. Графики сравнения различных элементов модулятора

На графиках (рис. 2) показано сравнение максимального элемента в тензоре за исключением элементов, отвечающих за CNOT, и максимального элемента среди элементов, отвечающих за CNOT, а также разница между максимумом и минимумом среди элементов, отвечающих за CNOT. Из первого графика видно, что элементы в тензоре за исключением элементов, отвечающих за CNOT, и элементы, отвечающие за CNOT, сравнимы, и нельзя говорить о выполнении условия (5б). Из графика видно, что разность модулей элементов примерно равна нулю, и с некоторым допущением можно говорить о выполнении условий (5a).

Так как модель с одним модулятором имеет низкую вероятность реализации операции, сформулируем задачу, аналогичную (4) с двумя модуляторами μ и γ . При тех же обозначениях преобразование квантового состояния шести частотных мод будет описываться следующим образом:

$$\alpha_{ij}\beta_{kl}a_i a_j a_k a_l \rightarrow \alpha_{ij}\beta_{kl}b_i b_j b_k b_l = \hat{\alpha}_{i'j'k'l'} a_i a_j a_k a_l, \quad (6a)$$

$$\hat{\alpha}_{i'j'k'l'} = \alpha_{ij}\beta_{kl}\mu_{i'i'}\mu_{j'j'}\mu_{k'k'}\mu_{l'l'}\gamma_{i'i'}\gamma_{j'j'}\gamma_{k'k'}\gamma_{l'l'}, \quad (6б)$$

$$\hat{\alpha}_{i'j'k'l'} = \alpha_{ij}\Theta_{i'j'k'l'}^{ij}. \quad (6в)$$

а условия (5) переписутся следующим образом:

$$\Theta_{w_a w_c w_e w_f}^{w_a w_c} = \Theta_{w_a w_d w_e w_f}^{w_a w_d} = \Theta_{w_b w_c w_e w_f}^{w_b w_c} = \Theta_{w_b w_d w_e w_f}^{w_b w_d} = \lambda \neq 0, \quad (7a)$$

$$\Theta_{i'j'56}^{ij} = 0. \quad (7b)$$

Все индексы будут пробегать значения, указанные ранее, плюс новые индексы будут пробегать следующие значения $i''j''k''l''=(w_a, w_b, w_c, w_d, w_e, w_d)$.

Из проведенного исследования видно, что количество параметров в задаче реализации операции CNOT на основе одного модулятора недостаточно для достижения значений вероятности и верности операции, близких к единице. С другой стороны, введение в модель еще одного модулятора и фазовой пластинки (6)–(7) между ними увеличивает количество параметров и, следовательно, размерность и сложность задачи. В настоящее время авторы решают оптимизационную задачу в пространстве параметров двух модуляторов, которая бы позволила получить более высокие значения вероятности и верности.

Литература

1. Miroschnichenko G.P., Kiselev A.D., Trifanov A.I., Gleim A.V. Algebraic approach to electro-optic modulation of light: exactly solvable multimode quantum model // Journal of the optical society of America B. – 2017. – V. 34. – № 6. – P. 1177–1190.
2. Lukens J.M., Lougovski P. Frequency-encoded photonic qubits for scalable quantum information processing // Optica. – 2017. – V. 4. – № 1. – P. 8–16.
3. Попов И.Ю. Квантовый компьютер и квантовые алгоритмы. – СПб.: Образование, 2007. – 88 с.
4. Knill E., Laflamme R. & Milburn G.J. A scheme for efficient quantum computation with linear optics // Nature. – 2001. – V. 409. – P. 46–52.



Румянцева Мария Юрьевна

Год рождения: 1996

Университет ИТМО, факультет программной инженерии и компьютерной техники, кафедра вычислительной техники, студент группы № Р3402

Направление подготовки: 09.03.01 – Информатика

и вычислительная техника

e-mail: mari.s70c3@gmail.com

УДК 004.415.2

ПРОГРАММА ДЛЯ СБОРА И ОБРАБОТКИ ДАННЫХ С МЕДИЦИНСКОГО ТРЕНАЖЕРА

Румянцева М.Ю.¹

Научный руководитель – к.т.н., доцент Ключев А.О.¹

¹Университет ИТМО

В данный момент разработан проект аппаратно-программного комплекса для реабилитации людей ограниченной мышечной активностью локтевого сустава. Одним из видов механотерапии является работа на тренажерах с обратной связью, с помощью которой можно анализировать качество движений, совершаемых пользователем. По этим данным можно построить график движения конечности и провести анализ двигательной функции мышцы. Также на основе этих данных можно создать приложение, позволяющее выполнять упражнение в интерактивной форме – визуализировать действия пациента на экране.

Ключевые слова: биологическая обратная связь, механотерапия, анализ данных, фильтрация, реабилитация.

Разработка программного обеспечения для сбора и анализа данных необходима для работы аппаратно-программного комплекса для реабилитации людей с ограниченной мышечной активностью. Предполагается, что необходимо учитывать динамику реабилитации локтевого сустава в процессе выполнения механотерапии.

В данный момент реализуется проект аппаратно-программного комплекса для реабилитации людей с ограниченной мышечной активностью плеча (рис. 1) и предплечья с помощью активных и пассивных движений.

Такая реабилитация может применяться после инсульта с потерей двигательной активности или травмы, на длительное время ограничившей подвижность. Также реабилитация может использоваться для больных детским церебральным параличом.



Рис. 1. Прототип аппаратно-программного комплекса

Целью работы являлась разработка программы для сбора данных обратной связи медицинского тренажера для людей с ограниченной мышечной активностью мышц плеча и предплечья для последующего анализа и визуализации этих данных. Она должна представлять собой инерциальную систему обработки связи в режиме реального времени, в том числе сбор данных с датчиков, пересылку данных на сервер для обработки, обработка данных. Для примера была разработана система для локтевого сустава. Система обработки должна являться веб-приложением и быть независимой от платформы.

Для достижения результата сбора и анализа данных необходимы следующие этапы:

1. фильтрация данных от шумов;
2. анализ схожести с идеальным графиком;
3. анимация.

Фильтрация данных необходима для получения адекватных данных без шумов, так как, во-первых, наблюдаются шумы с акселерометра, во-вторых, движение руки даже здорового человека является неравномерным, т.е. вектор-ускорение меняется постоянно, и, на данном этапе этой работы, необходимо было привести его к равномерному, без резких смен вектора.

Анализ данных происходил на серверном приложении. Необходимо было оценить, является ли движение руки схожим с движением руки здорового человека, и вынести оценку – «да» или «нет». В дальнейшем планируется более детальный анализ таких данных, например оценка, насколько движение приближено к идеальному.

Так на сервере происходит сохранение данных о движении в базу данных. Это необходимо для сбора статистики, показывающей динамику при выполнении упражнений. На основе этих данных можно предсказать динамику реабилитации, но пока это возможно при оценке врача, так как на данный момент не удалось собрать данные, достаточные для оценки динамики.

Так же вместе с анализом данных производится перенос движения на экран согласно графику ускорений по трем осям. Вместе с этим анимируется небольшое графическое приложение, по подъему и опусканию куба.

Зашумленность данных может достигать 0,08g, что может мешать точной оценке данных. Одно из требований к фильтрам в данной ситуации – достаточная производительность для использования в режиме реального времени с минимальными задержками. Проведено сравнение фильтров для выбора наилучшего варианта, который должен отвечать следующим требованиям:

- адекватно сглаживать;
- иметь небольшую задержку.

Адекватность сглаживания важна, так как при движении даже у здорового человека будут появляться выбросы, и график не будет гладким из-за дрожания рук. Приемлемая задержка необходима из-за работы в реальном времени [1].

В качестве данных для тестирования возьмем измерения акселерометра по одной из осей – оси z. Проведено сравнение нескольких фильтров: фильтр средних значений, медианный фильтр, фильтр низких частот и фильтр Калмана. На рис. 2 представлена сравнительная диаграмма обработки данных этих фильтров.

Как видно из диаграммы, наилучшее сглаживание имеет фильтр Калмана, но он имеет и наибольшую задержку, а также искажает результаты. Фильтр средних значений также имеет приемлемую степень сглаживания, но имеет сильную задержку из-за операции деления. Фильтр низких частот со своей задачей в данном случае не справляется. Наилучший результат дает медианный фильтр, дающий хорошую степень сглаживания при небольшой задержке. Также он является достаточно простым в реализации, поэтому для дальнейшей обработки данных будем использовать его [2].

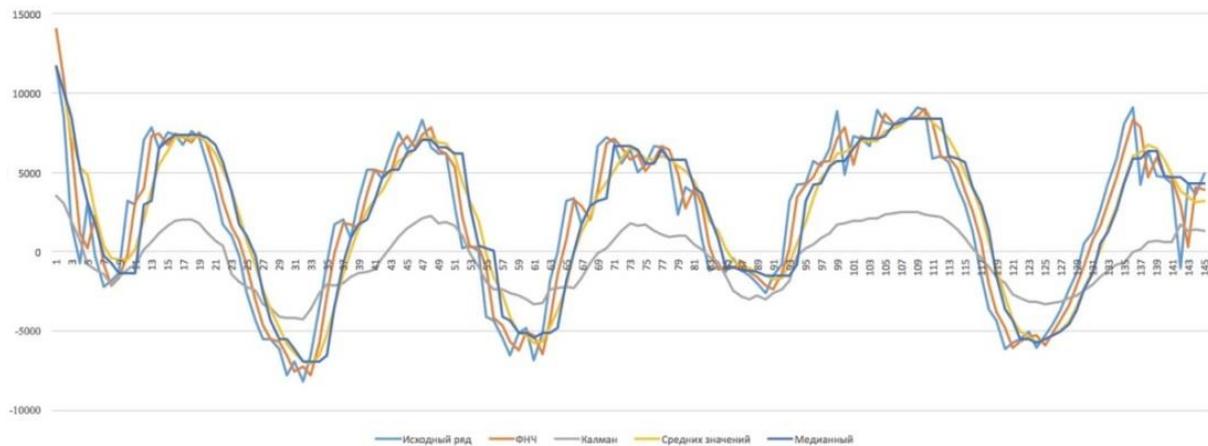


Рис. 2. Сравнение фильтров

Медианный фильтр является нелинейным фильтром, применяющимся для подавления шума сигнала. В данном случае применяется одномерный медианный фильтр, представляющий собой скользящее окно, захватывающее нечетное количество элементов последовательности. Для реализации фильтра находится значение медианы элементов этого окна. Медианой дискретной последовательности $a_1, a_2 \dots a_n$ для нечетного N является тот ее элемент, для которого существуют $(N - 1)/2$ элементов, меньших или равных ему по величине, и $(N - 1)/2$ элементов, больших или равных ему по величине.

Для нахождения медианы элементы с помощью быстрой сортировки размещают в окне по возрастанию, и выбирают средний элемент. Размер окна подбирается эмпирически. Главное ограничение – он должен быть нечетным. Если окно будет четным, то медиана будет вычисляться путем вычисления среднего арифметического двух средних элементов, что приведет к увеличению времени работы. Рекомендуется начинать подбор окна с трех и до момента, когда фильтрация станет приносить больше вреда, чем пользы.

Эмпирическим путем было определено, что для нашей задачи лучше подходит окно размером 7. Медианный фильтр имеет приличное сглаживание и небольшую задержку.

После прохождения этапа фильтрации необходимо провести анализ данных, т.е. оценить близость реального движения руки с идеальным. Сглаженный график движения руки человека без нарушений мышечной активности гладкий, без резких скачков. Пример фильтрованных данных руки здорового человека показан на рис. 3. Для сравнения – график руки человека с ограничением мышечной активности (спастичностью), при совершении того же действия (рис. 4).



Рис. 3. Движение здорового человека

Из графиков видно, что они имеют схожую общую форму после фильтрации (примерная амплитуда также совпадает), но движение человека со спастикой не имеют гладкую форму графика (рис. 4). Примем, что человек не имеет проблем с мышечной активностью, если мы можем опознать его движение, как совпадающее с идеальным. Для оценки этого совпадения будем использовать алгоритм динамической трансформации временной шкалы, с помощью которого можно сравнить данные, различающиеся по длительности. Также на основе этих движений сможем попытаться узнать, какой из нескольких жестов был выполнен – жестов «движение вверх-вниз» и «движение по кругу».



Рис. 4. Движение человека со спастикой

Алгоритм динамической трансформации временной шкалы (DTW-алгоритм, Dynamic Time Warping) – алгоритм, который позволяет сопоставить для нахождения соответствия временные ряды, даже если они имеют разную длину, т.е. масштабируемы относительно временной оси [3].

Впервые алгоритм DTW применялся для определения, была ли произнесена одна и та же фраза, т.е. в задаче распознавания речи.

Данный алгоритм часто используется в задачах распознавания, но также нашел применение и в других сферах, например – распознавание речи.

Алгоритм оперирует временными рядами данных.

Временные ряды – данные, измеренные через некоторые (чаще всего равные) промежутки времени. Сопоставление двух последовательностей таких данных является стандартной задачей анализа данных.

Для вычисления отклонения одного ряда от другого может быть достаточно измерения евклидова расстояния между соответствующими точками временных последовательностей. Но в случаях, когда последовательности данных имеют схожие формы графиков, но эти формы не выровнены по оси X, определение евклидова расстояния не даст приемлимый результат. Чтобы определить подобие между такими последовательностями, ось времени одной (или обеих) последовательностей «деформируется» для достижения лучшего выравнивания [4].

Алгоритм позволяет измерить степень соответствия двух временных рядов данных, которые могут отличаться друг от друга скоростью изменения. Например, с помощью этого алгоритма можно выявить соответствие между записью голоса, где человек говорит с нормальной скоростью, и где начинает говорить быстрее ту же фразу. DTW находит применение в распознавании речи, жестов, обработки видео- и аудиоданных, если эти данные можно представить в виде сравнимых последовательностей.

Алгоритм DTW в своей реализации находит расстояние Левенштейна двух последовательностей, в случае данной задачи – данных показаний акселерометра для эталонного движения и для воспроизведенного движения.

Сбор данных с контролера реализован на языке C, как единственно возможным для программирования контроллера на базе Pic32. Для отладки использовалась отладочная плата Pic32 – Pinguino, как единственно доступная. В дальнейшем она будет заменена платой собственной разработки. Код сбора данных представлен в веб-приложении.

Принципиальных критериев выбора той или иной платформы веб-приложений для реализации приложения нет, так как средства работы с данными и графикой присутствуют во всех современных популярных платформах. Поэтому проект был реализован на языке Python, как предоставляющий удобный интерфейс для обработки данных и знакомый автору.

После успешной реализации модуля анализа данных, было проведено тестирование точности анализа. В этапе тестирования участвовали три человека – два человека без нарушения мышечной активности и один – с нарушением мышечной активности. В программе необходимо было определить совершаемое движение и является ли оно движением здорового человека.

Тестирование проводилось следующим образом: определялся порядок выполнения упражнений здоровым человеком и человеком, имеющим нарушение мышечной активности, а также порядок вида их движений. Эти данные были использованы для автоматического тестирования с предполагаемым результатом.

С помощью программы необходимо было определить вид движения и определить, является ли оно здоровым, и вывести это на экран.

Успешно было распознано 23 движений из 30.

Является ли оно здоровым или нет – было определено в 25 случаях из 30.

Полностью верных определений и вида движения, и качества – 23.

Ошибки связаны с точностью алгоритма и небольшой библиотеке идеальных движений, с которым можно сравнить тестовые данные. Почти невозможно определить вид движения, если это было спастическое движение. Это связано с тем, что это движение не является четко оформленным. Такие движения не подлежат классификации. Достаточно хорошо определяется вид здорового движения, так как оно достаточно четкое.

Данная система применена в проекте аппаратно-программного комплекса для реабилитации людей с ограниченной мышечной активностью, который был представлен на всероссийских конференциях и получил призовые места.

В перспективе планируется доработка данной системы для повышения точности оценки и реализации новых возможностей.

Литература

1. Jang I.J., Park W.B. Signal processing of the accelerometer for gesture awareness on handheld devices // The 12th IEEE International Workshop on Robot and Human Interactive Communication. – 2003. – P. 139–144.
2. Степурко К.В., Абдугалимова Е.Г. Сравнительный анализ методов фильтрации зашумленных изображений // Решетневские чтения. – 2014. – № 18. – P. 200–205.
3. Senin P. Dynamic Time Warping Algorithm Review [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://seninp.github.io/assets/pubs/senin_dtw_litreview_2008.pdf, своб.
4. Berndt D.J., Clifford J. Using Dynamic Time Warping to Find Patterns in Time Series // KDD workshop. – 1994. – V. 10(16). – P. 359–370.

**Семенова Ксения Романовна**

Год рождения: 1997

Институт правоведения и предпринимательства, юридический факультет, кафедра уголовного права, студент

Специальность: 40.03.01 – Юриспруденция

e-mail: ksenchik97@yandex.ru

**Коломойцев Владимир Сергеевич**

Год рождения: 1990

Университет ИТМО, факультет компьютерных технологий и управления, кафедра вычислительной техники, аспирант

Направление подготовки: 10.06.01 – Информационная безопасность

e-mail: dek-s-kornis@yandex.ru

УДК 651:004**ВНЕДРЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ДОСУДЕБНОЕ И СУДЕБНОЕ ДЕЛОПРОИЗВОДСТВО****Семенова К.Р.¹, Коломойцев В.С.²****Научный руководитель – аспирант Коломойцев В.С.²**¹Институт правоведения и предпринимательства, Санкт-Петербург;²Университет ИТМО

В работе исследовался вопрос повышения эффективности работы судебной системы путем внедрения информационных технологий в досудебное и судебное делопроизводство. Выявлено, что перевод всех документов в электронный формат, а также их последующее хранение в нескольких экземплярах во всех необходимых в ходе судебного производства местах, позволит ускорить сроки производства по делу, облегчить процедуру ознакомления с материалами дела и процесс их восстановления в случае полной или частичной утраты.

Ключевые слова: информатизация судов, делопроизводство, уголовный процесс, гражданский процесс, судебная система, судопроизводство, информационные технологии.

Целью исследования стало выявление путей повышения эффективности работы на стадиях досудебного производства и судебного разбирательства для упрощения делопроизводства.

Информационные технологии проникают во все большие сферы деятельности человека и в судебную систему, в частности. Внедрение информационных технологий является одним из ведущих направлений реформы судебной системы. Для удовлетворения постоянно возрастающей потребности общества в информации обо всех аспектах деятельности судебной системы требуется переход на более качественный уровень судопроизводства. Информатизация судов способствует повышению эффективности информационного обеспечения судей и организации доступа к информации по деятельности судов. Эффективность работы судов также может быть повышена, например, путем внедрения информационных технологий еще на стадии досудебного производства.

На сегодняшний день существует система, обеспечивающая информатизацию судов – Государственная автоматизированная система «Правосудие» (ГАС «Правосудие»). Однако она не предполагает полный переход на электронный документооборот. Как отмечает директор судебного департамента при Верховном суде

Российской Федерации Гусев А.В. – «С применением специального программного обеспечения ГАС «Правосудие» автоматизирован процесс судебного делопроизводства, полностью учитывающий движение дел – с момента поступления их в суд и до обращения к исполнению вступивших в законную силу судебных актов с последующей передачей законченных производством дел в архив. Ведутся соответствующие базы данных. Данное программное обеспечение позволило также автоматизировать процесс отображения информации о движении судебных дел на официальных сайтах судов, подготовки текстов судебных актов к публикации».

Из этого следует, что информатизация осуществляется только на стадии судебного разбирательства, т.е. система позволяет гражданам иметь доступ к судебным постановлениям всех судов, а также возможность подачи электронного обращения в суды, но не обеспечивает переход всех материалов дела в электронный формат и совсем не охватывает досудебную стадию процесса.

В результате необходимым является внедрение информационных технологий на стадиях досудебного разбирательства для обеспечения участникам процесса своевременного получения всей информации о производстве по делу, облегчения восстановления материалов дела, сокращения сроков производства. Так, например, сократятся сроки на ознакомление с материалами дела или упростится процедура проведения предварительного заседания за счет того, что все необходимые для ознакомления участников документы могут быть переданы им в электронном формате или заранее направлены на ознакомление, еще до проведения предварительного заседания.

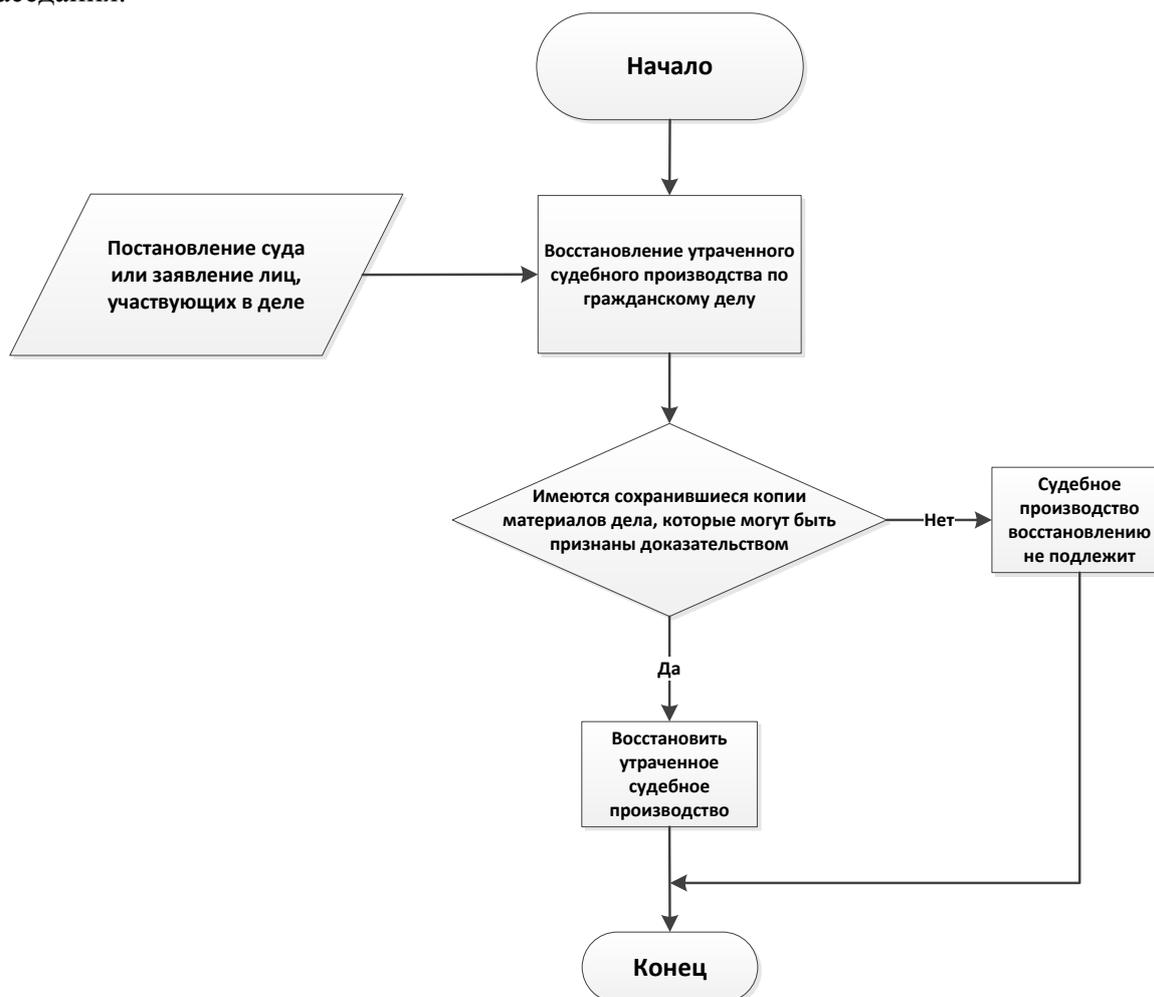


Рис. 1. Схема восстановления материалов дела в гражданском процессе

При более подробном рассмотрении процедуры восстановления материалов дела, отдельно в гражданском процессе (ст. 313–319 ГПК РФ) и в уголовном процессе (ст. 158.1 УПК РФ), можно сделать вывод, что все материалы хранятся исключительно в одном экземпляре (письменном): у следователя или дознавателя, в досудебном производстве в уголовном процессе; у судьи, в гражданском и уголовном процессах на стадии судебного разбирательства [1, 2]. Если у участников процесса имеются материалы дела, то их восстановление в случае полной или частичной утраты происходит путем их предоставления участниками процесса, как показано на рис. 1.

В уголовном процессе, восстановление материалов дела также возможно путем проведения процессуальных действий, как показано на рис. 2.

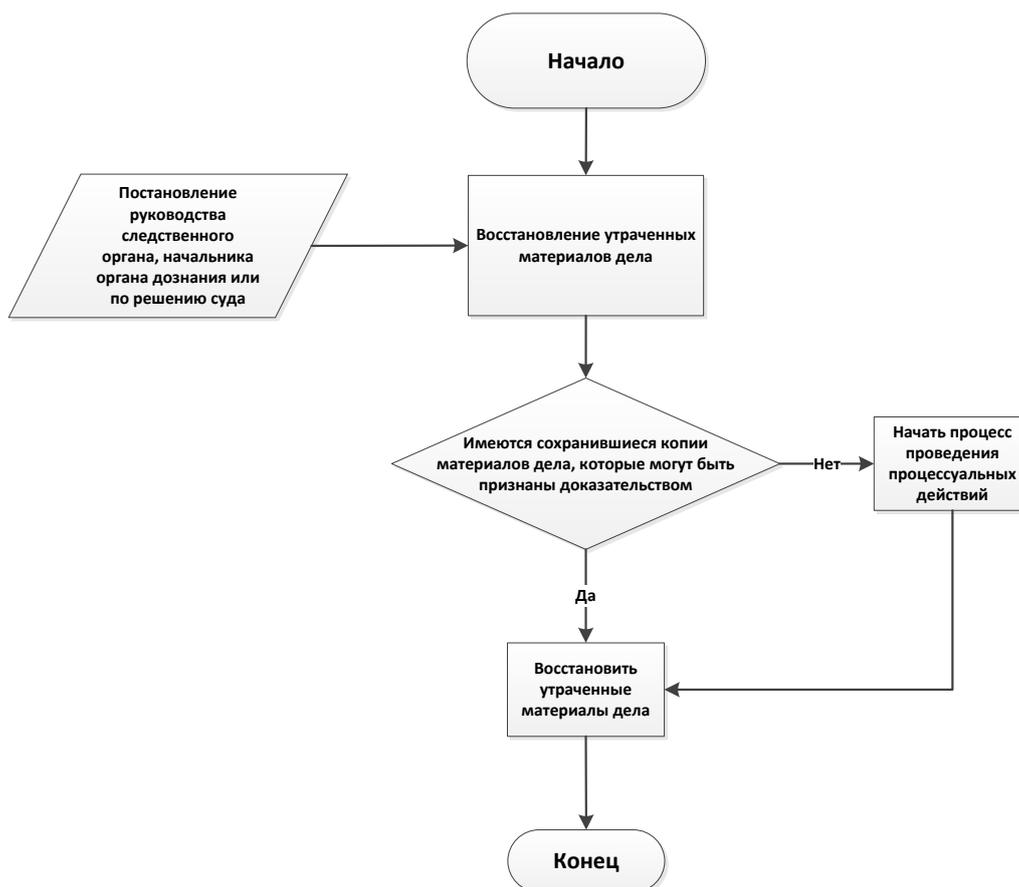


Рис. 2. Схема восстановления материалов уголовного дела

Такой подход не гарантирует полное восстановление всех материалов дела, так как не всегда:

- возможно повторно провести процессуальные действия;
- у участников имеются все материалы дела;
- участники дела желают восстановить некоторые из материалов дела (так как норма ГПК РФ и УПК РФ восстановления материалов дела, путем предоставления их копий участниками, не является императивной для самих участников).

Примером отсутствия желания у участников полного восстановления материалов дела может служить ситуация, сложившаяся после пожара в Кировском районном суде города Санкт-Петербурга. В результате данного инцидента было утрачено множество рассматриваемых в суде дел, большинство из которых так и не удалось восстановить в полном объеме.

Информатизация делопроизводства на стадии досудебного производства (начиная со стадии предварительного расследования) и на стадии судебного производства в судах первой инстанции позволит:

- ускорить процесс делопроизводства;
- обеспечить участникам процесса своевременное получение всей информации о производстве по делу;
- облегчить процедуру восстановления утраченных материалов дела;
- сократить сроки судебного разбирательства и производства по делу.

Внедрение информационных технологий в делопроизводство, а именно перевод всех документов и материалов дела в электронный формат и их дублирование на электронном носителе является одним из вариантов повышения эффективности работы системы делопроизводства [3]. Данный путь к решению задачи способствует снижению вероятности утраты материалов дела, объема хранимой информации, а также позволит уменьшить время на восстановление утраченных материалов. Это в дальнейшем будет способствовать сокращению архивного фонда судов.

Хранение материалов дела на электронном носителе и их дублирование в единую базу повысит сохранность материалов дела и упростит дальнейшую работу с ним следователей и дознавателей [4]. Это позволит участникам процесса сократить время на ознакомление с материалами дела, а также ускорит передачу дела в суд для дальнейшего его рассмотрения.

Следующий путь к информатизации и дальнейшей оптимизации работы делопроизводства заключается в полном внедрении информационных технологий на всех стадиях судопроизводства, а именно ведения всего процесса с использованием электронного документооборота. Материалы дела должны создаваться, подшиваться и передаваться уполномоченным лицам в электронном виде. Всем участникам процесса предоставляется необходимый доступ к информации для ознакомления с материалами дела [4]. Появляется возможность предоставления доказательств в электронном виде, что повышает эффективность судебного производства. Когда все документы приобретут электронный вид на получение результатов экспертиз, вызов участников в суд, заявление и разрешение ходатайств, вынесение постановлений суда и иных процессуальных действий будет требоваться меньшее количество времени.

Были рассмотрены несколько путей повышения автоматизации делопроизводства на разных его стадиях, с учетом особенностей условий каждой стадии процесса. Показана целесообразность автоматизации судебного и досудебного делопроизводства, приведены возможные пути и способы осуществления данного решения. Продемонстрированные пути позволяют уменьшить общий срок производства по делу, а также способствовать повышению эффективности судопроизводства и повышению качества работы судебной системы.

Литература

1. Уголовно-процессуальный кодекс Российской Федерации от 18.12.2001 № 174-ФЗ (принят ГД ФС РФ 22.11.2001) (ред. от 29.12.2017) // «Собрание законодательства РФ», 24.12.2001, № 52 (ч. I), ст. 4921.
2. Гражданский процессуальный кодекс Российской Федерации от 14.11.2002 № 138-ФЗ (ред. от 03.04.2018) // «Собрание законодательства Российской Федерации», от 2002 г., № 46, ст. 4532.
3. Kolomoitcev V.S., Bogatyrev V.A. Probabilistic and temporal indicators in the stage-by-stage use of information protection means // Herald of computer and information technologies. – 2017. – № 11(161). – P. 37–43.
4. Kolomoitcev V.S., Bogatyrev V.A. The fault-tolerant structure of multilevel secure access to the resources of the public network // Communications in Computer and Information Science. – 2016. – V. 678. – P. 302–313.

**Серова Алиса Игоревна**

Год рождения: 1993

Университет ИТМО, факультет безопасности информационных технологий, кафедра проектирования и безопасности компьютерных систем, студент группы № N4250

Направление подготовки: 10.04.01 – Информационная

безопасность и технология защиты информации

e-mail: aliceinwobderland25@gmail.com

УДК 004.932.2

**МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАРУШЕНИЙ ЦЕЛОСТНОСТИ
ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ**Серова А.И.¹Научный руководитель – к.т.н., доцент Спивак А.И.¹¹Университет ИТМО

Работа выполнена в рамках темы НИР № 617026 «Разработка методов интеллектуального управления киберфизическими системами с использованием квантовых технологий».

В работе рассмотрена проблема автоматизированного определения нарушений целостности изображений. Автором проанализированы существующие решения, отмечены их недостатки, и предложен новый метод, который позволяет автоматизировано определять наличие модификаций в изображении, либо подтверждать их отсутствие.

Ключевые слова: информационная безопасность, машинное обучение, изображения, целостность, модификации.

Введение. Определение подлинности цифровых фотографий является одним из главных целей такой науки, как форензика. Основными направлениями исследований являются: идентификация источника изображения (цифровой камеры) и обнаружение подделки. Существующие методы идентификации источника исследуют этапы обработки внутри цифровой камеры для получения необходимых параметров и определения источника-камеры. А обнаружение подделки, в свою очередь, проверяет наличие несоответствий в качестве изображения, либо определенных характеристик в качестве доказательств наличия модификации. Однако современные методы обнаружения несовершенны – они требуют наличия мощных вычислительных технологий, а также не являются универсальными: определенный метод направлен на обнаружение конкретного вида модификации изображения. В связи с этим проблема определения нарушений целостности изображений (по-другому, определение модификаций изображения) является актуальной в настоящее время [1].

Цели и задачи. Целью работы стало исследование существующих методов определения нарушений целостности изображений, а также разработка модели, позволяющей с достаточно высокой точностью определять модификации изображения, либо подтверждать их целостность.

В ходе работы были поставлены следующие задачи:

- провести исследование существующих методов, отметить их достоинства и недостатки;
- собрать базу данных оригинальных изображений;
- собрать и подготовить базу модифицированных изображений;

– разработать модель, которая позволит автоматизированно определять наличие модификаций в изображении.

В ходе работы были проанализированы существующие методы, позволяющие определять наличие модификаций в изображении. Было установлено, что методов, позволяющих выявлять одновременно несколько видов модификаций изображения, нет. Далее рассмотрены недостатки методов, которые направлены на выявление конкретного вида модификации изображения.

1. Копирование и вставка частей другого изображения. Данный вид является самым распространенным видом мошенничества благодаря простоте и эффективности. Обычно такое применяется, когда мошенник хочет скрыть конкретную часть изображения либо, наоборот, сделать дубликат этой части. Методы, которые способны обнаруживать и локализовывать область подделки, являются дорогостоящими в вычислениях, при этом обязательна человеческая интерпретация результатов. Кроме того, часто возникают ложные срабатывания. Некоторые из методов часто не могут обнаружить подделку, когда размер модифицированной области значительно меньше размеров целого изображения [2].
2. Сплайсинг изображений. Сплайсинг изображений – это замена фрагментов одного изображения на один или несколько фрагментов других изображений. Это преобразование – одно из самых простых и распространенных схем подделки изображений, поэтому распознавание наличия склеенных изображений – одна из фундаментальных задач в области обнаружения подделок. Обнаружение сплайсинга изображений не срабатывает, когда после самой операции сплайсинга применяются такие операции, как размытие. В таком случае четкость границ, используемая в качестве характеристик для обнаружения сплайсинга, теряет актуальность [3].
3. Компьютерная графика. С быстрым развитием технологий компьютерной графики, сложное программное обеспечение для рендеринга компьютерной графики может создавать удивительно реалистичные изображения. Фотореалистичные изображения могут быть созданы так, что их будет трудно визуально отличить от фотографических изображений. Одной из сложных и важных проблем является умение различать изображения, генерируемые компьютером от реальных изображений. Методы, которые позволяют определять реальную фотографию от компьютерной, хорошо работают для несжатых изображений или изображений JPEG с высоким коэффициентом качества. Производительность методов уменьшается с более высокой степенью сжатия JPEG и понижением дискретизации изображения.
4. Локальный шум. Подлинные изображения содержат некоторое количество шума, который равномерно распределен по всему изображению. При модификации изображения обычно добавляется локальный шум для того, чтобы скрыть наличие подделки, поэтому для определения подлинности изображений можно исследовать наличие выделяющихся областей по силе шума в изображении. Как правило, для всех методов возникает одна и та же проблема: поврежденные области трудно найти, когда разница в уровне шума по всему изображению очень мала. Также многократное пересохранение изображения позволяет равномерно распределить шум по всему изображению, тем самым скрыв следы модификации [4].
5. Размытие и резкость. Размытие является обычным процессом обработки цифровых изображений, которое используется для уменьшения степени разрывов на изображении или устранения нежелательных дефектов. Кроме того, данная операция является одним из широко используемых методов для скрытия наличия модификаций. Таким образом, выявление несоответствия размытия в различных областях изображения может быть полезным при обнаружении подделок изображений. Основным недостатком методов, которые выявляют наличие применения операции размытия, либо искусственно увеличенной резкости, является

обязательное участие человека для интерпретации результатов. Вследствие чего не исключены человеческие ошибки.

В качестве нового метода автором было предложено использование нейронной сети для определения наличия модификаций изображения. Нейронные сети применяются для решения задач классификации. Также преимуществом нейронных сетей является то, что они не направлены на обнаружение конкретного вида модификации, а способны обучиться на обнаружение любого типа модификаций.

Выборка оригинальных изображений была получена с сайта www.steves-digicams.com. Здесь представлены различные модели фотоаппаратов вместе с примерами оригинальных фотографий. Всего было получено 11431 фотография, принадлежащих 10 основным моделям фотокамер.

Модифицированные изображения были получены с сайта www.designcrowd.com. Данная категория изображений поделена на два вида – advanced и beginner. Первый вид – это изображения, которые были отредактированы максимально аккуратно и незаметно, а второй – это такие изображения, на которых легко заметить наличие модификаций.

Для реализации модели использовались следующие компоненты программной и аппаратной части соответственно:

1. Python 3.5.2 – высокоуровневый язык программирования;
2. Keras 2.1.4 – высокоуровневая библиотека для быстрой реализации Deep Learning алгоритмов;
3. GeForce GTX 1060 3 Gb, pci bus id: 0000:01:00.0, compute capability: 6.1’;
4. SqueezeNet – сверточная нейронная сеть.

Данная архитектура была выбрана неслучайно. Во-первых, до этого она не применялась в распознавании модифицированных изображений. Во-вторых, эта архитектура является одной из новейших и работает в три раза быстрее при том, что она может быть в 500 раз меньше, чем любая другая архитектура [2].

Все данные были разделены на две группы:

1. обучающие;
2. тестовые.

Для тестов было оставлено 500 оригинальных и 500 отредактированных изображений. Все остальные попали в обучающую выборку.

Обучение построено на следующих принципах:

- данные для обучения собираются в батчи (пакеты) – в одном батче 128 подизображений;
- за одну эпоху проходит 5000 батчей;
- один прогон состоит из 100 эпох.

В таблице представлены результаты классификации в зависимости от размера подизображения и типа классификации. Всего есть три типа классификации: origin/advanced – классификация оригинальных изображений и модифицированных, категории advanced; origin/beginner – классификация оригинальных изображений и модифицированных, категории beginner; origin/mix – классификация оригинальных изображений и модифицированных, категории beginner + advanced.

Таблица. Результаты классификации

Тип классификации	Размер подизображения			
	64×64	128×128	256×256	512×512
Origin/Mix	98,2%	98,4%	98%	97,6%
Origin/Advanced	99%	99%	99%	98,2%
Origin/Beginner	97,8%	97,6%	97,4%	95,8%

Основными результатами будем считать результаты классификации origin/mix. Исходя из полученных результатов, можно сделать вывод о том, что размер подизображения 128×128 является самым оптимальным по соотношению результат, %/время на обучение, с.

На рисунке представлен график, иллюстрирующий процент распознавания классов, при классификации типа origin/mix.

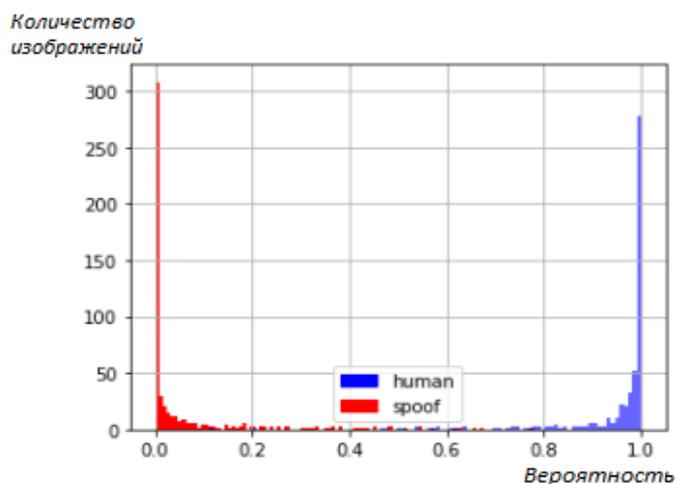


Рисунок. Результаты классификации типа origin/mix

В результате работы цель была достигнута, и все задачи решены. Разработанная модель, позволяющая автоматизировано определять модификацию изображений с высокой степенью вероятности – 98,4%, может быть улучшена посредством расширения базы, улучшения гиперпараметров нейронной сети. Это позволит применить данный метод на практике в областях, для которых целостность изображений является приоритетом [5].

Литература

1. Kashyap A. et al. An Evaluation of Digital Image Forgery Detection Approaches [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://arxiv.org/pdf/1703.09968.pdf>, своб.
2. Christlein V. et al. An evaluation of popular copy-move forgery detection approaches // IEEE Transactions on information forensics and security. – 2012. – V. 7. – № 6. – P. 1841–1854.
3. Farid H. Image forgery detection // IEEE Signal processing magazine. – 2009. – V. 26. – № 2. – P. 16–25.
4. Shelke P.M., Prasad R.S. Improving JPEG Image Anti-forensics // Proceedings of the Second International Conference on Information and Communication Technology for Competitive Strategies. – 2016. – P. 75.
5. SqueezeNet [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://github.com/DeepScale/SqueezeNet> (дата обращения: 19.05.2018).



Смирнов Егор Владимирович

Год рождения: 2001

Лицей № 344, учащийся 11-го класса

e-mail: egor.smirnov90@mail.ru

Севостьянова Екатерина Александровна

Год рождения: 1988

Лицей №344, преподаватель английского языка

e-mail: whatever505@rambler.ru

УДК 004.9

BIGGISH ENGLISH. АНГЛИЙСКИЙ 2.0 ИЛИ НОВЫЙ ВЗГЛЯД НА ИЗУЧЕНИЕ ЯЗЫКА С ПОМОЩЬЮ WEB-ТЕХНОЛОГИЙ

Смирнов Е.В.¹, Севостьянова Е.А.¹

Научный руководитель – преподаватель Севостьянова Е.А.¹

¹Лицей № 344 Невского района Санкт-Петербурга

В работе проведен анализ созданного авторами проекта в области обучения английскому языку. Приведено его описание с примерами используемых технологий и технологических решений. Большое внимание уделено дизайну и мельчайшим деталям проекта, отдельным алгоритмам и внешнему виду сайта. Для оценки актуальности выбранной темы и успешности выполненной работы были проведены опросы с последующим исследованием результатов.

Ключевые слова: английский язык, изучение языка, верстка, сайт, проект, Biggish English.

Введение. В современном мире знание английского языка является огромным преимуществом в социализации личности. Существует большое количество цифровых источников для получения знаний. К сожалению, актуальная информация хаотично разбросана по глобальной сети, а полезные функции существуют в различных сервисах по отдельности. Тем самым, для получения необходимой информации, как учащимся, так и учителям приходится пользоваться огромным количеством ресурсов. С целью успешного подхода к изучению английского языка не хватает площадки, которая содержала бы теоретические материалы, практические задания, тесты, аудиофайлы для улучшения восприятия языка на слух.

Представленный проект называется «Biggish English». Он представляет собой площадку, где компактно и методически обоснованно представлены теоретические материалы, практические задания и тесты. На разработанной площадке английского языка можно найти все необходимое как ученикам, так и учителям.

Главным аспектом сайта является возможность контролировать работу учеников в режиме online, отслеживать выполнение домашнего задания, корректировать и комментировать ошибки в выполнении заданий.

За рубежом имеются сервисы, которые создают инструменты для учеников и учителей, помогающих в обучении английскому языку. Наиболее востребованными зарубежными сервисами являются Quizlet [1] и Socrative [2]. Авторами решено было провести исследование по оценке эффективности использования этих сайтов для изучения английского языка учениками, обучающимися в Лицее № 344. Всего в исследовании участвовало 92 испытуемых. Ученики должны были оценить основные разделы сайтов, используя оценки «неприемлемо», «приемлемо» и «оптимально», а также сформировать общее впечатление о проектах. Опрос (рис. 1) показал, что тесты

Socrative были более оптимальны для учащихся (31% поставили оценку оптимально). Тесты Quizlet, напротив, были менее популярны среди учеников (71% поставили оценку неприемлемо) (рис. 1, а).

Более детальное исследование существующих решений (рис. 1, б) позволило определиться с тем, какие стороны различных частей сайта стоит развивать. Более того, авторы смогли четко понять, что требуется переосмыслить в тестах, играх и теории. Итоговая таблица, приведенная далее, показывает, как ученики в целом оценили каждый раздел сайтов.



Рис. 1. Результаты опроса учеников в отношении сайтов Socrative и Quizlet (а); результаты детального опроса (б)

В зарубежных сайтах отсутствуют разделы с теоретическим материалом, авторы восполнили этот пробел на своем сайте. Этот раздел получил у пользователей оценку оптимально. На следующем этапе были улучшены игры, тесты и созданы комнаты, которые также затем получили оценку оптимально. В связи с этим общее впечатление о данном сайте гораздо лучше, чем у зарубежных конкурентов. Положительному общему впечатлению также способствовал лаконичный дизайн сайта.

Таблицы и списки, находящиеся в разделе «Грамматика», достаточно эстетичны и информативны. На сдержанной бело-серой гамме цветов фона выделяются выразительные шрифты. Примеры предложений выделяются курсивом, а также имеют менее насыщенный цвет. Это позволяет визуально отделить их от основного текста. Заголовки имеют увеличенный отступ сверху, по сравнению с нижним отступом.

Навигация, таким образом, становится проще, ибо каждый заголовок «приклеен» к своему контенту. Специальные и особо важные слова или фразы выделяются красным цветом, как в большинстве учебников по английскому языку. Весь текст, кроме примеров, имеет более контрастное начертание. Это не только придает ему повышенную читабельность, но и улучшает восприятие теории. Ученики, по нашим исследованиям и опросам, предпочитают теорию в именно такой форме изложения, в какой мы ее предоставляем.

Ночной режим в теории также актуален. Он сберегает зрение при чтении в ночное время суток, сохраняя красоту контента. Помимо ночного режима, большим достоинством здесь являются ссылки-якоря. Любой ученик напротив заголовка может увидеть кнопку «сору». Она позволяет скопировать параграф и отправить его другому пользователю. При открытии такой ссылки, пользователь сразу попадет на нужную страницу и в нужный раздел, а благодаря OG-разметке [3], такие ссылки выглядят эффектно (рис. 2, а).

Одним из самых больших достижений сайта авторы считают создание тестов. Это набор написанных библиотек, позволяющий быстро и просто проводить контрольные и тестовые работы. Каждое задание в тесте – карточка, которая подстраивается под любой контент, находящийся в ней, а также под любой экран. Карточками удобно пользоваться как на компьютере, так и на мобильных устройствах. Большую часть

времени ученики видят тесты через телефон, ведь учителя могут давать им задания прямо во время урока. Ключевой момент здесь – генератор тестов. Он работает на собственном «движке», занимает очень мало места на диске, а также показывает высокую скорость работы. Тесты, которые учителя могут создавать с помощью генератора тестов, выглядят очень эффектно. Хорошим примером для демонстрации карточки, которая является ключевым элементом в дизайне тестов, послужит задание с простым вопросом и выбором ответа (рис. 2, б).

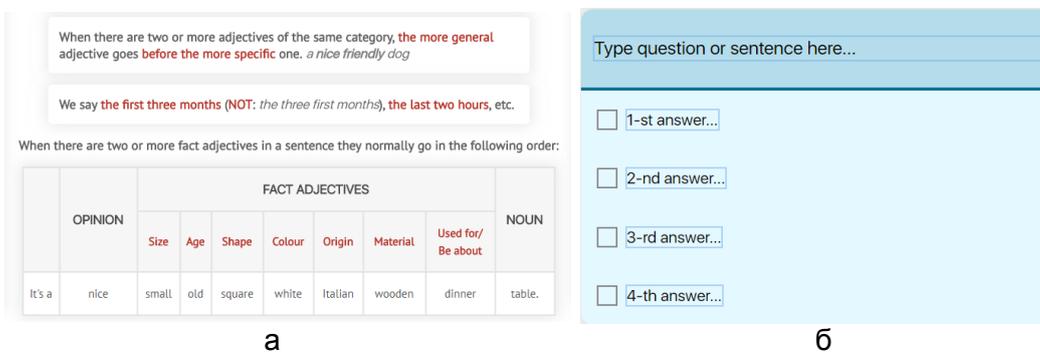


Рис. 2. Пример списка, таблицы и текста в разделе теории (а); карточка с заданием на выбор ответа в генераторе тестов (б)

Дизайн – это не один лишь внешний вид, а совокупность решений, которые сродняют нас с предметом. Ведь именно дизайн диктует то, что дверь у микроволновой печи открывается нажатием одной кнопки, именно дизайн позволяет нам без лишних инструкций сразу использовать новую технику и именно дизайн делает Biggish English желанным сервисом для каждого учителя и ученика.

Работа на сайте построена вокруг комнат. Каждая комната – маленький раздел с большим набором функций. Здесь учитель объединяется со своими учениками, чтобы проводить тесты и контрольные работы, отслеживать статистику и оставлять домашние задания. Комната – это пульт управления классом, учитель имеет все необходимые для этого функции: переименование учеников, приглашение в комнату, создание и подключение тестов, управление домашними заданиями, статистика и пр. Для наглядного представления комнаты приведено изображение (рис. 3). Комната выглядит по-разному для учеников и учителей. Ученики при входе в комнату могут просматривать выполненные ими тесты, разбирать задания, следить за текущей успеваемостью, видеть итоговую оценку и средний балл. Все данные наглядно представлены в диаграммах и графиках. Комнаты – это своеобразные личные кабинеты, позволяющие в удобной форме получать информацию о прогрессе своей успеваемости. Немаловажный фактор – оптимизация личного кабинета для мобильных устройств. Этот подход позволяет предоставлять все нужные ученикам функции даже на маленьких экранах.

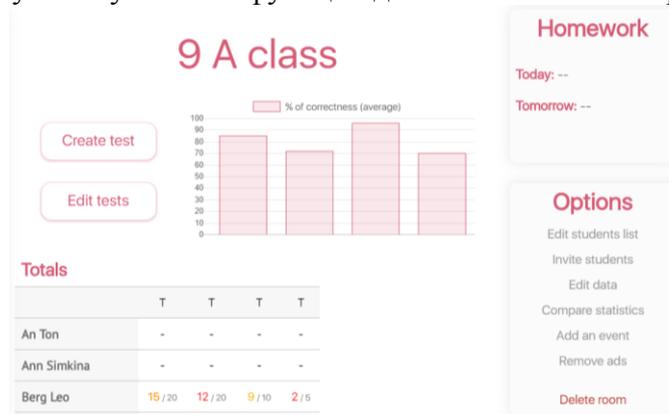


Рис. 3. Пример комнаты (основные разделы, графики и опции)

Применяемые технологии. Как и все современные проекты в области WEB-технологий, авторы использовали HTML 5, CSS 3 и Java Script (+ JQuery) для верстки и обновления элементов страницы. Для генерации страниц, сохранения информации, работы большинства алгоритмов используется PHP. Базы данных составлены с помощью WEB-приложения PhpMyAdmin [4]. Для построения графиков применяется библиотека Chart.js, для генерации QR-кодов [5]: qrcode.js.

Одна из самых интересных технологий – это генерация QR-кода. Из всех возможных способов передачи ученикам ссылки на вступление в группу, QR-код является самым быстрым. Нет ничего проще, чем навести камеру на квадрат и получить доступ к одной из лучших площадок для изучения английского языка Biggish English. Самые креативные учителя печатают эти коды на принтере и приклеивают на входе в кабинет. Так ученики могут входить в комнаты в любой момент и в любое время.

Для быстрой навигации по разделу грамматики был реализован поиск. Далее специальный алгоритм будет анализировать разделы, чтобы найти именно то, что требуется. Этот алгоритм основан на подсчитывании количества совпадений искомым фраз и сопоставлении этого количества с разделами. Более релевантные страницы занимают более высокое положение в выдаче, что позволяет отобразить пять самых подходящих для пользователя. Далее представлен пример алгоритма (написанного на языке JavaScript), отбирающего такие страницы:

```
for(var i = 0; i < content.length; i++) { for(var j = 0; j < content [i].length; j++) {  
  if(content [i][j].indexOf(search) != -1) { results.push([content [i][j], i]) }  
  ... }  
}
```

Данный поиск, как и QR-коды, генератор тестов, собственные библиотеки, ночной режим, серверный код и пр. был написан вручную с использованием редактора Notepad++.

Заключение. Проект «Biggish English» – это большой ресурс, который находится в процессе развития. Часть функций сайта уже реализована. Тестирование каждой новой функции приносит самые положительные отзывы. Стабильность работы сайта при сравнительно небольшом количестве пользователей не вызывает нареканий. Нашим проектом уже пользуются учителя английского языка. Ученики с удовольствием проходят тесты, сетуя лишь на отсутствие возможности списать. Важнейшей особенностью сайта являются специальные «комнаты». Они позволяют проводить аудирования, игры и тесты в классе в режиме онлайн, моментально получая результаты. Использование комнат помогает осуществлять контроль выполнения тестов, а также получать доступ к подробной статистике успеваемости. Система таких комнат легко осваивается учителями и учениками – это большое преимущество перед зарубежными аналогами. Помимо инструментов для учителей, проект предлагает расширенный функционал для учеников. Каждый ученик имеет свой личный кабинет, в котором он может отслеживать свою статистику, выполнять работы и многое другое. Именно простотой использования проект «Biggish English» отличается от всех существующих на сегодняшний момент сервисов в области изучения английского языка. Учитель больше не должен составлять вручную и печатать тесты, волноваться из-за списывания или придумывать разные варианты работ.

На данный момент сайт наполняется информацией и новым функционалом. Проект развивается, и авторы счастливы получать хорошие отзывы от новых пользователей.

Литература

1. Quizlet [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://quizlet.com/> (дата обращения: 14.05.2018).
2. Socrative [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.socrative.com/> (дата обращения: 14.05.2018).
3. Developer Facebook / Open Graph Markup [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://developers.facebook.com/docs/sharing/webmasters> (дата обращения: 14.05.2018).
4. phpMyAdmin contributors / About phpMyAdmin [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.phpmyadmin.net> (дата обращения: 14.05.2018).
5. whatisaqr.co / What is a QR Code? Why do you have to care? [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.whatisaqr.co.uk/> (дата обращения: 14.05.2018).

**Сундквист Ян Владимирович**

Год рождения: 1996

Самарский национальный исследовательский университет им. академика С.П. Королева, институт двигателей и энергетических установок, кафедра автоматических систем энергетических установок, студент группы № 2414 – 150304D

Направление подготовки: 15.03.04 – Автоматизация технологических процессов и производств

e-mail: ocintol@mail.ru

**Матюнин Сергей Александрович**

Год рождения: 1951

Самарский национальный исследовательский университет им. академика С.П. Королева, институт двигателей и энергетических установок, кафедра автоматических систем энергетических установок, д.т.н., профессор

e-mail: s.a.matyunin@yandex.ru

УДК 62.526

**РАЗРАБОТКА ПЬЕЗОПРИВОДА ДЛЯ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ
ФАЛАНГ ЗАХВАТОВ АНТРОПОМОРФНОГО РОБОТА**Сундквист Я.В.¹Научный руководитель – д.т.н., профессор Матюнин С.А.¹

¹Самарский национальный исследовательский университет им. академика С.П. Королева

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (уникальный идентификатор: прикладные исследования и экспериментальные работы RFMEF157816X0209).

В работе рассмотрено использование пьезопривода для создания микроперемещений в захвате антропоморфного робота. Привод характеризуется высокой точностью позиционирования и способностью фиксировать текущее положение с точностью до нанометров, в том числе при снятии напряжения питания.

Ключевые слова: пьезопривод, антропоморфный захват, пьезоактюатор.

Антропоморфная робототехника необходима человеку для выполнения множества различных работ, которые могут быть опасными для его жизни. К таким работам можно отнести выполнение различных операций в местах с радиоактивным и газовым загрязнением, в труднодоступных местах и опасных зонах, за пределами земной атмосферы и т.д.

Одной из актуальных проблем современной антропоморфной робототехники является повышение точности позиционирования. Современные традиционные электромеханические системы обладают высокими силовыми характеристиками и скоростями, однако решения данной проблемы с их помощью наталкиваются на целый ряд технических трудностей. При создании микроперемещений и работе на сверхнизких скоростях электромашинные устройства постоянного и переменного тока работают в неустойчивых режимах, что проявляется в нерегулярных колебаниях объекта позиционирования в направлении движения [1].

Также эти системы обладают следующими недостатками:

- отсутствие тормозного момента при сбросе питания;
- для прецизионного привода необходим редуктор;
- большие массогабаритные показатели;

– большие токи питания при принудительной остановке (перегрузке).

Существенное влияние на позиционирование оказывают нелинейности кинематических передач (люфты, сухое трение, зоны нечувствительности и т.д.), пренебречь которыми в данных условиях не представляется возможным. Анализ результатов литературного поиска показывает, что одним из способов решения этих проблем является использование пьезопроводов. Также пьезоэлектрические устройства занимают лидирующие позиции, обгоняя все остальные типы устройств еще и по таким показателям как энергопотребление и миниатюризация [1].

Пьезопровод основан на преобразовании электрической энергии в механическую с помощью обратного пьезоэлектрического эффекта и обладает высокой удельной силовой характеристикой по сравнению с другими приводами, высокой точностью позиционирования, радиационной и температурной стойкостью, не создает магнитные поля и не подвержен их воздействию, а также способен фиксировать текущее положение с точностью до нанометров, в том числе при снятии напряжения питания [2].

В настоящее время пьезопроводы широко применяются для точного позиционирования подвижных элементов в медицинской аппаратуре, фото- и видеотехнике, нанометрологии, станкостроении, приборостроении и т.д. Сферы применения пьезопроводов быстро расширяются. На сегодняшний день на практике применяется большое разнообразие пьезопроводов, отличающихся по характеру создаваемых перемещений, конструкции, диапазонам и скоростям перемещений и т.д. Основным элементом пьезопровода является пьезоактюатор. Все остальные дополнительные конструктивные элементы выполняют вспомогательные функции. Они обеспечивают жесткость конструкции, ее износоустойчивость, преобразование линейного перемещения в угловое и т.д. [1].

Преимуществами разработанного пьезопровода над другими пьезопроводами является простота конструкции, высокие прилагаемые усилия, возможность осуществления реверса.

К недостаткам пьезопроводов можно отнести нестабильность пьезоэлектрических параметров: старение пьезокерамики, влияние изменения влажности на электрические параметры и др. Однако эти недостатки можно устранить за счет усовершенствования конструкции привода, а также использованием адаптивной системы управления [3].

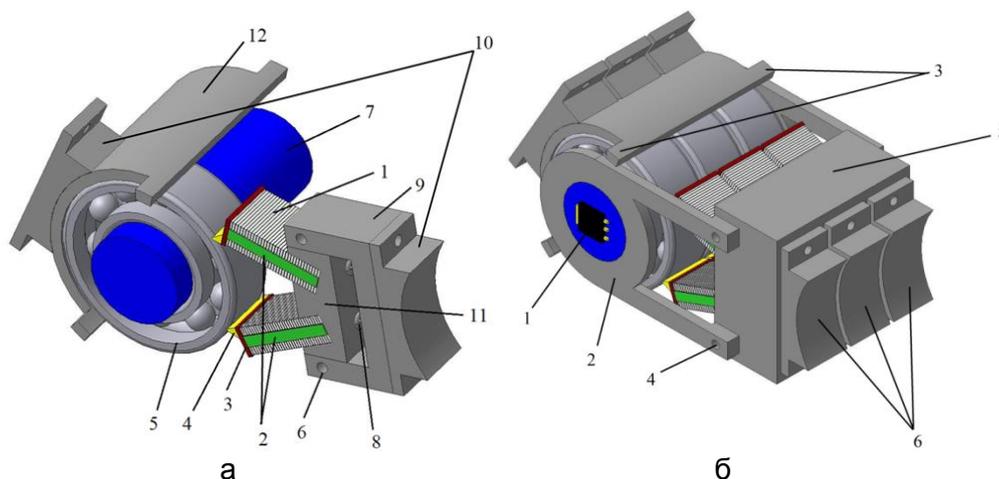


Рис. 1. Элемент пьезопровода (а); пьезопровод антропоморфного захвата (б)

На рис. 1, а представлен элемент разработанного пьезопровода. Привод реализуется на ударном взаимодействии между толкателем (пьезоактюатор) 1 и элементом вращения (подшипник качения) 5 в зоне их контакта. Элемент качения 5 расположен на валу 7. Толкатель представляет собой многослойный пьезоактюатор, представляющий собой набор из отдельных пьезоэлементов, выполненных в форме

прямоугольной пластины, с металлизированными поверхностями. Пьезопластины разделены между собой внутренними электродами, сделанными из сплава палладий – серебро. Между подвижной кареткой 11 и корпусом 9 расположены регулировочные пружины 8, выбирающие технологические зазоры, а также создающие начальный прижим толкателя к элементу вращения. В месте соприкосновения толкателя с элементом вращения располагается наконечник 4 из сверхтвердого износостойкого материала – алунда, установленного на прокладке 3. Подача управляющего напряжения на пьезоактюатор осуществляется через внешние электроды 2, сделанные из того же материала, что и внутренние электроды. К корпусу элемента вращения 12 присоединяются крепления 10 для соединения привода со следующей фалангой. Для пьезоактюатора были выбраны пьезокерамические пластины, материал пьезокерамики – НЦТС-2 производства фирмы «ЭЛПА».

На рис. 1, б показан пьезопривод, дополненный некоторыми конструктивными элементами: обоймой, креплением оси, ограничителями угла поворота, датчиком угла поворота. Обойма 5 используется для фиксации пьезоактюатора на оси. Крепление оси 2 обеспечивает крепление вала к обойме 5. Ограничители угла поворота 3 ограничивают угол поворота элемента вращения в диапазоне 180° . Также на валу привода расположен датчик угла поворота 1.

Антропоморфный пятипальцевый захват, выполненный на основе разработанного пьезопривода, находящегося в суставах – шарнирах, изображен на рис. 2. Пьезопривод имеет две группы пьезопреобразователей (верхнюю и нижнюю), расположенных в одной плоскости параллельно друг другу.

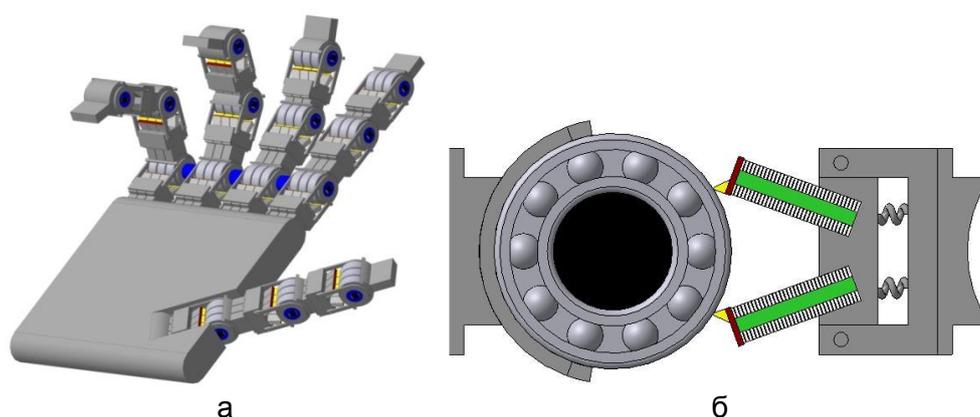


Рис. 2. Антропоморфный пятипальцевый захват (а); пьезопривод вид сбоку (б)

Для сгибания фаланги на нижнюю и верхнюю группу пьезопреобразователей подаются управляющие напряжения U_1 и U_2 соответственно. Управляющие напряжения U_1 и U_2 представляют собой переменное напряжение прямоугольной формы, находящиеся в противофазе. В результате чего нижняя группа пьезопреобразователей под действием управляющего напряжения U_1 начинает периодически растягиваться и сжиматься, тем самым приводя в движение элемент вращения за счет действия на него ударных воздействий. Верхняя группа пьезопреобразователей под действием управляющего напряжения U_2 начинает периодически сжиматься и возвращается в исходное положение, освобождая элемент вращения и не препятствуя его движению.

При снятии управляющего напряжения обе группы пьезопреобразователей возвращаются в исходное положение, фиксируя при этом фалангу в текущем положении. Осуществление реверса (разгибания) фаланги выполняется полностью аналогично операции сгибания фаланги, за исключением того, что в этом режиме верхняя группа пьезопреобразователей приводит в движение элемент вращения, а нижняя группа пьезопреобразователей освобождает элемент вращения и не препятствует его движению.

На рис. 3 приведена временная диаграмма управляющих напряжений для пьезоактюаторов.

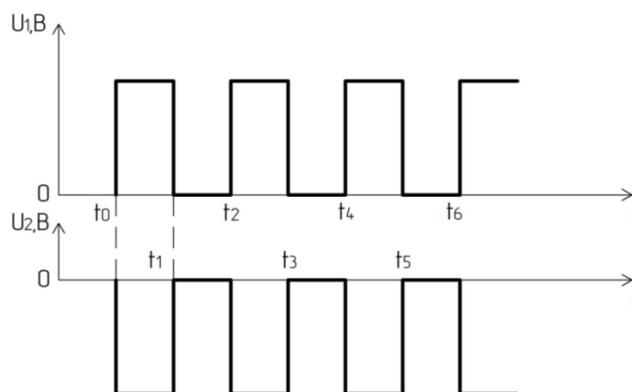


Рис. 3. Временная диаграмма управляющих напряжений для пьезоактюаторов

В ходе исследования были произведены расчеты и получены рабочие характеристики привода.

Тормозной момент определялся из выражения [1]:

$$Mt(U) = 3 \cos(\alpha) \frac{d_{33} \Omega_{pt}}{S_{33}^E h p_1} U R_1, \quad (1)$$

где $\cos(\alpha)$ – угол наклона актюаторов; d_{33} – пьезокерамический модуль; Ω_{pt} – площадь поперечного сечения пьезопластины; S_{33}^E – упругая податливость; $h p_1$ – толщина пьезопластины; U – величина управляющего напряжения; R_1 – радиус подшипника.

Угловая скорость определяется из выражения [1]:

$$\omega(U) = \frac{f_1 \cos(\alpha) \left(d_{33} \frac{U}{h p_1} - S_{33}^E \frac{F_p}{\Omega_{pt}} \right) l_1}{R_1}, \quad (2)$$

где f_1 – частота управляющего напряжения; F_p – сила прижатия актюатора; l_1 – длина актюатора.

Характеристики привода, полученные в ходе расчета, указаны в таблице.

Таблица. Характеристики привода

Угловая скорость вращения фланги, рад/с	4
Тормозной момент пьезопривода, Нм	2,25
Мощность, потребляемая захватом, Вт	71
Управляющее напряжение, В	50
Амплитудное значение силы тока, А	1,5
Частота управляющего напряжения, кГц	25

На основании полученного задания был разработан пьезопривод и определены габариты его конструкции – $3 \times 2 \times 1,6$ см, были выбраны пьезоэлементы из материала НЦТС-2, формой прямоугольных пластин размером $5 \times 2,5$ мм и тип пьезоактюатора – пакетный, общей длиной 8,4 мм. Также была разработана 3D-конструкция антропоморфного захвата.

Литература

1. Бобцов А.А., Бойков В.И., Быстров С.В., Григорьев В.В. Исполнительные устройства и системы для микроперемещений. – СПб.: СПбГУ ИТМО, 2011. – 131 с.
2. Панич А.Е. Пьезокерамические актюаторы. – Екатеринбург: ЮФУ, 2008. – 159 с.
3. Смирнов А.Б. Мехатроника и робототехника. Системы микроперемещений с пьезоэлектрическими приводами. Учеб. пособие. – СПб.: СПбГПУ, 2003. – 160 с.

**Таранов Сергей Владимирович**

Год рождения: 1991

Университет ИТМО, факультет безопасных информационных технологий, кафедра проектирования и безопасности компьютерных систем, аспирант

Направление подготовки: 10.06.01 – Информационная безопасность

e-mail: serg.tvc@mail.ru

**Левина Алла Борисовна**

Год рождения: 1983

Университет ИТМО, факультет безопасности информационных технологий, кафедра проектирования и безопасности компьютерных систем, к.ф.-м.н., доцент

e-mail: alla_levina@mail.ru

УДК 004.052.42+004.056.2

**ПРИМЕНЕНИЕ ВЕЙВЛЕТНЫХ КОДОВ ДЛЯ ЗАЩИТЫ КЭШ-ПАМЯТИ
ОТ АТАК ПО СТОРОННИМ КАНАЛАМ****Таранов С.В.¹****Научный руководитель – к.ф.-м.н., доцент Левина А.Б.¹**¹Университет ИТМО

Работа выполнена в рамках темы НИР № 617026 «Разработка методов интеллектуального управления киберфизическими системами с использованием квантовых технологий».

Кодовые конструкции, построенные на основе вейвлетных преобразований, широко применяются для защиты кэш-памяти от атак по сторонним каналам. В работе предложена схема использования вейвлетных кодов для защиты от атак на основе внедрения ошибок. Предлагаемая схема позволит снизить максимум вероятности маскировки при неравномерном законе распределения входных кодовых слов.

Ключевые слова: вейвлет-преобразование, кэш-память, атаки по сторонним каналам, вейвлетные коды.

Атаки по сторонним каналам получили новый виток развития в киберфизических системах [1–5]. Структурные элементы киберфизических систем всегда были уязвимы к атакам по сторонним каналам. В качестве ярких примеров можно привести атаки по времени на реализации RSA в стеке протоколов SSL/TLS [1, 2], атаки на аппаратную составляющую киберсистем [3, 4]. Однако преимущественно целью таких атак являются криптоалгоритмы, поскольку они идут неразрывно с информацией, конфиденциальность которой необходимо обеспечить.

Одним из элементов киберфизических систем, являющимся чувствительным к атакам по сторонним каналам, являются встроенные системы [5], а более конкретно – кэш-память микропроцессоров. В основной памяти на винчестерах, флеш-носителях конфиденциальность информации может быть обеспечена шифрованием, но в кэш-памяти использование криптоалгоритмов затруднено, так как последние сильно влияют на производительность устройства. И на практике в настоящее время встречаются ситуации, когда кэш-память в некоторых процессорах не имеет вообще никакой

защиты. В некоторых процессорах используется техника скремблирования, последнее время также часто используются алгоритмы из теории кодирования.

Таким образом, целостность информации в модулях энергозависимой памяти, такой как кэш-память в некоторых случаях обеспечивается кодами, исправляющими и обнаруживающими ошибки. В данной работе описано применение вейвлетных кодов для обеспечения целостности кэш-памяти при атаках на киберфизические системы. Целью работы являлось снижение вероятности маскировки ошибок, внедренных злоумышленником, при проведении атак по сторонним каналам на киберфизические системы.

Атаки по сторонним каналам, как и ряд других типов атак с активным злоумышленником могут быть описаны через модель алгебраических манипуляций. Данная модель описывает возможности злоумышленника при внедрении аддитивной ошибки в некоторое абстрактное устройство хранения (рис. 1). В свою очередь, защитным механизмом в данной модели является помехоустойчивый код, который представляет из себя совокупность функции кодирования E и декодирования D , которые являются отображениями информационных бит в разрешенное множество.

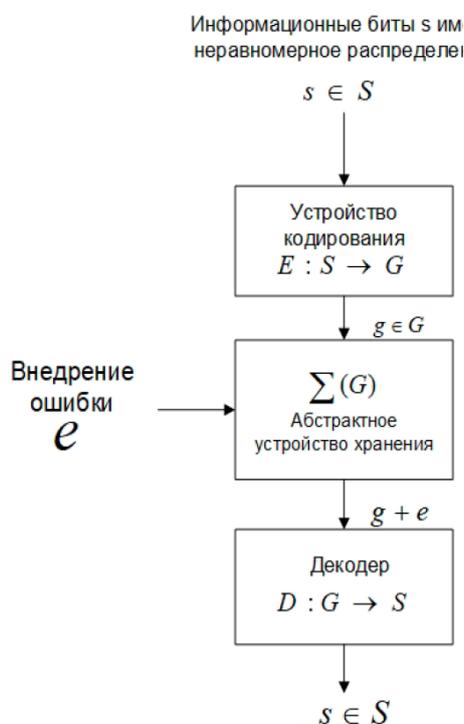


Рис. 1. Модель алгебраических манипуляций

Возможности злоумышленника достаточно широки, он имеет возможность внедрять ошибку, вносимая ошибка может быть любой кратности, она также может коррелировать с входными значениями. Одним из перспективных методов обеспечения целостности в модели алгебраических манипуляций являются вейвлетные коды. Данный тип кодов способен не только выявлять внесенные злоумышленником ошибки любой кратности, но и обладает устойчивостью при неравномерных распределениях входных кодовых слов.

Алгоритм применения помехоустойчивого кода для обеспечения целостности в кэш-памяти имеет структуру, описываемую далее. На этапе записи в кэш-память информационное сообщение кодируется путем добавления избыточности в разрешенную кодовую комбинацию и после пересылается в кэш (рис. 2). Если не использовать помехоустойчивое кодирование, то при записи информации в кэш возможно возникновение ошибок, которые могут привести к искажению передаваемого

кодowego слова. Следовательно, при считывании данных из кэша микропроцессор не может проверить, работает ли он с корректными данными или входная информация была искажена. Добавленное устройство кодирования между процессором и кэшем может использовать избыточные символы для того, чтобы проверить факт возникновения ошибок в процессе обработки информации микропроцессором. Применяемый метод кодирования напрямую влияет на шанс обнаружения ошибок.



Рис. 2. Фаза записи в кэш память. Процесс кодирования

Для реализации метода обеспечения целостности на основе вейвлетных кодов необходимо создать блок кодирования, который будет генерировать избыточные биты для каждого подмножества битов в процессе записи информации в кэш. Информационные биты параллельно используются для генерации основной и вейвлетной составляющей помехоустойчивого кода, и затем они складываются по некоторому модулю $p \in GF(q)$, зависящему от выбранной длины кода и переменных, задающих порождающую матрицу. Кроме основных блоков, выполняющих кодирование, предусмотрен банк коэффициентов масштабирующих и вейвлетных функций, данное хранилище можно использовать для настройки и подбора вейвлетного кода с необходимыми параметрами.

Схема обнаружения ошибок и частичного декодирования при выгрузке информации из кэша представляет собой проверку целостности и демаскирование информации перед обработкой информации процессором (рис. 3). Информационная и избыточная части выгружаются из кэша, но перед загрузкой в память проходят проверку целостности. Для извлеченной из кэша информационной части выполняется демаскирование и повторное кодирование вейвлетным кодом. В блок обнаружения ошибок поступает избыточная часть, полученная на основе информационной части, а также выгруженный из кэша вариант избыточной части, который был сгенерирован ранее на этапе кодирования. Результатом работы блока обнаружения ошибок будет подтверждение факта целостности данных, либо сигнал об ошибке.

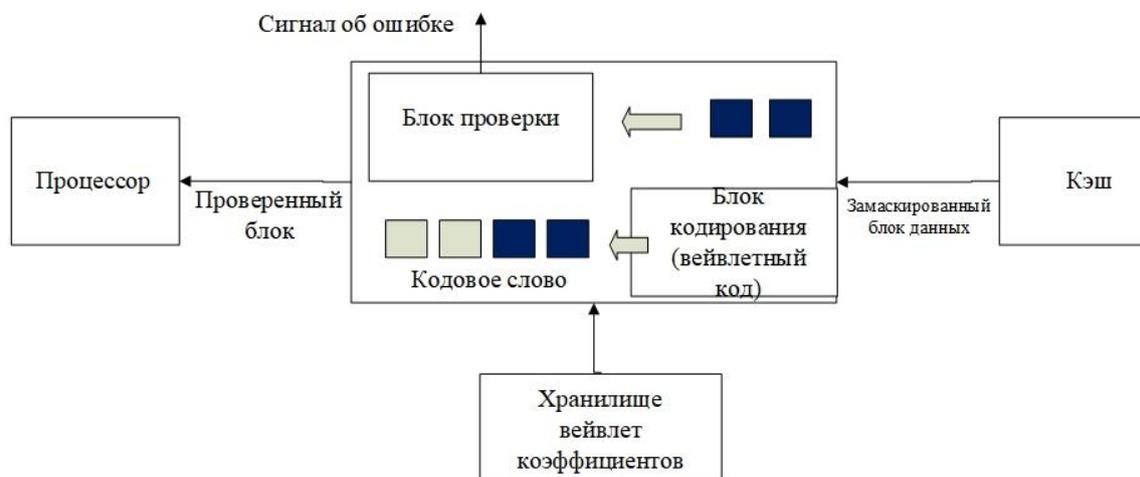


Рис. 3. Фаза считывания. Процесс исправления ошибок

С целью изучения характеристик построенной системы обеспечения целостности для защиты кэш-памяти были созданы программные модели блока обнаружения ошибок и системы кодирования на основе вейвлетных кодов. Применительно к 16-битной длине блока данных была выполнена имитация атаки внедрения ошибок на кэш-память микропроцессора. В разработанных программных моделях был проанализирован процент верно обнаруженных ошибок (рис. 4 и 5).

Статистика процента обнаруженных ошибок при алгебраических манипуляциях, построенная для программной модели кэш-памяти под защитой вейвлетного AMD-кода, показывает, что за счет использования вейвлетных кодов, удается снизить абсолютное отклонение от среднего значения процента обнаруженных ошибок с 2,2% до 0,6%.

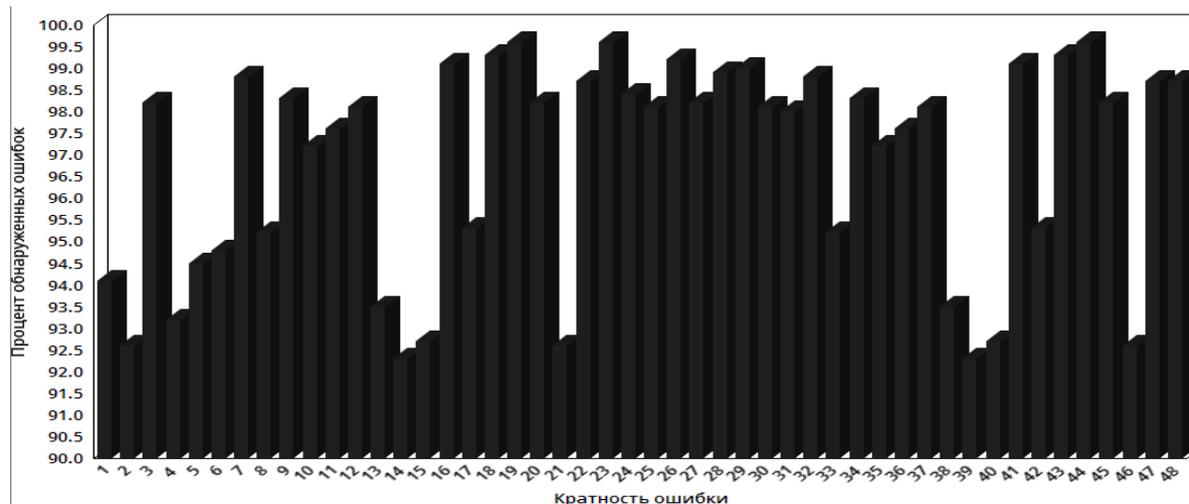


Рис. 4. Процент обнаруженных ошибок AMD-кода на основе функции Маорана–МакФарланда

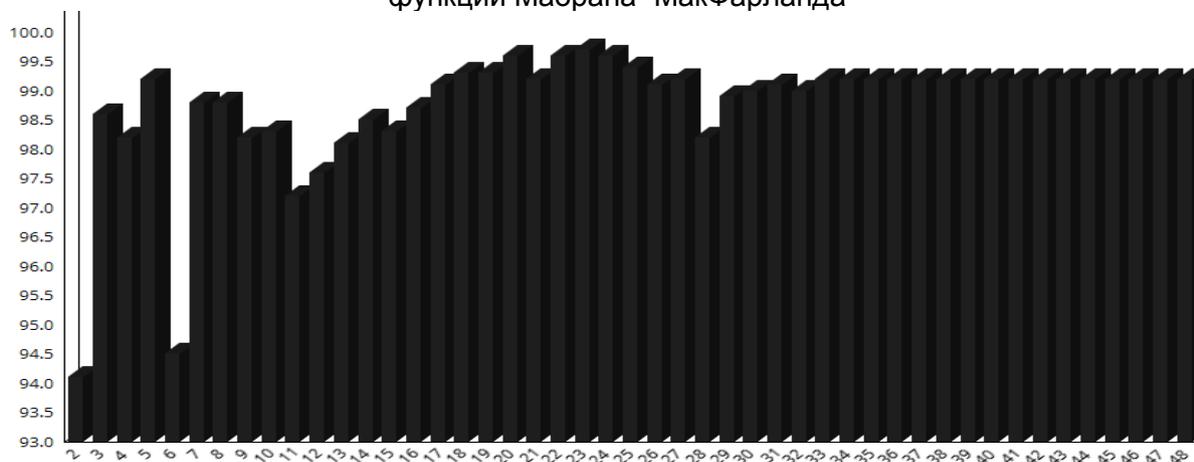


Рис. 5. Процент обнаруженных ошибок вейвлетного AMD-кода

Представленный метод обеспечения целостности позволяет:

- обнаруживать ошибки любой кратности. Данное свойство является необходимым при обеспечении защиты от атак по сторонним каналам в киберфизических системах, поскольку злоумышленник не имеет возможности выбрать класс ошибок с высокой вероятностью маскирования;
- маскировать данные, хранящиеся в кэш-памяти, таким образом, если злоумышленником будет получено содержимое кэш-памяти, он не сможет восстановить информацию без соответствующей маски.

Вейвлетные коды в отличие от существующих методов скремблирования, а также кодов, обнаруживающих ошибки, позволяют снизить максимум вероятности маскировки ошибки при неравномерном распределении входных кодовых слов.

Рассмотренный метод обеспечения целостности на основе вейвлетных кодов применим для защиты киберфизических систем не только в случае обнаружения и противодействия атакам на основе внедрения ошибок, но и как составной элемент схем обнаружения ошибок в аппаратных и программных реализациях криптоалгоритмов, устройств обработки и хранения информации.

Литература

1. Loukas G. Cyber-physical attacks: A growing invisible threat. – Elsevier Inc., Waltham, 2015. – 270 p.
2. Vincent H., Wells L., Tarazaga P. and Camelio J. Trojan Detection and Side-channel Analyses for Cyber-security in Cyber – physical Manufacturing Systems // *Procedia Manuf.* – 2015. – V. 1. – P. 77–85.
3. Sujit R.C. Novel Side-Channel Attack Model for Cyber-Physical Additive Manufacturing Systems [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://search.proquest.com/docview/1858812568/fulltextPDF/D1C4FD9D2E3E471BPQ/1?accountid=30405>, своб.
4. Sujit R.C., Al Faruque M.A. Side Channels of Cyber-Physical Systems: Case Study in Additive Manufacturing // *IEEE Design and Test.* – 2017. – V. 34(4). – P. 18–25.
5. AlDosari F. Security and Privacy Challenges in Cyber-Physical Systems // *Journal of Information Security.* – 2017. – P. 285–295.

**Тихоненко Дмитрий Сергеевич**

Год рождения: 1995

Университет ИТМО, факультет систем управления и робототехники, кафедра систем управления и информатики, студент группы № P4141

Направление подготовки: 27.04.04 – Управление в технических системах

e-mail: ds.tikhonenko@gmail.com

УДК 681.58

АНАЛИЗ МЕТОДОВ КОМПЕНСАЦИИ ИДИОПАТИЧЕСКОГО ДРОЖАНИЯ РУКТихоненко Д.С.¹Научный руководитель – к.т.н., доцент Чежин М.С.¹¹Университет ИТМО

В работе проанализированы различные методы компенсации непреднамеренного дрожания рук. Проведено сравнение медицинских и технических решений в данном направлении. Выделены основные направления развития технических решений и проведено их детальное сравнение.

Ключевые слова: компенсация, тремор, дрожание рук, болезнь Паркинсона, умная ложка.

Многие из нас даже не задумываются о процессе приема пищи. Поднести ложку ко рту для взрослого человека одна из самых легких задач. Но для людей, у которых движения рук неточны из-за тремора – этот процесс оказывается проблематичным и порой мучительным. Тремор может наблюдаться как у лиц с нарушениями двигательной системы, так и среди здоровых людей. При утомлении, сильных эмоциональных нагрузках, а также при патологии нервной системы дрожание рук существенно усиливается. Болезнь Паркинсона чаще всего встречается среди людей среднего и пожилого возраста, хотя может наблюдаться и у молодых людей. В России каждый год диагностируют болезнь Паркинсона почти у 10 тыс. человек. А во всем мире паркинсонизмом болеет больше 10 млн человек, и в перспективе к 2050 году их число может увеличиться до 50 млн [1]. Дрожание рук вызывает неудобства, затрудняя или даже делая невозможным выполнение задач повседневной жизни, таких как прием пищи.

Тремор является периодическим движением и имеет гармонический характер [2]. Частота колебаний сильно зависит от части тела подверженной дрожанию. Тремор, связанный с глазом может достигать 35–40 Гц. Коленный тремор или тремор предплечья значительно ниже и находится в диапазоне 3–5 Гц. В табл. 1 представлена характеристика частоты тремора для различных частей тела.

Таблица 1. Частота тремора для различных частей тела

Часть тела	Частота тремора, Гц	Смещение
Руки	1–8	7 мм
Предплечье	3–5	1–5 мм
Глаз	35–40	1,2 угловая минута
Тело (в положении стоя)	1,5	~2 мм

Амплитуда тремора достаточно изменчива, а также зависит от дополнительных факторов, таких как психологическое состояние, усталость мышц и прочее.

На данный момент медицина не может полностью излечить тремор. Современные фармакологические методы лечения обладают переменным успехом и не всегда действенны. Хирургические процедуры являются сложными, дорогостоящими и имеют ряд вредных побочных эффектов [3].

Для многих пациентов тремор является неизлечимым и риски, связанные с хирургическим вмешательством или проявления побочных эффектов от лекарств, слишком велики. Для этих людей был найден подход к лечению тремора с помощью внешних физических средств. Например, разработаны алгоритмы с цифровой фильтрацией дрожания, обеспечивающие использование компьютерной мыши человеком, обладающим недугом. К сожалению, эффекты тремора часто выходят за границы взаимодействия человека с компьютером, и в этих случаях идиопатическое дрожание не может быть компенсировано программным обеспечением без применения внешних аппаратных средств.

Существующие технические решения, направленные на компенсацию мышечных колебательных сокращений непроизвольного характера можно разделить на три основные группы: изолирующие, физически подавляющие и активно компенсирующие тремор [4]. Имеются также и иные технические методы решения вопроса о компенсации тремора рук, однако они не обеспечивают должного уровня качества. Рассмотрим подробнее каждый из них.

Изоляция тремора в целом подходит к решению проблемы, путем разделения пользователя и объекта взаимодействия. Например, роботизированная хирургия является формой изоляции тремора, поскольку входное движение оператора передается на компьютер (для фильтрации сигнала), который затем управляет манипулятором, который, в свою очередь, находится в контакте с чувствительными областями объекта операции. Вполне логично, что эти системы обладают значительным потенциалом. Но и недостатки также существенны. Во-первых, стоимость роботизированной хирургической системы нескольких десятков миллионов рублей, что делает ее использование непомерно дорогостоящим. Сама система обладает довольно сложным интерфейсом управления и хирургу, который работает с этой системой нужно иметь специальное образование. Ограничение взаимодействия человека и объекта операции также часто нежелательно. Например, многие хирурги не любят роботизированные системы, поскольку они не обеспечивают такую же обратную связь (визуальную, психологическую, тактильную и т.д.), которую обеспечивает физический контакт.

Физическое подавление тремора реализовано с помощью применения силы к пораженной конечности. Для обнаружения тремора и фиксации его амплитуды используются датчики, а сила прикладывается от какого-либо устойчивого предмета. Для достижения портативности используется так называемый экзоскелет (рисунок), который помогает контролировать движение мышц.

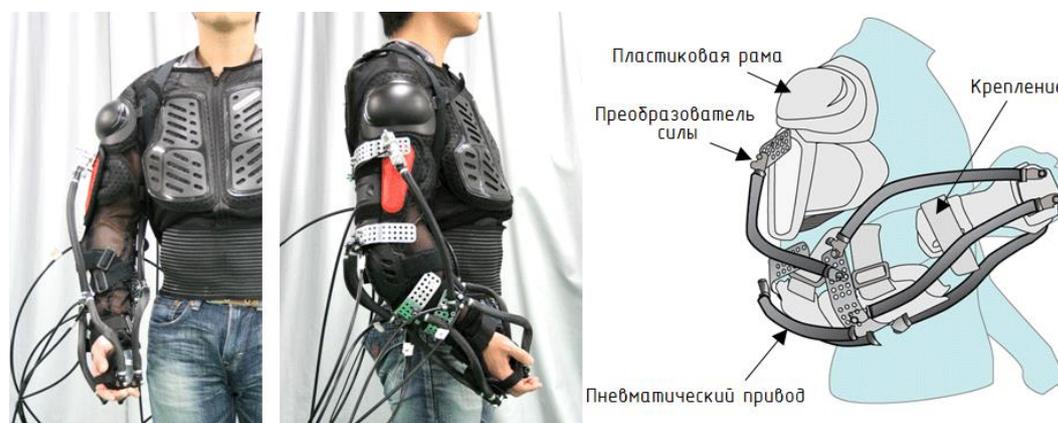


Рисунок. Прототип экзоскелета

Подавление тремора, достаточно актуальная и экономически более выгодная идея. Экзоскелет обойдется в разы дешевле устройства, которое используется в роботизированной хирургии. Минусом является то, что ненамеренное дрожание рук блокируется с приложением немалой силы аппарата. Это приносит большой дискомфорт пользователю, и довольно неприятно физически. Еще одной очень серьезной проблемой является то, что протез, как правило, не отличает непреднамеренные движения от задуманных, что делает любые намеренные движения очень трудными и неудобными.

Таким образом, для ручных систем необходим альтернативный подход, который обеспечит удобство и интуитивное управление в компактной оболочке.

Таким перспективным направлением является метод активной компенсации тремора. При таком подходе тремор никуда не исчезает, но его действия компенсируются через устройство, которое взаимодействует с пользователем и объектом, требующим стабилизации. Технология активной компенсации используется в высококачественных фотокамерах для стабилизации изображения. В них используют электромеханические или пьезокерамические исполнительные механизмы для перемещения объектива, компенсируя дрожание рук.

В то же время активная компенсация тремора имеет некоторые ограничения. Основная проблема заключается в технической реализации. Привод должен иметь высокий параметр быстродействия, работать с различными частотами, но при этом оставаться легким и компактным. Также привод исполнительного механизма должен быть достаточно прочным, чтобы выдержать условия ежедневного использования, а его энергопотребление должно быть сведено к минимуму, чтобы обеспечить небольшой, автономный аккумулятор.

Из трех технических решений активная компенсация тремора является наиболее перспективной для ежедневного использования человеком, на основе нескольких показателей, перечисленных в табл. 2.

Таблица 2. Сравнение различных технических подходов

	Изоляция	Физическое подавление	Активная компенсация
Размер	Большой	Средний, должен быть компенсирующий объект	Маленький
Масса	Очень большая	Средняя	Средняя/Маленькая
Стоимость	Очень высокая	Средняя (<50 000 руб.)	Средняя (<30 000 руб.)
Сложность(р.)	Высокая	Высокая	Высокая
Сложность(и.)	Высокая	Средняя	Низкая
Удобство	Среднее	Низкое	Высокое

Анализ методов показал, что метод активной компенсации обеспечивает наиболее приемлемое решение для портативных ручных систем. В этом случае тремор все также будет присутствовать, однако пользователь не будет испытывать боль и дискомфорт во время работы. Также устройство для компенсации идиопатического дрожания рук может быть весьма портативным и универсальным для повседневной деятельности, что не доступно для большинства устройств изоляции. В первую очередь это возможно за счет использования современных датчиков и микроконтроллеров. И, наконец, устройство для компенсации имеет значительный потенциал за счет интуитивного использования, практически без обучения, что позволит использовать его любому человеку.

Литература

1. Общественно-политическое интернет-издание «Газета.Ру» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.gazeta.ru/science/2016/04/17_a_8181575.shtml (дата обращения: 11.02.2018).
2. Tremor Fact Sheets [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.ninds.nih.gov/Disorders/Patient-Caregiver-Education/Fact-Sheets/Tremor-Fact-Sheet> (дата обращения: 02.02.2018).
3. Иллариошкина С.Н., Левина О.С. Болезнь Паркинсона и расстройства движений. – М.: НЦН РАМН, 2011. – 413 с.
4. Anupam P. The Development of an Antagonistic SMA Actuation Technology for the Active Cancellation of Human Tremor [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://deepblue.lib.umich.edu/bitstream/handle/2027.42/76010/apathak_1.pdf, своб.

**Трушина Юлия Алексеевна**

Год рождения: 1995

Университет ИТМО, факультет программной инженерии и компьютерной техники, кафедра графических технологий, студент группы № P1470

Направление подготовки: 09.04.02 – Информационные системы и технологии

e-mail: yuliatr13@yandex.ru

**Меженин Александр Владимирович**

Год рождения: 1960

Университет ИТМО, факультет программной инженерии и компьютерной техники, кафедра графических технологий, к.т.н., доцент

к.т.н., доцент

e-mail: mejenin@mail.ru

УДК 004.92

**ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ NORMAL MAPPING
ПРИ 3D-МОДЕЛИРОВАНИИ**Трушина Ю.А.¹Научный руководитель – к.т.н., доцент Меженин А.В.¹¹Университет ИТМО

Работа посвящена особенностям применения технологии Normal Mapping. Рассмотрены ключевые моменты в процессе создания качественной симуляции детализации на низкополигональных 3D-моделях. Приведены факторы, влияющие на возникновение искажений перенесенной детализации на разных стадиях создания реалистичной низкополигональной 3D-модели.

Ключевые слова: технология Normal Mapping, Normal Map, карта нормалей, HighPoly, LowPoly, детализация, моделирование.

Симуляция детализации поверхности на низкополигональных 3D-моделях является активно применяемой технологией в различных сферах компьютерной графики. В области анимации, кино, в разработке компьютерных игр, мобильных приложений, приложений виртуальной и особенно дополненной реальности необходимость экономии ресурсов накладывает определенные требования на полигональные характеристики трехмерных моделей и одновременное сохранение их визуальной реалистичности и зрелищности.

Технология Normal Mapping применяется для имитации детализации и неровностей поверхности трехмерных моделей. Она позволяет создавать иллюзию реалистичных детализированных поверхностей без увеличения количества полигонов 3D-моделей.

Технология применяется с помощью создаваемых карт нормалей – специальных изображений, каждый пиксель которых содержит информацию о направлениях поверхности высокополигональных 3D-моделей. Эти направления называются нормальями [1].

Для симуляции детализации геометрии моделей применяется запекание карт нормалей – это способ записывания информации о деталях высокополигональной 3D-модели в RGB-изображение карты нормалей, которое потом накладывается на

низкополигональную модель-копию, в результате чего на ней создается иллюзия детализации. Красный, зеленый и синий каналы RGB-изображения «переводятся» в X, Y и Z координаты нормалей поверхности модели. Разложение изображения карты нормалей на три канала представлено на рисунок, а.

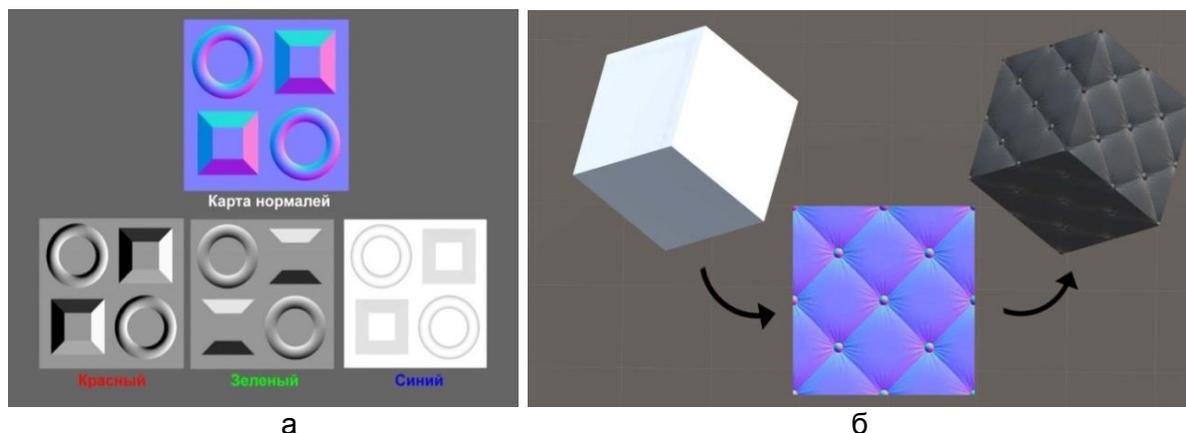


Рисунок. Карта нормалей в каналах R, G и B (а); применение карты нормалей на кубе (б)

В результате применения карт нормалей на простой геометрии появляются неровности поверхности, которых на самом деле на модели нет, как изображено в примере на рисунок, б.

Однако применение этой технологии влечет за собой проблему возможных возникновений искажений перенесенной детализации, что значительно уменьшает визуальные качества модели и лишает реалистичности.

Для получения качественного результата симуляции детализации необходимо следовать ряду правил, связанных с особенностями использования самой технологии, а также с важными моментами на разных стадиях создания 3D-моделей [2]:

1. особенности создания высокополигональной (HighPoly) модели:

- фаски (Bevels). Размер фасок для запекания на краях и скосах необходимо выбирать, учитывая расстояние, с которого модель будет рассматриваться. Создание слишком мелких фасок может привести к тому, что разрешение текстуры не позволит их запечь в карту нормалей или такие фаски не будут видны. Таким образом, нужно строить такие фаски, которых будет видно с заданного расстояния с учетом разрешения текстур;
- скосы (Slopes). При запекании HighPoly геометрии на LowPoly с выступающими и вдавленными поверхностями или деталями, на них необходимо делать небольшие скосы (slope). Без них слабозаметные детали могут не захватиться в процессе запекания нормалей с помощью проекционных лучей;
- детали (Details). В зависимости от размера 3D-модели и разрешения используемых текстур определяется, выполняется ли мелкая детализация на этапе HighPoly моделирования или она добавляется на этапе текстурирования. Зачастую слишком мелкие детали в принципе не могут быть запечены на объекте определенного размера, поэтому заранее важно проверить, какую детализацию разрешение текстур позволяет запечь на Normal Map;
- висящая геометрия (Floaters). Использование висящей геометрии на отдельных объектах помогает сэкономить время на добавление деталей без необходимости ее «вшивания» в основную геометрию главного объекта. Однако при расположении этих деталей около округлых и неплоских поверхностей могут возникать дефекты. Таким образом, floaters не будут вызывать искажения на карте нормалей, если будут расположены над плоской поверхностью, причем как можно ближе к ней;

2. особенности создания низкополигональной (LowPoly) модели:

- градиенты. Самая распространенная проблема при запекании карты нормалей – возникновение градиентов, которые появляются из-за необходимости скомпенсировать углы на геометрии LowPoly-модели. Наилучший вариант – запекание Normal Map без градиентов, в этом случае нормали LowPoly-модели и нормали HighPoly-модели будут сонаправлены. Этого можно добиться грамотным распределением групп сглаживания [3] и расстановкой ребер жесткости LowPoly-модели;
- жесткость граней (Soft/Hard) и UV-развертка. Запекание карт нормалей основано на расставлении ребер жесткости и том, как ведут себя при этой нормали. При назначении жесткости ребрам важно следовать правилу: между полигонами, находящимися под углом 90 градусов и меньше, лучше назначать hard-edges, в остальных случаях – soft. Кроме того, во всех местах, где расположены разрезы геометрии LowPoly-модели по UV-развертке, обязательно должны быть назначены жесткие ребра. При использовании hard-edges и групп сглаживания карты нормалей освобождаются от вынужденной компенсации, таким образом, соответствующие градиенты ослабляются;
- волнистость на Normal Map. Чаще всего проблема волнистости, возникающая на закругленных моделях (например, цилиндрах), решается с помощью выравнивания границ на карте нормалей в графическом редакторе. Существует другой способ устранения такой волнистости: можно запечь карту нормалей для цилиндра с увеличенным количеством сегментов и применить ее к исходному цилиндру. Результат запекания получится более качественным, однако результат наложения такой карты нормалей может оказаться некорректным;
- сопоставление LowPoly- и HighPoly-моделей. При ретопологии, т.е. создании низкополигональной копии исходной высокополигональной модели, новая геометрия должна строиться максимально близко к исходной. В противном случае запекаемая карта нормалей будет отображаться некачественно;
- триангуляция. Триангулировать модели, т.е. разбивать всю геометрию на треугольники, перед запеканием и использованием в среде игровых разработок необходимо самостоятельно. Это позволит избежать некорректной автоматической триангуляции при импорте моделей в игровые движки и последующего возникновения на них нежелательных затенений и дефектов;

3. особенности запекания карт нормалей:

- сброс трансформации. Перед запеканием карты нормалей важно сбросить трансформацию LowPoly-модели. В случае если модель была трансформирована (масштабирована или прокручена) и были созданы некорректные локальные координаты, без сброса трансформации могут возникнуть ошибки в запекании;
- отступы UV-развертки (padding). Для избежания возникновения швов на границах соседних частей UV-развертки необходимо устанавливать достаточные отступы (padding) [4];
- инвертирование нормалей. Зачастую можно столкнуться с проблемой некорректного отображения карты нормалей, связанного с инверсией зеленого RGB-канала карты [5]. Различные программы работают с этим каналом по-разному. Для отладки отображения следует инвертировать этот канал, используя соответствующие настройки программы или изменить его с помощью графического редактора, например, Photoshop. В таблице приведены направления нормалей в каналах карт нормалей различных программ, откуда видно, что такие программы, как, например, 3dsMax и Unreal Engine используют инверсированный зеленый канал.

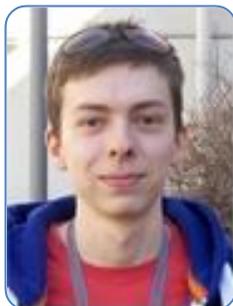
Таблица. Ориентация каналов в различных программах

Программа	Красный канал (X)	Зеленый канал (Y)	Синий канал (Z)
3dsMax	+	–	+
Maya	+	+	+
Toolbag	+	+	+
Modo	+	+	+
Unreal Engine	+	–	+
Unity	+	+	+

На разных стадиях создания 3D-моделей необходимо учитывать особенности их подготовки к применению технологии Normal Mapping. Немаловажным фактором, влияющим на качество перенесенной с помощью карт нормалей детализации, является специфика самих 3D-моделей: анимированные и статичные объекты требуют своих подходов в подготовке к симуляции детализации на их низкополигональных моделях.

Литература

1. Normal map // Polycout [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://wiki.polycount.com/wiki/Normal_map, своб.
2. Особенности применения карт нормалей // Render.ru [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://render.ru/books/show_book.php?book_id=3033, своб.
3. Tips for Creating Perfect Normal Maps Every Time // Pluralsight [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.pluralsight.com/blog/tutorials/tips-creating-perfect-normal-maps-every-time>, своб.
4. Texture Baking // Polycout [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://wiki.polycount.com/wiki/Texture_Baking, своб.
5. Castaño Ignacio Real-Time Normal Map DXT Compression [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://developer.download.nvidia.com/whitepapers/2008/real-time-normal-map-dxt-compression.pdf>, своб.

**Федоренков Владислав Григорьевич**

Год рождения: 1995

Университет ИТМО, факультет программной инженерии и компьютерной техники, кафедра вычислительной техники, студент группы № Р4110

Направление подготовки: 09.04.04 – Информационно-вычислительные системы

e-mail: vlad.fedorenkov@gmail.com

**Балакшин Павел Валерьевич**

Год рождения: 1984

Университет ИТМО, факультет программной инженерии и компьютерной техники, кафедра вычислительной техники, к.т.н., доцент

e-mail: pvbalakshin@gmail.com

УДК 004.434:004.05

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРЕДМЕТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫХ ЯЗЫКОВ (DSL)
ПРИ ТЕСТИРОВАНИИ ВЕБ-ИНТЕРФЕЙСОВ****Федоренков В.Г.¹, Балакшин П.В.¹****Научный руководитель – к.т.н., доцент Балакшин П.В.¹**¹Университет ИТМО

В работе рассмотрен вопрос качественного тестирования веб-приложений. Показаны актуальные проблемы, для решения которых может быть использован предметно-ориентированный язык (DSL). Показано взаимодействие с распространенной системой тестирования Selenium при разработке DSL. Определены функциональные и нефункциональные требования к разрабатываемому языку. Сформированы рекомендации по корректному и эффективному написанию DSL. На примере показано преимущество использования DSL.

Ключевые слова: тестирование, DSL, веб-интерфейс, веб-приложение, Selenium.

Введение. Многие специалисты в области программного обеспечения считают, что программное обеспечение для тестирования имеет решающее значение для обеспечения качества финального продукта. Зачастую стратегии тестирования в средних и крупных проектах (из-за сравнительно большого числа участников данного процесса) сильно варьируются в плане используемых инструментов, уровней тестирования, методологий, уровня автоматизации. При этом неизменно самым желанным результатом является выпуск качественного продукта с минимальным числом ошибок. В общем случае ключ к качественному тестированию кроется в ответах на три фундаментальных вопроса:

1. Каким образом можно обеспечить раннее начало процесса тестирования и наименьший интервал между запусками тестов с целью снижения рисков?
2. Каким образом можно обеспечить достаточную продолжительность поддержки тестов, их улучшение и повторное использование?
3. Как можно вовлечь в процесс тестирования все заинтересованные стороны с целью максимального соответствия всем поставленным требованиям?

Так как веб-приложения – это одна из наиболее распространенных областей разработки современного программного обеспечения, то необходимо ответить на три поставленных вопроса именно с точки зрения веб-приложений.

Одним из решений в вопросе минимизации рисков является автоматизация [1]. В теории при автоматизации используемого набора тестов приложение может тестироваться так часто, как только позволяет аппаратное обеспечение. И если автоматизация начинается на достаточно ранних этапах разработки программного обеспечения, то набор тестов растет вместе с тестируемой системой (SUT, System Under Test). Однако зачастую автоматизированные тесты очень тяжело поддерживать в работоспособном состоянии из-за их нестабильности. Нередко после каждого относительно значимого изменения в приложении в процессе его разработки может быть нарушена работа большей части тестов, что приводит к необходимости внесения ряда правок в ставших неактуальными тестах. Инструментальная поддержка для частого и единообразного изменения автоматических тестов во времени в коммерческих инструментах отсутствует.

С точки зрения вовлечения в процесс тестирования всех заинтересованных сторон, автоматическое тестирование с использованием традиционных средств, как правило, также не всегда уместно. У автоматизированных тестов есть проблема с представлением: тесты обычно представлены наборами действий, которые имеют смысл для компьютеров, а не для экспертов по бизнес-логике или для бизнес-аналитиков. Часто подобные тесты оказываются совершенно недоступными для восприятия людьми без определенных технических знаний.

Вовлечение всех заинтересованных сторон в процесс тестирования требует, чтобы эксперты, клиенты, тестировщики и разработчики постоянно и эффективно общались друг с другом. Раньше многие команды разработчиков программного обеспечения полагались на обширную документацию по требованиям, чтобы эффективно общаться в подобных группах. Однако требования в таком контексте требуют значительного объема перевода. Эксперты по предметным вопросам (SME, Subject Matter Expert) и аналитики должны переводить потребности заказчика в требования. Разработчики должны перевести эти требования в код, а тестировщики должны самостоятельно перевести те же требования в тесты. Наконец, каждый из этих переводов должен соответствовать первоначальным ожиданиям заказчика, которые могут меняться в ходе разработки.

Решением перечисленных проблем может стать создание собственного языка (DSL, Domain-Specific Language), который позволил бы тестировщикам создавать лаконичные тестовые сценарии, обладающие следующими характеристиками [2]:

1. простота сопровождения и миграции;
2. инкапсуляция сложных технических операций, свойственных используемому языку программирования, за простыми операторами;
3. тесная связь с бизнес-моделью проекта.

Исходя из этого, цель данной работы – обоснование эффективности создания предметно-ориентированных языков и разработка рекомендаций по написанию таких языков. Для этого также необходимо было рассмотреть сопутствующие задачи, которые можно решить с помощью DSL.

Во-первых, DSL для SUT позволяет команде стандартизировать определенный набор терминов для описания домена, что минимизирует ошибки перевода. Во-вторых, DSL позволяют нетехническим заинтересованным сторонам взаимодействовать с тестировщиками более конструктивно. Правильно спроектированный DSL, как минимум, сделает тесты легко читаемыми для всех заинтересованных сторон. При правильном развитии такого DSL любые нетехнические пользователи, в том числе SME, могут быть вовлечены непосредственно в процесс написания тестов.

В рамках тестирования интерфейсов веб-приложений главным инструментом, вокруг которого и будет сфокусирована разработка DSL, является библиотека Selenium. Такой выбор является действительно простым и однозначным, ведь только Selenium предоставляет достаточный функционал для взаимодействия с приложением

посредством большинства современных браузеров. Такое взаимодействие возможно благодаря набору драйверов, выпускаемых непосредственно компаниями-разработчиками браузеров. Именно благодаря драйверам осуществляется имитация действий пользователя в веб-приложении, алгоритм которых может быть изложен на одном из множества поддерживаемых прикладных языков программирования, например, на Java, C# и других. Для разработки прототипа языка в данной работе был использован язык Java, однако подобный DSL подобным образом может быть реализован и на других поддерживаемых языках.

В качестве домена, т.е. веб-приложения, для тестирования которого и был разработан прототип, было использовано приложение E2E-DIAGNOSTIK, представляющее собой пользовательский интерфейс для работы с системой комплексной диагностики сети, используемой в немецком концерне Deutsche Telekom AG. Интерфейс этого приложения отличается нетривиальной структурой и содержит практически все возможные веб-компоненты, что позволяет отлично продемонстрировать работу DSL. Требования к языку были определены следующим образом.

Функциональные требования:

1. полная совместимость с актуальной версией библиотеки Selenium;
2. максимальное соответствие используемой бизнес-модели;
3. имплементация работы со всеми наиболее часто используемыми элементами веб-страниц (кнопки, текстовые поля, селекторы, выпадающие списки и т.п.);
4. возможность параллельного выполнения операций;
5. наличие понятного для конечного пользователя языка функционала для логирования.

Нефункциональные требования:

1. читаемость (в частности – для нетехнических пользователей).

На основе данных требований можно сформировать следующие рекомендации по написанию языка:

1. для обеспечения наилучшей читаемости разрабатываемый язык должен оперировать только в терминах бизнес-логики. Любые технические операторы лучше оставить «за кадром»;
2. различные способы конфигурирования тестов для различных сценариев их использования. Для нетехнических пользователей будет намного понятнее возможность конфигурирования теста непосредственно в его коде при помощи специальных конструкций в DSL;
3. при использовании такой структуры языка, в которой каждый метод представляет собой обратный вызов, цепочка из которых начинает свое исполнение лишь при достижении замыкающего метода такой цепочки, целесообразно использование Java Concurrency API. Это заметно усложняет внутреннее устройство языка (но не саму структуру DSL), но позволяет удобно организовывать параллельную обработку выполняемых в тесте проверок;
4. уже на начальном этапе разработки языка стоит спланировать, каким образом будет организовано логирование. Конечно, подробный лог в IDE или в консоли всегда может быть полезным и информативным, но драйвера Selenium позволяют встроить дополнительные элементы прямо в тестируемую страницу, благодаря чему можно, как, например, подсвечивать проверяемые элементы, так и отображать более наглядный лог действий. Дополнительно возможно организовать сохранение снимков экрана или видеопроцесса выполнения теста в случае обнаружения ошибок. На практике это позволяет значительно быстрее находить источник ошибки, причем подобный функционал работоспособен даже при запуске браузера в headless-режиме, что особенно полезно для автоматических тестов.

Пример структуры кода без использования DSL и с использованием DSL на основе вышеуказанных требований представлен на рис. 1.

<pre> logger.debug("Verifying icons in 'Diagnosestart' panel."); logger.debug("1) Icon 'VoIP-Dienste fehlerhaft'; expected - Error"); assertTrue(Tools.isDiagnoseIconError("VoIP-Dienste fehlerhaft", wait)); logger.debug("2) Icon 'PFS-Fehler gefunden'; expected - Error"); assertTrue(Tools.isDiagnoseIconError("PFS-Fehler gefunden", wait)); logger.debug("3) Icon 'Ereignis-Ermittlung abgeschlossen'; expected - OK"); assertTrue(Tools.isDiagnoseIconOk("Ereignis-Ermittlung abgeschlossen", wait)); logger.debug("4) Icon 'Konfiguration fehlerfrei'; expected - OK"); assertTrue(Tools.isDiagnoseIconOk("Konfiguration fehlerfrei", wait)); logger.debug("5) Icon 'Anschluss synchron'; expected - OK"); assertTrue(Tools.isDiagnoseIconOk("Anschluss synchron", wait)); logger.debug("6) Icon 'Zugangsnummer OK'; expected - OK"); assertTrue(Tools.isDiagnoseIconOk("Zugangsnummer OK", wait)); logger.debug("7) Icon 'Keine Sperren vorhanden'; expected - OK"); assertTrue(Tools.isDiagnoseIconOk("Keine Sperren vorhanden", wait); </pre>	<pre> .diagnoseProzesse() .togglePanel("Diagnosestart") .isProcessIndicatorOk("Anschluss synchron") .isProcessIndicatorOk("Zugangsnummer OK") .isProcessIndicatorOk("Keine Sperren vorhanden") .isProcessIndicatorOk("Ereignis-Ermittlung abgeschlossen") .isProcessIndicatorOk("Remotezugriff zugestimmt") .isProcessIndicatorOk("CPE-Informationen OK") .isProcessIndicatorOk("Konfiguration fehlerfrei") .isProcessIndicatorOk("Port-Status MSAN OK") .isProcessIndicatorNone("DSL-Proaktiv: Ergebnisse unbekannt") .isProcessIndicatorError("PFS-Fehler gefunden") .isProcessIndicatorError("VoIP-Dienste fehlerhaft") .ende() .ende() </pre>
а	б

Рис. 1. Пример кода без использования DSL и с его использованием

Как видно, даже не самая сложная реализация DSL при тестировании веб-интерфейса способна значительно «очистить» код от практически любых артефактов, несвязанных непосредственно с бизнес-логикой. Это не только улучшает читаемость кода в целом, но и потенциально приводит к увеличению скорости написания тестов, легкости их дальнейшего сопровождения.

Взаимодействие с пользователем в процессе выполнения теста (от простого логирования до управления выполнением) легко может быть реализовано путем добавления дополнительных элементов управления на странице, генерируемых непосредственно DSL, интуитивно-понятно конфигурируемых в коде и представленных на рис. 2.

```

.konfiguration()
.einstellungen()
.datei("src/test/resources/test.properties")
.ende()
.log()
.logLevel(Level.TRACE)
.ende()
.debug(true)
.fehlerIgnorieren(false)
.invalideMarkieren(true)
.schrittweiseAusfuehren(false)
.ende()
.ende()

```

Рис. 2. Пример конфигурации процесса исполнения и логирования

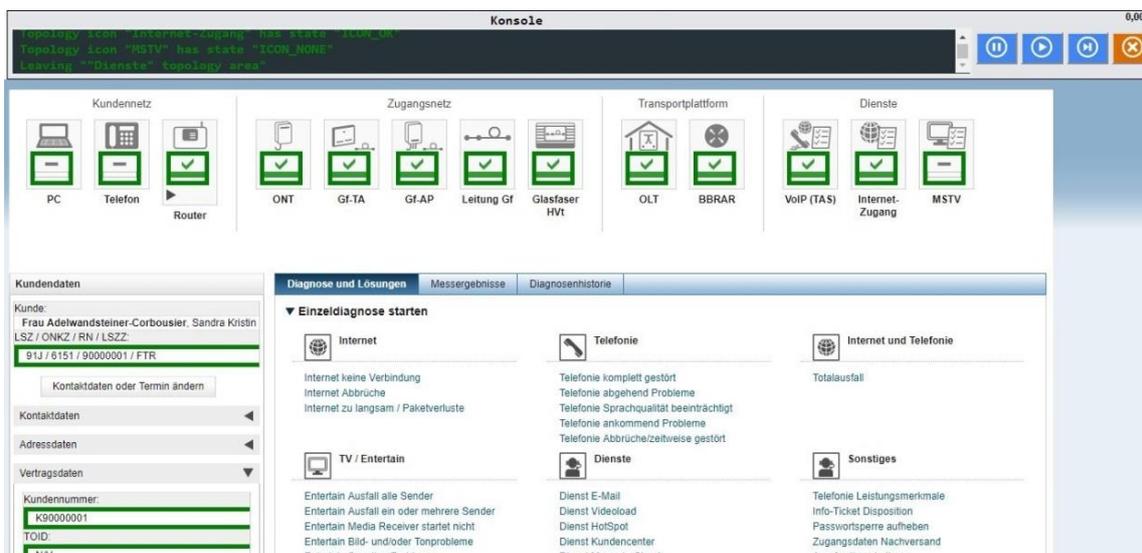


Рис. 3. Генерируемое тестом окно лога с элементами управления тестом и подсветка элементов страницы, с которыми идет взаимодействие, в режиме реального времени

Дополнительным преимуществом работы DSL является возможность подсветки элементов страницы в режиме реального времени, продемонстрированная на рис. 3. Такое окно также может использоваться для обучения новых сотрудников в качестве материалов от SME.

Заключение. В результате внедрения такого DSL в работу проекта можно сделать следующие выводы.

1. Читаемость кода действительно становится намного выше. Даже грамотно оформленный и прокомментированный код теста в «обычном формате» будет в лучшем случае более нагруженным, например, для заказчика, который имеет слабое представление о языках программирования.
2. Тесты на основе DSL проще создавать и сопровождать. В среднем для нетехнического пользователя создание теста на основе DSL занимает примерно на 20–30% меньше времени по сравнению с традиционным подходом.
3. При изменениях, например, в HTML-разметке тестируемого приложения DSL позволяет восстановить работоспособность тестов при минимальном числе правок, как правило, оставляя код самих тестов нетронутым, что позволяет значительно более эффективно организовать работу автоматических тестов.

Литература

1. Куликов С.С. Тестирование программного обеспечения. Базовый курс. – Минск: Четыре четверти, 2017. – 312 с.
2. Фаулер М. Domain Specific Languages (Addison-Wesley Signatur). – М.: Вильямс, 2017. – 576 с.

**Шуртина Анна Александровна**

Год рождения: 1994

Университет ИТМО, факультет программной инженерии и компьютерной техники, кафедра компьютерных образовательных технологий, студент группы № P4120

Направление подготовки: 09.04.02 – Автоматизация и управление в образовательных системах

e-mail: a.shurtina@yandex.ru

**Лямин Андрей Владимирович**

Год рождения: 1969

Университет ИТМО, факультет программной инженерии и компьютерной техники, кафедра компьютерных образовательных технологий, к.т.н., доцент

e-mail: lyamin@mail.ifmo.ru

УДК 004.6

**ИНТЕРПРЕТАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ ДАННЫХ
О ВЗАИМОДЕЙСТВИИ СЛУШАТЕЛЕЙ С КОНТЕНТОМ МАССОВЫХ
ОТКРЫТЫХ ОНЛАЙН-КУРСОВ**Шуртина А.А.¹Научный руководитель – к.т.н., доцент Лямин А.В.¹¹Университет ИТМО

Работа выполнена в рамках темы НИР № 617026 «Разработка методов интеллектуального управления киберфизическими системами с использованием квантовых технологий».

В работе приведено исследование данных о взаимодействии слушателей с видеоконтентом одного из онлайн-курсов Университета ИТМО, размещенного на Национальной платформе открытого образования, а также представлена интерпретация полученных результатов.

Ключевые слова: массовый открытый онлайн-курс, слушатель, мотивация, видеоконтент, завершённый просмотр видеолекции, длительность видеолекции.

Введение. Процесс перехода от традиционного аудиторного обучения к повсеместному использованию электронных образовательных ресурсов начался несколько десятков лет назад и на сегодняшний день продолжает уверенно набирать обороты. Одним из главных трендов в современном образовательном сообществе являются массовые открытые онлайн-курсы (МООК). За шестилетнюю историю существования количество МООК во всем мире превысило отметку в 9 400, их разработкой занимается более 800 университетов, а количество слушателей оценивается в 81 млн человек [1].

Массовые открытые онлайн-курсы предоставляют возможность слушателям из любой точки мира в удобное время получать доступ к образовательному контенту: просматривать видеолекции, проходить опросы, выполнять тестовые задания и виртуальные лабораторные работы, изучать дополнительные материалы и общаться на форуме курса. Данные о вышеперечисленных взаимодействиях сохраняются с той или иной степенью детализации в зависимости от платформы онлайн-обучения, исследование их может выявить зависимость между качественными показателями

контента и вероятностью того, что слушатель успешно завершит обучение на онлайн-курсе. В среднем до конца обучения доходит не более 13% изначально зарегистрированных пользователей [2], и корректировка некачественного контента, выявленного в ходе исследования, может положительно повлиять на эту величину и повысить число успешно завершивших курс слушателей.

В ходе исследования рассмотрены данные о взаимодействии слушателей с видеоконтентом онлайн-курса Университета ИТМО, размещенного на Национальной платформе открытого образования (НПОО), которая, в свою очередь, построена на основе платформы онлайн-обучения с открытым исходным кодом Open edX. Open edX активно используется на международной арене онлайн-обучения, так как обладает широким функционалом, дружественным интерфейсом и возможностью интеграции новых видов обучающих и аттестующих элементов. Исследование проведено с использованием структуры данных платформы Open edX [3]. Результаты исследования интерпретированы с точки зрения мотивации слушателей, пройти курс до конца.

Общая информация о слушателях курса. На момент проведения исследования онлайн-курс завершен и запись на него закрыта. Общее количество слушателей составляет 1 354 человека. Известно, что часть слушателей записана на курс с условием, что успешное прохождение гарантирует им положительную оценку по соответствующей дисциплине в университете. Известны логины этих слушателей на платформе, в ходе исследования данные их взаимодействия выделяются в отдельную группу, называемую мотивированной. Количество мотивированных слушателей на курсе составляет 109 человек, т.е. 8% от общего числа. В ходе исследования подсчитано количество событий, вызванных действиями слушателей в отношении видеоконтента. Всего зарегистрировано 54 303 события, из которых 24 348 (или 45%) вызваны действиями немотивированных слушателей, 29 955 (55%) вызваны действиями мотивированных слушателей. Следовательно, один мотивированный слушатель взаимодействует с видеоконтентом приблизительно в 14 раз активнее одного немотивированного.

Подход к исследованию. Рассмотрена тенденция запусков и завершенных просмотров видеолекций мотивированными и немотивированными слушателями. Загрузка и запуск видеолекции с ее начала на платформе Open edX инициирует событие «load» с уникальным идентификатором слушателя и видеолекции. Завершенный просмотр видеолекции, когда ползунок на шкале длительности ролика доходит до крайнего положения, инициирует событие «stop» с теми же параметрами. Однако для учета количества завершенных просмотров будем учитывать также, когда видеолекция по инициативе слушателя остановлена в промежутке за 5 с до конца ролика. Это необходимо потому, что некоторые ролики заканчиваются неинформативной заставкой, или же озвучивание информативной части лекции просто прекращается за несколько секунд до конца, следовательно, слушатель просмотрел содержательную часть полностью, но оказался недостаточно терпелив для инициализации события «stop». Когда слушатель нажимает на паузу, платформа Open edX инициирует событие «pause», содержащее информацию об уникальном идентификаторе пользователя, видеолекции, а также временной отметке нажатия паузы. В этом случае будем учитывать те события «pause», которые обладают меткой времени, отличной от общей длительности ролика не более чем на 5 с.

Немотивированные слушатели. На рис. 1 представлены графики распределения запусков (рис. 1, а) и завершенных просмотров (рис. 1, б) видеолекций немотивированными слушателями по неделям онлайн-курса. Тенденция изменения

числа запусков и завершенных просмотров от первой недели до последней симметрична. Немотивированные слушатели проявляют высокий интерес к просмотру видеороликов только на первой неделе онлайн-курса, ко второй неделе интерес снижается в три раза, все последующие недели количество запусков в среднем в 20 раз меньше, чем на первой неделе онлайн-курса. Это подтверждает гипотезу о том, что преимущественное большинство слушателей отсеивается в самом начале курса из-за отсутствия мотивации. В ходе анализа было выявлено, что на неделях 1–3 и 7–10 процентное отношение завершенных просмотров видеолекций к запускам в среднем составляет 11%. Это означает, что 11% начатых просмотров завершаются. На 4, 5 и 6 неделях онлайн-курса это значение составляет 6%, следовательно, можно предположить, что на этих неделях онлайн-курса видеоконтент оказался слишком сложным, слишком простым или некачественным с технической точки зрения, необходимо провести работу по его корректировке.

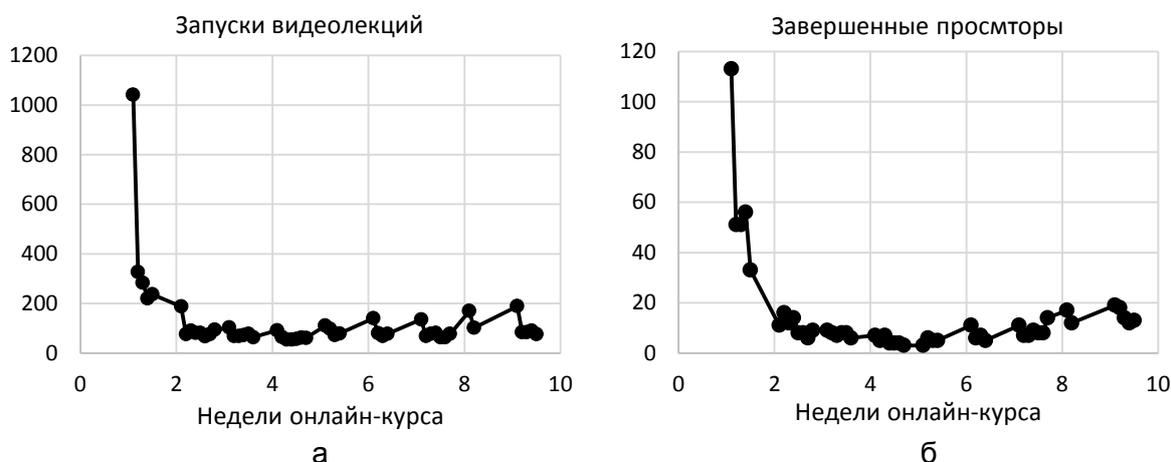


Рис. 1. Немотивированные слушатели: запуски видеолекций (а); завершенные просмотры видеолекций (б)

Мотивированные слушатели. На рис. 2 представлены графики распределения запусков (рис. 2, а) и завершенных просмотров (рис. 2, б) видеолекций мотивированными слушателями по неделям онлайн-курса.

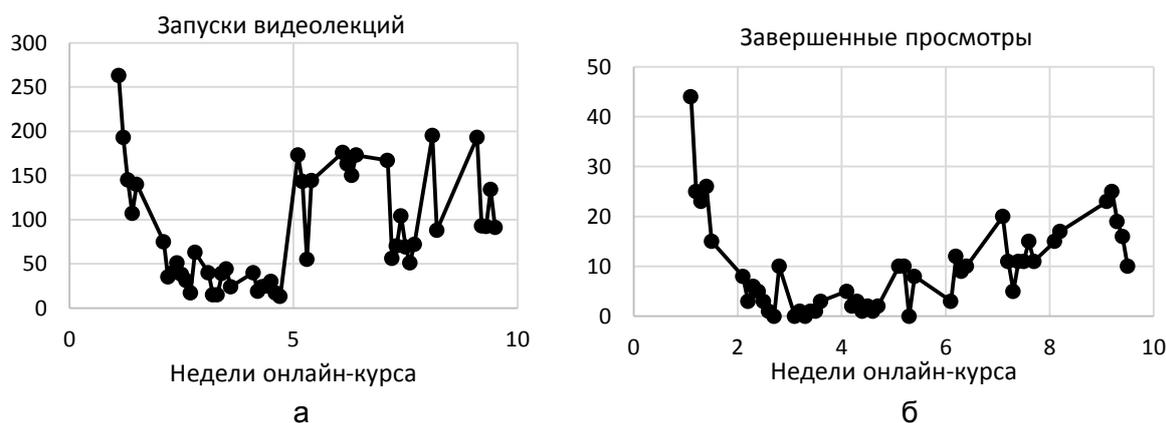


Рис. 2. Мотивированные слушатели: запуски видеолекций (а); завершенные просмотры видеолекций (б)

В отличие от группы немотивированных слушателей, здесь просматривается другая тенденция. Количество запусков и завершенных просмотров после первой недели сокращается вдвое. В промежуток со второй по четвертую неделю онлайн-курса также видно снижение активности слушателей по запуску видеолекций, однако интерес снова возрастает на пятой неделе и держится на высоком уровне до конца курса, за

исключением материалов седьмой недели. Однако в относительном значении, седьмая неделя курса является одной из самых популярных с точки зрения завершенных просмотров роликов – в среднем 16% начатых просмотров завершаются, когда для успешной с точки зрения запусков видеолекций пятой недели – это значение составляет всего лишь 5%. При единовременном анализе обоих графиков можно сделать вывод о перечне наиболее/наименее интересующих слушателей видеолекциях курса – видеолекциях, которые запускают чаще/реже остальных, и наиболее/наименее удачных с точки зрения информативности и качества контента – видеолекциях с наиболее/наименее высоким процентом завершенных просмотров.

Проверка гипотезы. Используя данные о взаимодействии слушателей с видеоконтентом онлайн-курса, можно проверить гипотезу о том, что видеоролики длительностью свыше 5 мин вероятнее всего не досматриваются до конца. В ходе исследования были проанализированы данные о взаимодействии слушателей с 48 видеороликами длительностью, лежащей в пределах от 1 мин 22 с до 22 мин 13 с. На рис. 3 представлена зависимость относительного числа завершенных просмотров к длительности видеолекции.

Рисунок показывает, что линия тренда практически горизонтальна, т.е. в рамках данного онлайн-курса гипотеза не подтверждается – длительность видео не влияет на процент завершенных просмотров. В рассматриваемом случае это определяется в большей степени качеством предоставленного авторами курса видеоконтента

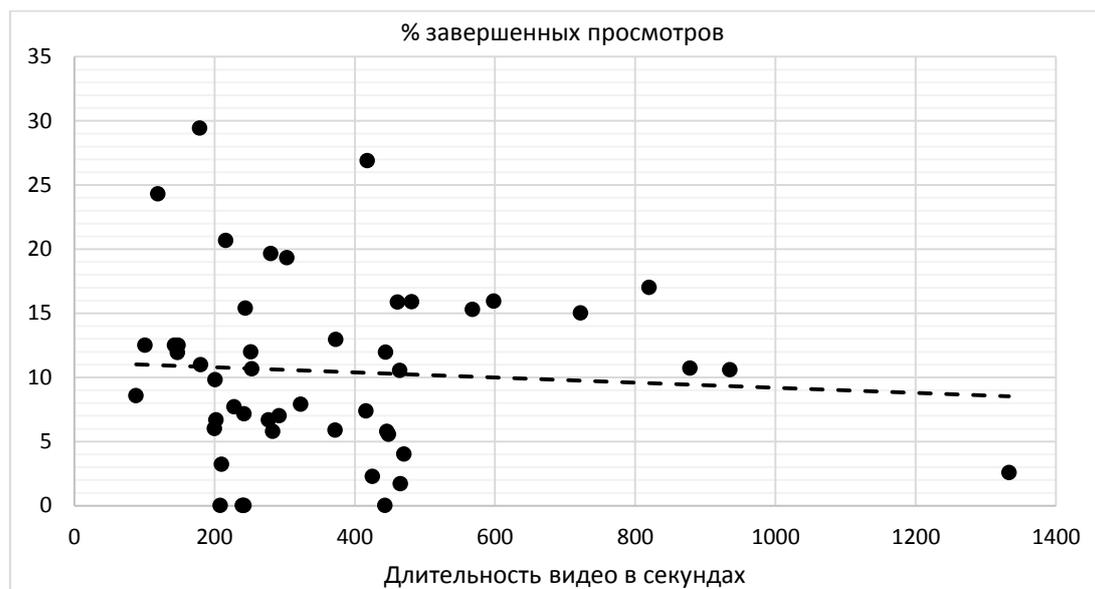


Рис. 3. Зависимость относительного числа завершенных просмотров к длительности видеолекции

Выводы. С использованием структуры данных Open edX проведено исследование данных о взаимодействии слушателей с видеоконтентом онлайн-курса Университета ИТМО, размещенного на Национальной платформе открытого образования. В рамках исследования проведена сортировка данных по группам пользователей в зависимости от уровня их мотивации, а также по типу событий, вызванных их действиями. В результате исследования получена информация о характере взаимодействия мотивированных и немотивированных слушателей со всеми видеолекциями онлайн-курса с первой по десятую неделю. Выявлены наиболее сильные и слабые с точки зрения популярности у слушателей недели онлайн-курса. Характер действий слушателей можно интерпретировать как показатель интересности и информативности

видеоконтента. Выявленная зависимость относительного числа завершенных просмотров к длительности видеолекций также свидетельствует о качестве представленных на курсе видеоматериалов. Полученные данные можно использовать в качестве основания для корректировки видеоконтента.

Литература

1. Class Central. By the Numbers: MOOCs in 2017 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.class-central.com/report/mooc-stats-2017/>, своб.
2. Onah D.F.O., Sinclair J. and Boyatt R. Dropout rates of massive open online courses: behavioural patterns // 6th International Conference on Education and New Learning Technologies. – 2014. – P. 5825–5834.
3. EdX Research Guide documentation [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://edx.readthedocs.io/projects/devdata/en/stable/internal_data_formats/tracking_logs.html, своб.

Направление

ФОТОНИКА



Беляева Алина Сергеевна

Год рождения: 1995

Университет ИТМО, факультет лазерной и световой инженерии,
кафедра прикладной и компьютерной оптики,
студент группы № В4100

Направление подготовки: 12.04.02 – Опотехника

e-mail: belyaevalina@inbox.ru

УДК 535.8, 53.08

РАЗРАБОТКА И АНАЛИЗ ОПТИЧЕСКОЙ ОСВЕТИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ МАЛОГАБАРИТНОГО БЛЕСКОМЕРА

Беляева А.С.¹

Научный руководитель – к.т.н., доцент Романова Г.Э.¹

¹Университет ИТМО

В работе приведены результаты исследования и разработки оптической осветительной системы блескомера. Выполнен анализ недостатков существующей модели и устранения недостатков, выбор и расчет оптимальной оптической осветительной системы для дальнейшего макетирования и реализации прибора в производстве.

Ключевые слова: блескомер, оптическая система, осветительная система, источник, приемник, спектр света.

Блескомер используется в лакокрасочной промышленности для определения степени глянцевого блеска [1]. Показатели глянцевого блеска поверхности измеряются на основании анализа сигнала, отраженного от поверхности, освещенной определенным образом. Отраженный от поверхности свет с помощью приемной оптической системы собирается на приемник (фотодиод) и таким образом делаются выводы о свойствах поверхности. Требования к пучку, падающему на измеряемую поверхность, – это, прежде всего, определенный спектральный состав и равномерность освещенности в пятне на измеряемой поверхности. На результат измерений оказывают влияние как особенности осветительной системы, так и элементы приемной части. Поэтому поиск оптимального решения оптической системы, позволяющей решить необходимые задачи при относительно небольших габаритах и использовании простой оптической схемы, является актуальной практической задачей.

Объектом анализа и разработки являлся существующий работоспособный прототип прибора [2]. В ходе исследовательской работы было выяснено что источник и приемник прибора были не согласованы с точки зрения диапазонов чувствительности: приемник имел чувствительность в инфракрасной области, тогда как по ГОСТ 31975-2017 (ISO 2813:2014), источник и приемник должны иметь области чувствительности в видимом диапазоне.

На первом этапе работы были подобраны приемник и источник с соответствующими областями чувствительности. На следующем этапе выполнялся анализ осветительной части прибора. В приборе-прототипе использовалась однолинзовая система, представленная на рис. 1.

Как видно из рис. 1, система, состоящая из одной линзы, не обеспечивает равномерного распределения освещенности. Однако распределение может быть улучшено за счет использования асферической поверхности. Пример расчета осветительной системы с асферической линзой представлен на рис. 2. Такая система дает более равномерное распределение, имеет малые габариты, но стоимость реализации высока из-за применения асферической поверхности, а прибор выпускается малыми сериями. Особенно важно это при изготовлении макета прибора. Поэтому

было принято решение при изготовлении макета использовать простые готовые линзы. В этом случае необходимо усложнить конструкцию за счет использования двух линз.

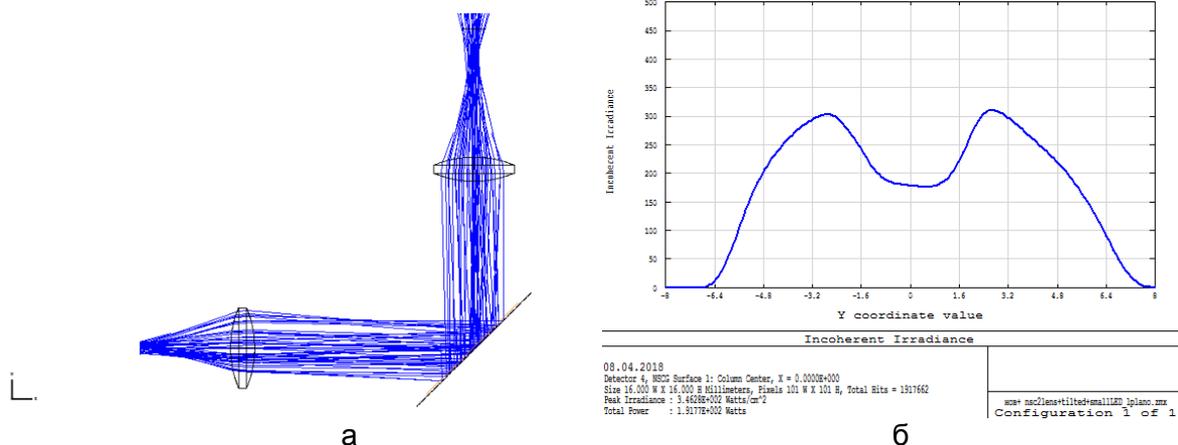


Рис. 1. Исходная оптическая система: система с ходом лучей (а); график распределения освещенности вдоль сечения светового пятна (б)

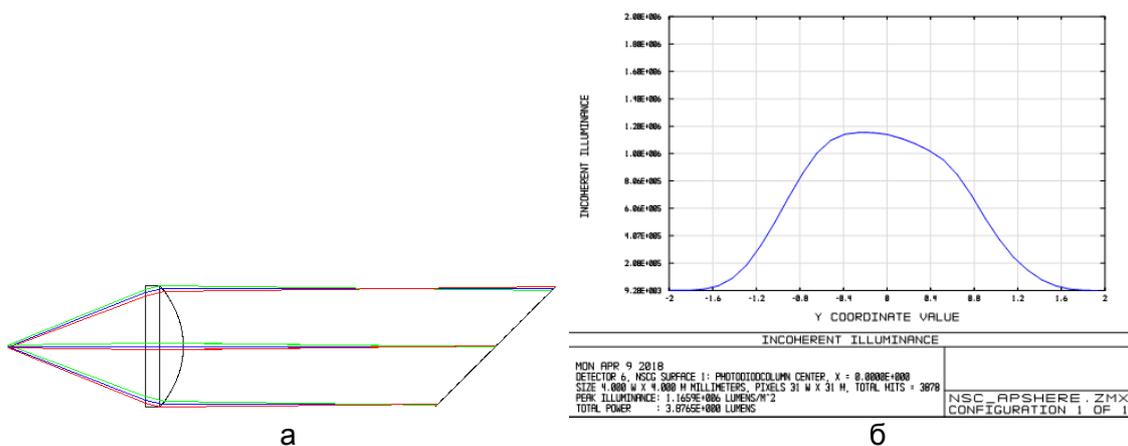


Рис. 2. Осветительная система с асферической линзой: система с ходом лучей (а); график распределения энергии (б)

Первая двулинзовая система – это система Келлера, такой тип системы используется в осветительных системах микроскопа и обеспечивает равномерное распределение освещенности. Схема системы показана на рис.3. В системе используются простые линзы со сферическими поверхностями, однако недостатком системы являются довольно значительные габариты, нежелательные для данного применения прибора.

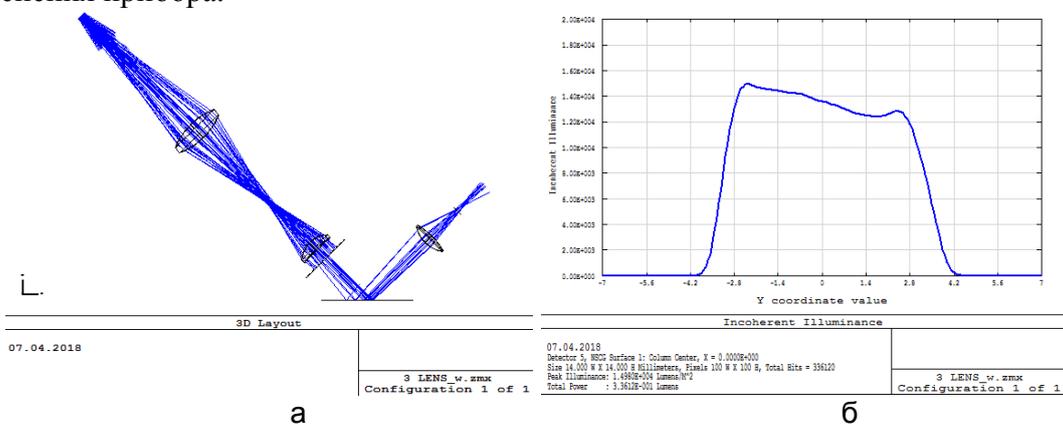


Рис. 3. Оптическая осветительная система Келлера: система с ходом лучей (а); график распределения энергии (б)

Система, которая использовалась в данном макете, состоит из двух плоско-выпуклых линз в осветительной части, а кроме того, содержит одну двояковыпуклую линзу в приемном канале. Простая схема в приемном канале обусловлена тем, что ее роль – только собрать энергию. Вид системы с осветительной и приемной частью, а также освещаемая поверхность и график распределения освещенности представлены на рис. 4. К достоинствам системы можно отнести также и то, что она имеет низкую стоимость (так как можно использовать готовые линзы простой формы), малые габариты, и может быть легко реализована, в том числе в виде отладочного макета.

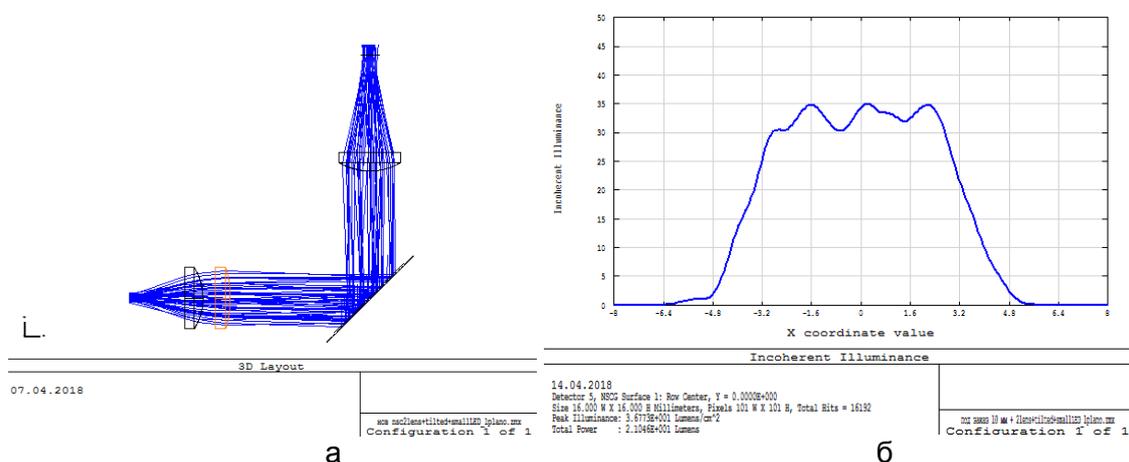


Рис. 4. Оптическая осветительная система: система с ходом лучей (а); график распределения энергии (б)

Все системы были рассчитаны с использованием файлов светодиода CREE XD16-LED. Этот светодиод имеет размеры $1,6 \times 1,6$ мм и максимальный световой поток 780 лм (при силе тока 2 А). Для макета подобран фотодиод VTB9413ВН с диапазоном чувствительности 330–720 нм и пиком чувствительности на длине волны 580 нм.

Для последней приведенной системы была разработана конструкторская документация. Сборочный чертеж прибора представлен на рис. 5.

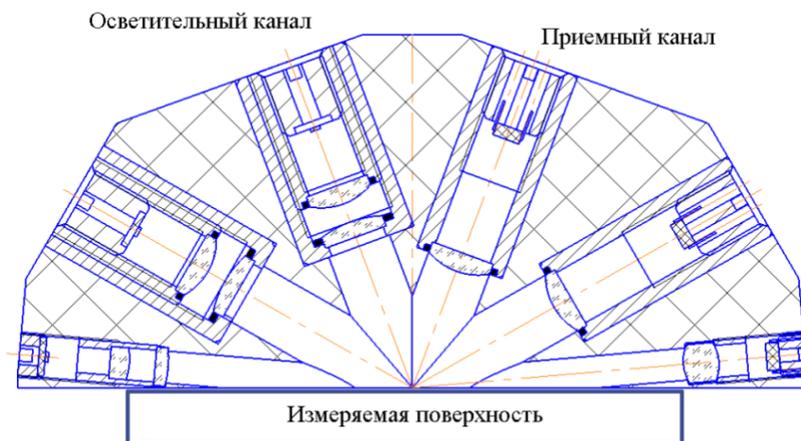


Рис. 5. Сборочный чертеж прибора

На рис. 5 можно видеть несколько каналов, соответствующих нескольким углам измерения образцов: 20 , 45 , 60 и 85° . Для каждого угла – разные значения глянцевого. В дальнейшем планируется сборка прибора для углов: 20 – 20° , 60 – 60° и 85 – 85° и прибора на углах 45 – 45° , тестирование глянцевого и степени яркости на подготовленных и поверенных образцах с известной степенью глянцевого для различных углов, доработка прибора до требуемых габаритных характеристик.

После сборки прибора будут проведены измерения образцов и доработка электрической схемы.

Литература

1. Измерение блеска покрытий [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://pereosnastka.ru/articles/izmerenie-bleska-pokrytii/>, своб.
2. Блескомер БФ5М-45/0/45 фотоэлектрический [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.dorlab-ltd.ru/katalog/12-12-pribory-dlya-kontrolya-kachestva-lakokrasochnykh-materialov-i-pokrytiy/bf/>, своб.

**Вовк Илья Александрович**

Год рождения: 1995

Университет ИТМО, факультет фотоники и оптоинформатики,
кафедра оптической физики и современного естествознания,
студент группы № V4135

Направление подготовки: 12.04.03 – Фотоника

и оптоинформатика

e-mail: ilia.a.vovk@gmail.com

**Тепляков Никита Владимирович**

Год рождения: 1996

Университет ИТМО, факультет фотоники и оптоинформатики,
кафедра оптической физики и современного естествознания,
студент группы № V3435

Направление подготовки: 12.04.03 – Фотоника

и оптоинформатика

e-mail: teplakov.nikita@gmail.com

**Леонов Михаил Юрьевич**

Год рождения: 1986

Университет ИТМО, факультет фотоники и оптоинформатики,
кафедра оптической физики и современного естествознания,
к.ф.-м.н., доцент

e-mail: leonov@corp.ifmo.ru

**Рухленко Иван Дмитриевич**

Год рождения: 1980

Университет ИТМО, факультет фотоники и оптоинформатики,
кафедра оптической физики и современного естествознания,
д.ф.-м.н.

e-mail: rukhlenko.ivan@gmail.com

УДК 535

**ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ПУЧКИ ЛАГЕРРА–ГАУССА
ВНЕ ПАРАКСИАЛЬНОГО ПРИБЛИЖЕНИЯ**

Вовк И.А.¹, Тепляков Н.В.¹, Леонов М.Ю.¹

Научный руководитель – д.ф.-м.н. Рухленко И.Д.¹

¹Университет ИТМО

Работа выполнена в рамках темы НИР № 330525 «Разработка новых систем хиральных квантовых точек и их применение».

В работе исследовано распространение пучков Лагерра–Гаусса вне параксиального приближения. Поправки к амплитуде пучка с вещественным аргументом получены в виде суперпозиции поправок к амплитудам пучков с комплексным аргументом. Вычислены напряженности электрического и магнитного полей и плотность хиральности пучков Лагерра–Гаусса с разными поляризациями векторного потенциала. Результаты работы могут быть использованы для проектирования профилей лазерных пучков, оптомеханического разделения хиральных наночастиц и других приложений.

Ключевые слова: оптика пучков, параксиальное приближение, хиральность, пучки Лагерра–Гаусса, орбитальный угловой момент света.

Распространение световых пучков вне параксиального приближения активно изучалось на протяжении многих десятилетий. Весьма эффективной в этой связи оказалась коррекционная схема Лакса и др. [1], с помощью которой в ряде пионерских работ были получены поправки к решению параксиального уравнения Гельмгольца для фундаментального гауссова пучка. Для изучения распространения пучков более высоких порядков были использованы пучки Лагерра–Гаусса и Эрмита–Гаусса с комплексным аргументом, элегантная математическая форма которых позволила впоследствии найти точные выражения для поправок к их огибающим с использованием коррекционной схемы Лакса [2]. Эти исследования были дополнены введением обобщенных пучков Эрмита–Лагерра–Гаусса с комплексным аргументом, для которых удалось получить поправки к параксиальному решению до третьего порядка малости [3]. Интерес к пучкам высокого порядка обусловлен множеством интересных приложений. В частности, в работе [4] была продемонстрирована возможность пространственного разделения энантимеров хиральных наночастиц с помощью переносящих орбитальный момент пучков Лагерра–Гаусса.

Непараксиальные поправки к пучкам Лагерра–Гаусса с вещественным аргументом обычно находятся с помощью различных интегральных методов, таких как метод углового спектра и теория дифракции Рэлея–Зоммерфельда. Однако эти методы приводят к довольно громоздким выражениям и кратным интегралам, которые неудобны в использовании. В данной работе [5] был использован простой новый метод исследования пучков Лагерра–Гаусса с вещественным аргументом вне параксиального приближения. С использованием данного метода были получены аналитические выражения для огибающих данных пучков, а также вычислены электрическая и магнитная напряженности, вектор Пойнтинга и плотность хиральности электромагнитного поля пучков Лагерра–Гаусса с поперечной и продольной поляризациями векторного потенциала. Результаты, полученные в работе, могут быть использованы для проектирования профилей лазерных пучков, оптомеханического разделения хиральных наночастиц и других приложений.

Изменение комплексной амплитуды ψ монохроматической электромагнитной волны с постоянной поляризацией описывается скалярным уравнением Гельмгольца $\Delta\psi + k^2\psi = 0$, где $\Delta = \partial_{xx}^2 + \partial_{yy}^2 + \partial_{zz}^2$ – оператор Лапласа и k – волновое число. При анализе несильно расходящихся пучков, распространяющихся преимущественно вдоль оси z , амплитуду пучка удобно представить в виде произведения медленно меняющейся в пространстве комплексной огибающей $u(\mathbf{r})$ и быстро осциллирующего фазового множителя e^{ikz} , $\psi(\mathbf{r}) = u(\mathbf{r})e^{ikz}$. Уравнение Гельмгольца для огибающей при этом принимает вид $\Delta u + 2ik\partial_z u = 0$. Данное уравнение может быть решено методом последовательных приближений благодаря тому факту, что изменения огибающей и ее производной по координате z являются малыми на расстояниях порядка длины волны $\lambda = 2\pi/k$.

С учетом характерных размеров гауссова пучка – ширины перетяжки w_0 в поперечном направлении и рэлеевской длины $z_0 = kw_0^2/2$ в продольном направлении – удобно перейти к безразмерным координатам $\xi = x/w_0$, $\eta = y/w_0$ и $\zeta = -iz/z_0$, в которых уравнение Гельмгольца принимает вид $\Delta_t u + 4\partial_\zeta u - 4f^2\partial_\zeta^2 u = 0$, где $\Delta_t = \partial_{\xi\xi}^2 + \partial_{\eta\eta}^2$ – безразмерный поперечный оператор Лапласа, и для несильно расходящихся пучков $f = 1/(kw_0) \ll 1$ является параметром малости. Решения данного уравнения можно представить в виде ряда $u = \sum_{s=0}^{\infty} f^{2s} u^{(2s)}$. Подставим этот ряд в уравнение и сгруппируем слагаемые по степеням f :

$$\mathcal{P}u^{(0)} + \sum_{s=1}^{\infty} f^{2s} [\mathcal{P}u^{(2s)} - 4\partial_{\zeta\zeta}^2 u^{(2s-2)}] = 0, \quad (1)$$

где $\mathcal{P} = \Delta_t + 4\partial_{\zeta}$. Приравнявая коэффициенты при одинаковых степенях f нулю, получаем систему дифференциальных уравнений для $u^{(2s)}$, последовательно связанных друг с другом. Огибающая нулевого приближения является решением параксиального уравнения Гельмгольца $\mathcal{P}u^{(0)} \equiv (\Delta_t + 4\partial_{\zeta})u^{(0)} = 0$. Поправки следующих порядков удовлетворяют неоднородным уравнениям, которые решаются с использованием граничных условий $u^{(2s)}(\xi, \eta, 0) = 0$ для $s \geq 1$.

В цилиндрических координатах (r, φ, z) решением параксиального уравнения являются пучки Лагерра–Гаусса с вещественным аргументом (RLG)

$$u_{lm}^{(0)}(r, \varphi, z) = a_{lm} \sqrt{[1 + (z/z_0)^2]^{-1}} (r/w)^{|l|} L_m^{|l|}(2r^2/w^2) e^{-(r/w)^2} e^{i\Phi_{lm}(r, \varphi, z)}, \quad (2)$$

где $\Phi_{lm}(r, \varphi, z) = kr^2/(2R) + l\varphi - (|l| + 2m + 1) \tan^{-1}(z/z_0)$; $L_m^{|l|}(x)$ – обобщенный полином Лагерра, $w(z) = w_0 \sqrt{1 + (z/z_0)^2}$ – ширина пучка, $R(z) = z + z_0^2/z$ – радиус кривизны волнового фронта; a_{lm} – нормировочная постоянная, $l = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$ – топологический заряд пучка и $m = 0, 1, 2, \dots$ – количество узловых точек в радиальном направлении.

Другим решением параксиального уравнения являются пучки Лагерра–Гаусса с комплексным аргументом (CLG). Огибающая этих пучков дается выражением

$$\hat{u}_{lm}^{(0)}(\rho, \varphi, \sigma) = (-1)^m m! \sigma^{|l|+m+1} \rho^{|l|} L_m^{|l|}(\sigma\rho^2) e^{-\sigma\rho^2} e^{il\varphi},$$

где введена безразмерная переменная $\rho = r/w_0$ и комплексная безразмерная переменная $\sigma = 1/(1 - \zeta)$. Будучи математически более «элегантным» решением параксиального уравнения, данные пучки, тем не менее, не являются модами сферического резонатора, в отличие от RLG.

Для огибающих CLG выполняется соотношение ортогональности $\iint \hat{u}_{lm}^{(0)} \hat{v}_{pq}^* dS = \delta_{lp} \delta_{mq}$, где $dS \equiv r dr d\varphi$, δ_{ij} – символ Кронекера и вводятся сопряженные функции $\hat{v}_{pq}(\mathbf{r})$, которые имеют вид

$$\hat{v}_{pq}^*(\rho, \varphi, \sigma) = (-1)^q [(|p| + q)! \pi w_0^2]^{-1} \sigma^{-q} \rho^{|p|} L_q^{|p|}(\sigma\rho^2) e^{-ip\varphi}. \quad (3)$$

Решения дифференциальных уравнений (1) более высокого порядка, описывающие CLG вне параксиального приближения, были найдены в работе [2] и определяются следующим образом ($s \geq 1$):

$$\hat{u}_{lm}^{(2s)} = \sum_{p=1}^s (-1)^{s+p} [s(p-1)!]^{-1} C_{2s}^{s-p} \zeta^p \hat{u}_{l, m+s+p}^{(0)},$$

где C_n^k – биномиальный коэффициент.

RLG пучки вне параксиального приближения являются точными решениями уравнения (1). Их огибающие $u_{lm}(r, \varphi, z)$ могут быть разложены в ряд по точным CLG решениям $\hat{u}_{pq}(\rho, \varphi, \sigma)$ того же уравнения в виде $u_{lm} = \sum_{p,q} A_{lmpq} \hat{u}_{pq}$, где коэффициенты разложения имеют вид $A_{lmpq} = \iint u_{lm}^{(0)}(r, \varphi, 0) \hat{v}_{pq}^*(\rho, \varphi, 1) dS$. Разлагая огибающие в ряд, находим, что $u_{lm}^{(2s)} = \sum_{p,q} A_{lmpq} \hat{u}_{pq}^{(2s)}$. В соответствии с (2) и (3) коэффициенты разложения принимают вид

$$A_{lmpq} = \delta_{lp} a_{lm} [(-1)^q / (|l| + q)!] \int_0^{\infty} \rho^{2|l|} L_m^{|l|}(2\rho^2) L_q^{|l|}(\rho^2) e^{-\rho^2} 2\rho d\rho.$$

Данное выражение может быть преобразовано с использованием интеграла

$$\int_0^{\infty} \kappa^{|l|} L_m^{|l|}(2\kappa) L_q^{|l|}(\kappa) e^{-\kappa} d\kappa = (-1)^{m+q} 2^q (|l| + m)! / [q! \Gamma(m - q + 1)],$$

который отличен от нуля только при $q \leq m$. Таким образом, поправки для RLG выражаются через конечную сумму

$$u_{lm}^{(2s)} = (-1)^m a_{lm} \sum_{q=0}^m (2^q / q!) C_{|l|+m}^{m-q} \hat{u}_{lq}^{(2s)}. \quad (4)$$

Выражение (4) решает задачу нахождения поправок к пучкам Лагерра–Гаусса вещественного аргумента.

Выражение (4) содержит нормировочный множитель a_{lm} . Будем нормировать пучки на полную мощность P , переносимую ими в положительном направлении z , $P = \iint (\mathbf{\Pi} \cdot \mathbf{e}_z) dS$, где $\mathbf{\Pi} = (1/2) \text{Re}(\mathbf{E} \times \mathbf{H})$ – усредненный по времени вектор Пойнтинга, а $\mathbf{E}(\mathbf{r})$ и $\mathbf{H}(\mathbf{r})$ – комплексные напряженности электрического и магнитного полей.

Электрическое и магнитное поля пучка с использованием калибровки Лоренца выражаются в виде $\mathbf{E} = (i/k)\nabla(\nabla \cdot \mathbf{A}) + ik\mathbf{A}$ и $\mathbf{H} = Z_0^{-1}\nabla \times \mathbf{A}$, где $\mathbf{A}(\mathbf{r}) = \psi(\mathbf{r})\mathbf{e}$ – комплексный векторный потенциал, $Z_0 = \sqrt{\mu_0/\epsilon_0}$ – импеданс свободного пространства, а \mathbf{e} – не зависящий от пространственных координат единичный вектор поляризации.

Рассмотрим два частных случая: пучок с поперечной поляризацией векторного потенциала (Т-пучок) и пучок с продольной поляризацией векторного потенциала (L-пучок).

Пусть $\mathbf{e} = \mathbf{e}_x$. Переходя к безразмерным координатам (ξ, η, ζ) и раскладывая поля по степеням f , для Т-пучка получаем

$$\mathbf{E} = ike^{ikz} \{ [u^{(0)} + f^2(u^{(2)} + \partial_{\xi\xi}^2 u^{(0)}) + \dots] \mathbf{e}_x + \partial_{\xi\eta}^2 (f^2 u^{(0)} + f^4 u^{(2)} + \dots) \mathbf{e}_y + i\partial_{\xi\zeta} [fu^{(0)} + f^3 \mu^{(2)} + \dots] \mathbf{e}_z \}, \quad (5)$$

$$\mathbf{H} = ikZ_0^{-1}e^{ikz} \{ [u^{(0)} + f^2 \mu^{(2)} + \dots] \mathbf{e}_y + i\partial_{\eta} (fu^{(0)} + f^3 u^{(2)} + \dots) \mathbf{e}_z \}, \quad (6)$$

где $\mu^{(2s)} = u^{(2s)} - 2\partial_{\zeta}^2 u^{(2s-2)}$.

Полная мощность пучка не зависит от выбора плоскости, по которой производится интегрирование. Поскольку в плоскости $z = 0$ поправки к параксиальному решению обращаются в ноль, нормировочные константы, вычисленные в параксиальном приближении и вне его, имеют одинаковый вид. Нормировочная константа для Т-пучка равна [4]

$$a_{lm} = 2f \sqrt{2^{|l|} Z_0 P / [\pi(m+1)_{|l|}]},$$

где $(x)_n$ – символ Похгаммера.

Для пучка с продольной поляризацией векторного потенциала имеем

$$\mathbf{E} = w_0^{-1}e^{ikz} \{ -\nabla_t [u^{(0)} + f^2 \mu^{(2s)} + \dots] + 4i\partial_{\zeta} [fu^{(0)} + f^3(u^{(2)} - \partial_{\zeta}^2 u^{(0)}) + \dots] \mathbf{e}_z \}, \quad (7)$$

$$\mathbf{H} = w_0^{-1}Z_0^{-1}e^{ikz} [\partial_{\eta} (u^{(0)} + f^2 u^{(2)} + \dots) \mathbf{e}_x - \partial_{\xi} (u^{(0)} + f^2 u^{(2)} + \dots) \mathbf{e}_y], \quad (8)$$

где $\nabla_t = \mathbf{e}_x \partial_{\xi} + \mathbf{e}_y \partial_{\eta}$ – безразмерный поперечный оператор набла. Используя эти выражения, получаем нормировочную константу L-пучка в виде [4]

$$a_{lm} = \sqrt{2^{|l|+1} Z_0 P / [\pi(|l| + 2m + 1)(m + 1)_{|l|}]}$$

Разложение огибающей пучка в ряд может быть полезно при вычислении величин, производных от напряженностей электрического и магнитного полей пучка, с заданной степенью точности. Рассмотрим в качестве примера плотность хиральности светового пучка, которая дается выражением $K = k/(2c) \text{Im}(\mathbf{E} \cdot \mathbf{H}^*)$.

Подставляя поля Т-пучка в данное выражение, находим

$$K = (\epsilon_0 k^3 / 2) \text{Im} \{ f^2 (\partial_{\xi} u^{(0)} \times \partial_{\eta} u^{(0)*} + \partial_{\xi\eta}^2 u^{(0)} \times u^{(0)*}) + f^4 [\partial_{\xi\eta}^2 u^{(0)} \times (u^{(2)*} + 2\partial_{\zeta}^2 u^{(0)*}) + \partial_{\xi} u^{(0)} \times \partial_{\eta} u^{(2)*} + \partial_{\xi\eta}^2 u^{(2)} \times u^{(0)*} + (\partial_{\xi} u^{(2)} - 2\partial_{\zeta}^2 u^{(0)}) \times \partial_{\eta} u^{(0)*}] + \dots \}. \quad (9)$$

Обычно в параксиальном приближении пренебрегают слагаемыми порядка величины f^2 и менее в выражениях (5) и (6). Такое приближение не позволяет точно вычислить плотность хиральности пучка, так как исключение компонентов из выражения (5) приведет к потере существенного слагаемого в (9), содержащего смешанную производную от $u^{(0)}$. Таким образом, представление полей в виде ряда позволяет точно вычислять квадратичные по напряженностям величины как в

параксиальном приближении, так и вне его, представляя плотность хиральности в виде ряда по степеням f . Учитывая, что f является малой величиной, можно вычислить плотность хиральности с необходимой точностью, просто отбросив слагаемые малого порядка величины.

Используя (7) и (8), для L-пучка находим

$$K = (\varepsilon_0 k^3 / 2) \operatorname{Im} \{ -2f^2 \partial_\xi u^{(0)} \times \partial_\eta u^{(0)*} + f^4 [-\partial_\xi u^{(0)} \times \partial_\eta u^{(2)*} - (\partial_\xi u^{(2)} - 2\partial_{\xi\zeta}^2 u^{(0)}) \times \partial_\eta u^{(0)*} + \partial_\eta u^{(0)} \times \partial_\xi u^{(2)*} + (\partial_\eta u^{(2)} - 2\partial_{\eta\zeta}^2 u^{(0)}) \times \partial_\xi u^{(0)*}] + \dots \}. \quad (10)$$

Заметим, что в то время как слагаемые наибольшего порядка величины в выражениях (9) и (10) содержат только $u^{(0)}$, уже в следующем приближении имеются произведения производных от $u^{(0)}$ и $u^{(2)}$. Очевидно, количество слагаемых, которые необходимо удерживать в разложении огибающей u , растет линейно с увеличением степени множителя f в вычисляемом выражении. С использованием полученного в данной работе результата (выражение (4)) можно вычислить плотность хиральности RLG с любой степенью точности.

В данной работе было исследовано распространение пучков Лагерра–Гаусса с вещественным аргументом вне параксиального приближения. Поправки к амплитуде пучка с вещественным аргументом были получены в виде суперпозиции поправок к амплитудам пучков с комплексным аргументом. Были получены явные выражения для напряженностей электрического и магнитного полей и плотности хиральности пучков Лагерра–Гаусса с поперечной и продольной поляризациями векторного потенциала. Полученные результаты могут быть использованы для проектирования профилей лазерных пучков, оптомеханического разделения хиральных наночастиц и других приложений.

Литература

1. Lax M., Louisell W.H., McKnight W.B. From Maxwell to paraxial wave optics // *Physical Review A*. – 1975. – V. 11. – № 4. – P. 1365.
2. Takenaka T., Yokota M., Fukumitsu O. Propagation of light beams beyond the paraxial approximation // *JOSA A*. – 1985. – V. 2. – № 6. – P. 826–829.
3. Deng D., Guo Q. Elegant Hermite–Laguerre–Gaussian beams // *Optics Letters*. – 2008. – V. 33. – № 11. – P. 1225–1227.
4. Vovk I.A. et al. Chiral nanoparticles in singular light fields // *Scientific Reports*. – 2017. – V. 7. – P. 45925.
5. Vovk I.A. et al. Analytical theory of real-argument Laguerre–Gaussian beams beyond the paraxial approximation // *JOSA A*. – 2017. – V. 34. – № 10. – P. 1940–1944.



Гарин Иван Станиславович

Год рождения: 1994

Университет ИТМО, факультет лазерной и световой инженерии,
кафедра оптико-электронных приборов и систем,
студент группы № В4207

Направление подготовки: 12.04.02 – Опотехника

e-mail: dangerig@list.ru

УДК 535.317.1

ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМА РАБОТЫ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ УСТАЛОСТИ ВОДИТЕЛЯ

Гарин И.С.¹

Научный руководитель – к.т.н., доцент Горбачёв А.А.¹

¹Университет ИТМО

Работа выполнена в рамках темы НИР № 617031 «Исследование и разработка методов и средств решения прикладных задач фотоники».

В работе рассмотрены алгоритмы работы систем контроля усталости водителя, существующих на данный момент, а также проведено сравнение с разработанным алгоритмом работы. Проведено исследование макета системы контроля усталости водителя. В ходе данного исследования было разработано программное обеспечение, проверена его работоспособность при различных условиях работы.

Ключевые слова: контроль усталости, безопасность, автомобилестроение, мимика, обнаружение, алгоритм работы.

Развитие автотранспорта привело к тому, что некоторым водителям приходится проводить много времени за рулем по совершенно разным причинам, будь то работа, путешествие или личные дела. Согласно статистике, приблизительно каждая четвертая авария происходит из-за того, что водитель сильно устал, и время его реакции увеличилось [1]. Исследования ученых показали, что после четырех часов непрерывной езды реакция водителя уменьшается в два раза, а через восемь часов – в шесть раз. Избежать этого поможет разработка систем, способных оценивать степень переутомления водителя и оповещать его о необходимости отдыха.

Системы раннего предупреждения усталости водителя, существующие на данный момент, для контроля усталости используют различные датчики и способы определения, поэтому и алгоритмы работы таких систем различны. Однако на основе аналитического обзора выявлено, что все системы можно разделить на несколько основных групп по принципу их действия. Для каждой группы систем были составлены алгоритмы работ, которые могут описать принцип работы систем [2]. Так, системы, которые могут устанавливаться в автомобиле штатно, имеют алгоритм работы, представленный на рис. 1, а.

Данные системы начинают свою работу только при достижении автомобилем определенной скорости, 60–80 км/ч, в зависимости от производителя. После этого система начинает считывать показания с различных датчиков и камер, участвующих в работе системы, таких как контроль полосы движения, частота автоматического подруливания, использование клавиш управления системами климатической установки и мультимедиа, и прочие. При достижении предельного отклонения от порогового значения по одному или нескольким датчикам система выдает предупреждение об опасности и предлагает водителю сделать перерыв на отдых. Таким образом, система делает выводы о переутомлении не по реальному состоянию водителя, а по косвенным признакам, и не учитывает особенности и манеру поведения конкретного водителя, что

вносит отрицательный вклад при определении переутомления водителя, который может выражаться в ложных срабатываниях или в задержке определения опасности.

Покупные системы настроены на определение состояния водителя по различным между собой показателям, но принцип их работы можно описать общим алгоритмом, представленном на рис. 1, б.

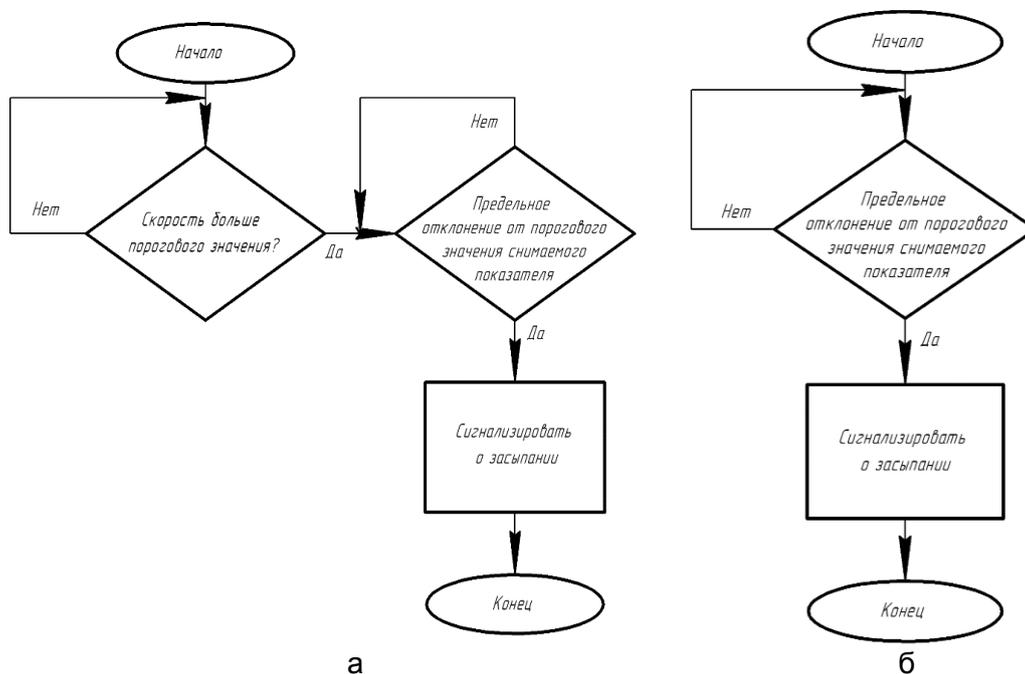


Рис. 1. Алгоритмы работы штатных (а) и покупных (б) систем

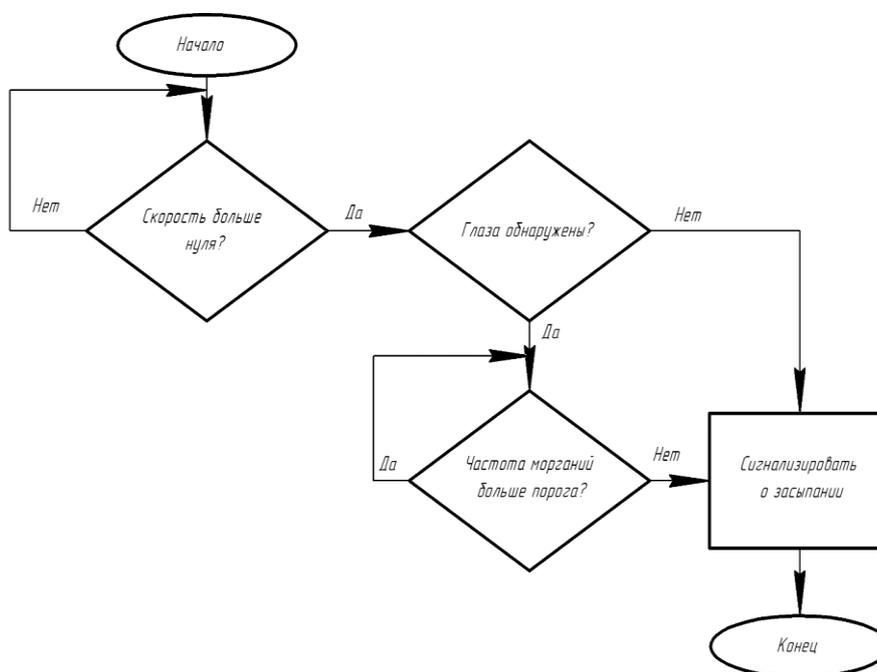


Рис. 2. Алгоритм работы разработанной системы

Данные системы начинают работать сразу после их активации. В режиме реального времени они снимают различные показания с датчиков, которыми они оборудованы (угол наклона головы, пульс, давление и т.п.), тем самым оценивая психоэмоциональное состояние водителя, а затем сравнивают их с показателями, которые соответствуют бодрому водителю. Если по одному или нескольким показаниям с датчиков выявляется предельное отклонение от порогового значения, то система решает, что необходимо

сделать перерыв, и предупреждает водителя об опасности. Но данные системы работают по предустановленным показателям, которые приняты за норму, и не учитывают особенности физического и психоэмоционального состояния конкретного водителя. Данный недостаток может вызвать некорректную работу самой системы, в том числе ложные срабатывания или запаздывание в определении переутомления.

Разработанная в данной работе система оценивает усталость водителя по более сложному алгоритму, который представлен на рис. 2.

В ней учтаны различные сценарии, которые возможны. Так, например, она работает при любой скорости, отличной от нулевой, благодаря чему исключается возможность ложного срабатывания системы при отсутствии движения, например, когда водитель решил отдохнуть в автомобиле. С другой стороны, система начинает свою работу при любой скорости, отличной от нуля, поэтому предупреждение появится при любом движении автомобиля. Данная особенность значительно расширяет возможности системы для предотвращения несчастных случаев при движении в местах с любым ограничением скорости, в том числе и во дворах.

Разработанный алгоритм работы системы не оценивает определенные показатели поведения автомобиля или действия водителя. Суть работы заключается в наблюдении в режиме реального времени за конкретным водителем, а именно, оценивать наличие или отсутствие открытых глаз на видеоряде при определенных скоростях. Это возможно из-за того, что данный алгоритм позволяет одновременно анализировать данные, поступающие с камеры и с датчика скорости, во избежание ложного срабатывания.

Для функционирования системы необходимо наличие программного обеспечения, которое выявляло бы моменты переутомления водителя. Для этого был доработан программный код [3], а также протестирован с целью выявления соответствия полученных результатов и поставленных перед ним задач.

Распознавание лица и глаз происходит по алгоритму Виолы–Джонса с использованием признаков Хаара. Работа данного алгоритма работает по принципу так называемого «скользящего окна» для вычисления необходимых признаков [4, 5]. Данный алгоритм является одним из лучших по соотношению показателей эффективности распознавания и скорости работы. Также он обладает крайне низкой вероятностью ложного обнаружения лица. Но при угле наклона больше 30° вероятность обнаружения падает.

Целью экспериментальных исследований системы контроля усталости водителя было определение работоспособности системы, оценка ее поведения в ситуациях, которые могут возникнуть в процессе эксплуатации.

Главной задачей алгоритма являлся поиск открытых глаз на видеоряде, причем не только определение области нахождения глаз, а именно определение того, открыты они в данный момент или нет. На рис. 3 представлены результаты работы алгоритма в различных ситуациях.

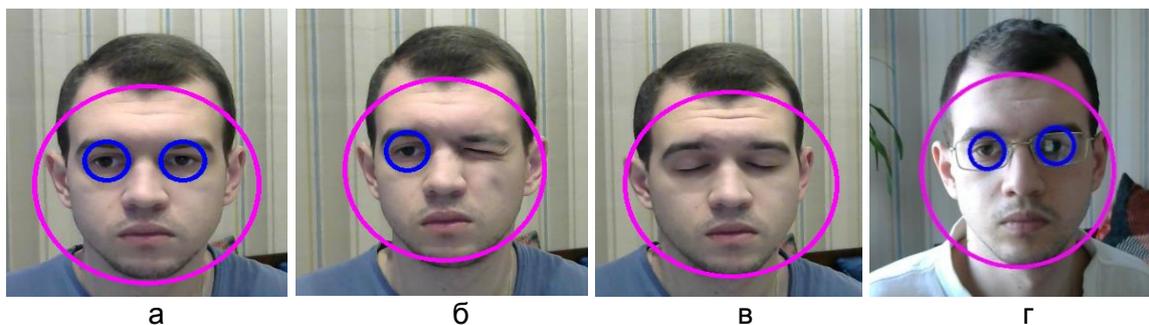


Рис. 3. Работа алгоритма в различных ситуациях: открыты два глаза (а); открыт один глаз (б); глаза закрыты (в); водитель в очках (г)

Когда на изображении открыты два глаза, то программа определяет оба (рис. 3, а). Если закрыть один глаз (рис. 3, б), то система распознает только один глаз. А в случае, если закрыть оба глаза (рис. 3, в), то системой не будет найдено ни одного открытого глаза.

Для адаптации к конкретному человеку и правильному поиску глаз в системе предусмотрена калибровка.

Проверена работоспособность алгоритма в том случае, когда водитель носит очки (рис. 3, г). Результаты экспериментов показали, что при таком условии поиск открытых глаз возможен, но с ошибкой. В данном случае алгоритм не всегда распознавал открытые глаза. Связано это в первую очередь с тем, что в линзах очков появляется отражение внешних источников излучения, яркость которых значительно больше яркости фона, что затрудняет определение глаз. Уменьшение яркости внешних источников излучения приводит к увеличению вероятности распознавания открытых глаз. Конечно, во время вождения возможно появление бликов на стеклах очков, однако они не будут такими яркими и четкими, поэтому не будут вносить ошибки при нахождении открытых глаз.

Для определения вероятности обнаружения открытых глаз была проведена серия опытов. Было инсценировано по 100 появлений перед камерой в различных ситуациях: открыты оба глаза, один глаз открыт, оба глаза закрыты, в очках. Были подсчитаны попытки, когда количество открытых глаз определялось верно, и когда случались ошибки в определении.

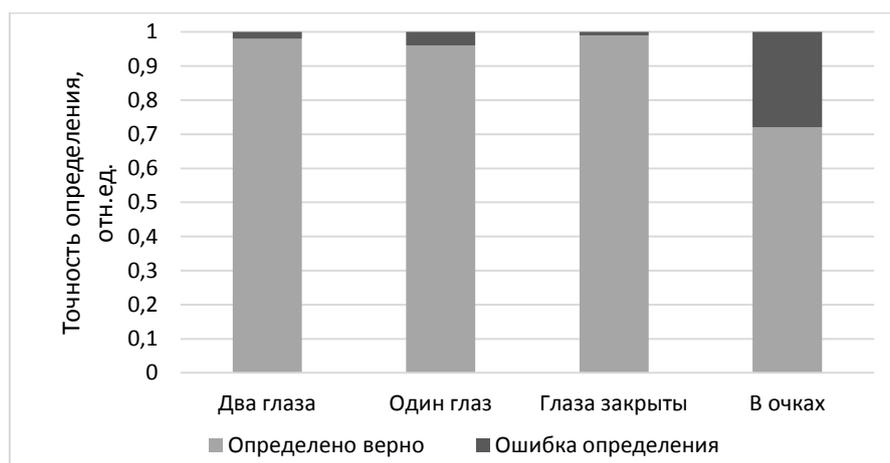


Рис. 4. Работа алгоритма в различных ситуациях

Проведенные исследования показали, что вероятность обнаружения глаз на видеоряде различна для разных ситуаций, что показано на рис. 4. Так, например, при проведении опыта с двумя открытыми глазами система иногда ошибочно определяла только один открытый глаз, поэтому вероятность обнаружения составляла 98%. Для аналогичного опыта с одним открытым глазом вероятность обнаружения составляла 96%. При отсутствии глаз на анализируемом изображении, вероятность обнаружения равнялась 99%. Последний результат получался из-за того, что при очередном появлении перед камерой программа ошибочно обозначило место, где, по ее мнению, находился открытый глаз. Однако через две секунды в кадре не было обнаружено ни одного открытого глаза.

Если водитель пользуется очками, то точность обнаружения в этом случае составляет 72%. Данная ошибка объясняется условиями, в которых проводились эксперименты.

Система должна начинать работать при любой скорости, отличной от нуля, для исключения ложных срабатываний в ситуациях, когда водитель просто закрыл глаза в

припаркованном автомобиле. Система не начинает работу при скорости движения автомобиля, равной нулю (рис. 5, а). Но при любой скорости, большей нуля, система начинает распознавать лицо и глаза (рис. 5, б).

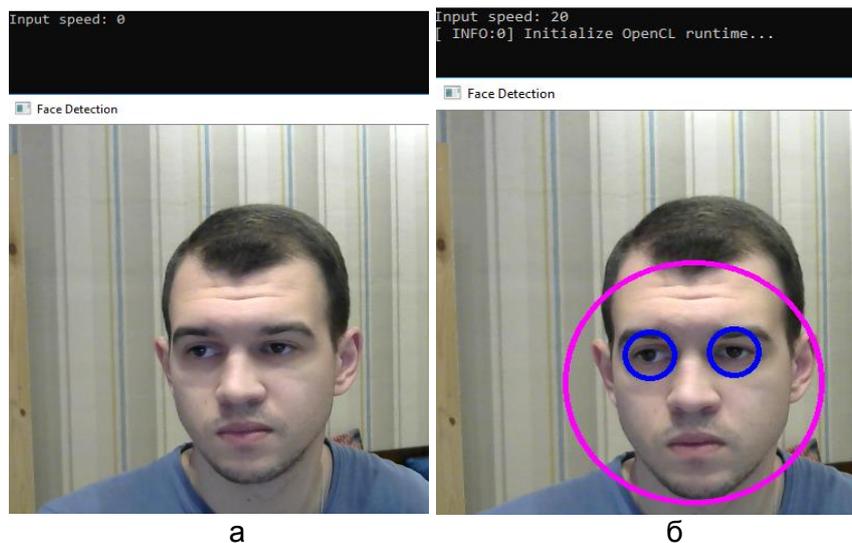


Рис. 5. Работа системы при скорости: равной нулю (а); больше нуля (б)

Для определения возможностей алгоритма на предмет реагирования на изменившиеся обстоятельства, а именно на поворот головы водителя, было проведено исследование, в котором вычислялся максимально возможный угол поворота головы, при котором система определяет наличие открытых глаз. Было проведено по 20 измерений в каждую сторону. Усредненные результаты данного эксперимента приведены в таблице.

Таблица. Результаты эксперимента с поворотом головы

Направление поворота	Угол поворота головы	
	Определение двух открытых глаз	Определение одного открытого глаза
Налево	25°	54°
Направо	27°	52°

В данном эксперименте оценивался угол поворота головы не только в тех ситуациях, когда система переставала видеть оба глаза, но и в тех, когда система продолжала определять хотя бы один глаз. Таким образом, получается, что в условиях расположения камеры напротив водителя предельный угол поворота головы при обнаружении двух глаз равен 26°, а при обнаружении хотя бы одного глаза – 53°.

Было проведено моделирование ситуации, когда система работает в темное время суток. В случае, когда внешнее освещение отключено, лицо освещается дополнительным источником излучения. Освещенность становится меньше, но достаточной для обнаружения глаз.

Если полностью убрать внешнее освещение, изображение получится темным и алгоритм не сможет ничего на нем обнаружить. Если оставить подсветку внешнего источника излучения, но приглушить его яркость, то освещенности объекта оказывается достаточной для обнаружения лица и глаз. Однако обнаружение нестабильно, алгоритм периодически перестает находить объект, поэтому подсветка исследуемой области в темное время суток необходима.

Программное обеспечение было разработано в среде разработки VisualStudio на языке программирования C++ с использованием библиотеки OpenCV.

В ходе исследования алгоритма работы системы контроля усталости водителя были проведены испытания работы алгоритма, которые показали, что вероятность

правильного обнаружения открытых глаз близка к 100%. Наибольшая ошибка получалась в случае с использованием водителем очков, что связано, скорее всего, с условиями, в которых проводились эксперименты. Необходимо проведение дальнейших испытаний в реальных условиях для актуализации полученных данных.

Литература

1. Контроль усталости водителя [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://mitsu-motors.ru/kontrol-ustalosti-voditelya>, своб.
2. Алгоритм работы систем контроля усталости водителей [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://novainfo.ru/article/13664>, своб.
3. CascadeClassifier [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://docs.opencv.org/2.4/doc/tutorials/objdetect/cascade_classifier/cascade_classifier.html, своб.
4. Метод Виолы-Джонса (Viola-Jones) как основа для распознавания лиц [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://habr.com/post/133826>, своб.
5. Viola P., Jones M.J. Robust real-time object detection // Int. Journal of Computer Vision. – 2004. – V. 57. – № 2. – P. 137–154.

**Геряинов Егор Сергеевич**

Год рождения: 1995

Университет ИТМО, факультет лазерной и световой инженерии, кафедра информационных технологий топливно-энергетического комплекса, студент группы № В4160с

Направление подготовки: 16.04.01 – Техническая физика

e-mail: geryainov@gmail.com

**Карпов Константин Анатольевич**

Год рождения: 1975

Университет ИТМО, факультет лазерной и световой инженерии, кафедра информационных технологий топливно-энергетического комплекса, к.хим.н., доцент

e-mail: karconst@mail.ru

УДК 665.7.038

**ИЗУЧЕНИЕ АНТИОКИСЛИТЕЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ И БИОЦИДНОГО
ДЕЙСТВИЯ ПРИСАДКИ МКФ-18НТ****Геряинов Е.С.¹, Карпов К.А.¹****Научный руководитель – к.хим.н., доцент Карпов К.А.¹**¹Университет ИТМО

Работа выполнена в рамках темы НИР № 617031 «Исследование и разработка методов и средств решения прикладных задач фотоники».

В работе рассмотрено применение металлоплакирующей присадки к смазочным материалам МКФ-18НТ в качестве фунгицидной добавки к промышленным, а также минеральным и полусинтетическим моторным маслам. Показано, что уменьшение продуктов окисления в отработанном масле не является следствием антиокислительной активности присадки. Установлено, что присадка МКФ-18НТ при ее введении в минеральные и полусинтетические масла подавляет рост плесневелых грибов, что способствует уменьшению микробиологической коррозии.

Ключевые слова: полифункциональные присадки, антимикробные присадки, биоциды, смазочные материалы.

Объектом данного исследования являлась металлоплакирующая присадка МКФ-18НТ (ТУ 0257-001-54723083-05), при изготовлении которой используются: олеиновая кислота, соединения меди, цинка, олова и никеля, а также промышленное масло И-20А. Эта присадка предназначена для улучшения антифрикционных, противоизносных и противозадирных характеристик поверхностей трения механизмов и агрегатов, путем добавления в смазочные материалы (СМ).

С целью определения влияния присадки МКФ-18НТ на образование в моторных маслах продуктов окисления были проведены опыты по определению кислотного числа (КЧ) для проб полусинтетического моторного масла Shell HELIX HX7 10W-40 после отработки в двигателе внутреннего сгорания в течение 15 тыс. км пробега. Испытания проводились методом потенциометрического титрования по ГОСТ 11362-96.

После исследований установлено, что КЧ пробы отработанного масла с присадкой МКФ-18НТ (2% об.) примерно на 40% меньше, чем соответствующий

параметр у масла без присадки. Снижение кислотного числа у отработанного масла может быть следствием антиокислительной активности присадки.

Кроме того, наличие в составе концентрата присадки МКФ-18НТ олеата меди указывает на ее биологическую активность [1]. Одним из условий эффективного использования масел и смазок является их устойчивость к воздействию микроорганизмов, вызывающих ухудшение качества СМ и способствующих усилению коррозионной агрессивности. Для этого к СМ добавляют специальные присадки биоцидного действия.

Таким образом, присадка МКФ-18НТ может дополнительно обладать антиокислительным и (или) противомикробным действием, и тогда ее можно будет рекомендовать в качестве полифункциональной присадки с более широким спектром полезных свойств.

Присадка МКФ-18НТ содержит в своем составе соединения металлов, которые в реакциях окисления могут проявлять как каталитические, так и ингибирующие свойства. При этом в литературных источниках преобладают примеры увеличения скорости окисления углеводородов при добавлении в них олеатов металлов переменной валентности. Так, согласно [2], опыты с введением в реактивное топливо Т-6 олеата меди(І) показали, что эта соль меди ускоряет окисление, причем заметный каталитический эффект наблюдается уже при введении всего 10^{-6} моль/л.

С целью проверки антиокислительного действия присадки были поставлены тестовые опыты по окислению углеводородов (кумола и топлива РТ) в присутствии МКФ-18НТ. Введение присадки в количестве 0,1–3,5% мас. не привело к торможению окисления углеводородов, т.е. объем поглощаемого кислорода практически соответствовал этому параметру для аналогичных опытов без добавки МКФ-18НТ. Таким образом, исследуемая присадка не является ингибитором автоокисления углеводородов и снижение кислотного числа у отработанного моторного масла связано с другими причинами.

Существует точка зрения о действии антиоксидантов главным образом как биоцидов. Кроме того, некоторые разработчики присадок и добавок к топливам считают, что каждая присадка кроме своего функционального действия должна обладать и антимикробными свойствами [3].

Влияние присадки МКФ-18НТ на антимикробные свойства масел различных видов изучали, применяя их растворы в маслах в количестве 1–2% мас. Для проведения исследований были использованы следующие СМ: промышленное масло И-12А на нефтяной основе; полусинтетическое моторное масло Wolf GUARDTECH 10W40 B4; синтетическое моторное масло Total QUARTZ 9000 5W40. Введение концентрата медьсодержащей присадки в испытуемые масла осуществляли путем добавления к СМ соответствующего количества концентрата и тщательного перемешивания до полного растворения [4].

Антимикробные свойства СМ в присутствии присадки МКФ-18НТ исследовались в чашках Петри методом лунки в эксикаторе, на дно которого налита вода, по ГОСТ 9.052-88 и ГОСТ 9.082-77. При помощи термостата поддерживалась температура 28–30°C. Для испытаний в качестве тест-культур были использованы: грибы (*Aspergillus niger*), дрожжи (*Candida utilis*) и бактерии (*Pseudomonas aeruginosa*). Эффективность антимикробного действия МКФ-18НТ определяли по величине диаметра зоны задержки роста микроорганизмов вокруг лунки с присадкой и без нее.

После проведения опытов установлено, что промышленное масло И-12А в присутствии присадки МКФ-18НТ подавляет рост грибной микрофлоры. Так, диаметры зон задержки роста у культуры гриба *Aspergillus niger* составили: 10 мм и 7 мм при содержании присадки 2% мас. и 1% мас. соответственно. Кроме того, зафиксирована

задержка роста *Aspergillus niger* с зоной 30 мм в опытах с полусинтетическим маслом при содержании присадки 2% мас.

В тех же условиях синтетическое масло в присутствии присадки рост грибной микрофлоры не задерживает. Также все испытуемые масла с присадкой МКФ-18НТ не влияют на рост культур дрожжей *Candida utilis* и бактерий *Pseudomonas aeruginosa*.

Следует отметить, что в контрольных образцах исследуемых масел, включая полусинтетическое отработанное масло (см. выше) с присадкой и без присадки, в условиях испытаний наблюдается интенсивный рост микроорганизмов вокруг лунок в чашках Петри.

Таким образом, можно сделать заключение, что присадка МКФ-18НТ при ее введении в минеральные и полусинтетические масла (при содержании более 1% мас.) эффективно подавляет рост плесневелых грибов. Кроме того, фунгицидное действие присадки при повышении влажности и температуры сохраняется на протяжении длительного времени.

В качестве промышленных противомикробных присадок к маслам известен 8-оксихинолин и его производные соединения [5]. В ходе экспериментов установлено, что противогрибковая активность минеральных масел в присутствии МКФ-18НТ выше, чем при добавлении (в аналогичных концентрациях) присадки 8-оксихинолин, используемой в качестве эталона. Кроме того, 8-оксихинолин, введенный в полусинтетическое моторное масло в количестве более 1% мас., несмотря на то, что проявляет антимикробную активность, выступает загустителем масла, резко увеличивая его вязкость. В этих же условиях вязкость полусинтетического моторного масла при добавлении присадки МКФ-18НТ увеличивается всего в пределах 2%.

В результате проведения исследований установлено, что присадка МКФ-18НТ является эффективной фунгицидной добавкой к индустриальным, а также минеральным и полусинтетическим моторным маслам. Установлено, что снижение кислотного числа у отработанного моторного масла не является следствием антиокислительной активности присадки МКФ-18НТ в реакциях жидкофазного автоокисления углеводородов. Одной из причин уменьшения продуктов окисления в отработанном масле в присутствии МКФ-18НТ может выступать ее фунгицидное действие.

Таким образом, МКФ-18НТ является полифункциональной присадкой к смазочным маслам и, кроме антифрикционного действия, способствующего снижению износа технологического оборудования, дополнительно обладает фунгицидной активностью, приводящей к уменьшению микробиологической коррозии.

Литература

1. Пат. 2536882 Российская Федерация, МПК⁷ А01N25/00. Фунгицидная композиция для строительных конструкций (варианты) / Веселовский Р.А. (Украина); заявитель и патентообладатель Веселовский Р.А. – № 2013106974/13; заявл. 18.02.13; опубл. 27.12.14, Бюл. № 36. – 6 с.
2. Денисов Е.Т., Ковалев Г.И. Окисление и стабилизация реактивных топлив. – М.: Химия, 1983. – 272 с.
3. Саблина З.А., Гуреев А.А. Присадки к моторным топливам. – М.: Химия, 1977. – 258 с.
4. Пашковский И.Э. Комплекс технологических методов снижения водородного изнашивания узлов трения машин бытового назначения // Вестник Ассоциации вузов туризма и сервиса. – 2009. – № 4. – С. 79–88.
5. Мамедова П.Ш., Бабаев Э.Р., Эйвазова И.М., Азизова С.М., Полетаева О.Ю., Мовсумзаде Э.М., Колчина Г.Ю. Исследование антиокислительных и антимикробных свойств серосодержащих производных пространственно-затрудненных фенолов // Нефтегазохимия. – 2016. – № 4. – С. 27–30.

**Голованова Мария Анатольевна**

Год рождения: 1994

Университет ИТМО, факультет фотоники и оптоинформатики, кафедра оптической физики и современного естествознания, студент группы № V4137

Направление подготовки: 12.04.03 – Фотоника

и оптоинформатика

e-mail: golovanova.mariya@gmail.com

**Колесова Екатерина Петровна**

Год рождения: 1993

Университет ИТМО, факультет фотоники и оптоинформатики, кафедра оптической физики и современного естествознания, аспирант

Направление подготовки: 03.06.01 – Физика и астрономия

e-mail: kolesovaekaterina@corp.ifmo.ru

**Дубовик Алексей Юрьевич**

Год рождения: 1982

Университет ИТМО, факультет фотоники и оптоинформатики, кафедра оптической физики и современного естествознания,

PhD.хим.н, доцент

e-mail: adubavik@corp.ifmo.ru

**Орлова Анна Олеговна**

Год рождения: 1973

Университет ИТМО, факультет фотоники и оптоинформатики, профессор кафедры оптической физики и современного естествознания, д.ф.-м.н., доцент

e-mail: a.o.orlova@gmail.com

УДК 535.243

**ГИБРИДНЫЕ СТРУКТУРЫ НА ОСНОВЕ CdSe КВАНТОВЫХ ТОЧЕК
С ПОЛУПРОВОДНИКОВОЙ ОБОЛОЧКОЙ ПЕРЕМЕННОГО ХИМИЧЕСКОГО
СОСТАВА И НАНОЧАСТИЦ TiO₂**

Голованова М.А.¹, Колесова Е.П.¹, Дубовик А.Ю.¹

Научный руководитель – д.ф.-м.н., профессор Орлова А.О.¹

¹Университет ИТМО

Работа выполнена при государственной финансовой поддержке ведущих университетов Российской Федерации (субсидия 08-08).

В работе была создана гибридная наноструктура на основе квантовых точек переменного градиентного химического состава Cd_xZn_ySe_{x-1}S_{y-1}/ZnS и наночастиц диоксида титана и исследованы фотофизические свойства данной структуры. Наблюдалось тушение люминесценции квантовых точек в составе гибридной структуре, что свидетельствует о фотоиндуцированном переносе электрона от квантовых точек данного типа к наночастицам диоксида титана.

Ключевые слова: наночастицы, квантовые точки переменного химического состава, диоксид титана, гибридные наноструктуры, фотоиндуцированный перенос заряда.

Полупроводниковые квантовые точки и гибридные структуры на их основе являются перспективными наноматериалами для биомедицинских приложений [1]. Квантовые точки (КТ) могут применяться в качестве люминофора, или в составе гибридных структур, где могут выступать в роли донора энергии или заряда. Полупроводниковые квантовые точки – нанокристаллы с уникальными оптическими свойствами, которыми можно управлять, меняя тип КТ, их материал и размер [2]. КТ поглощают свет в широком диапазоне частот, обладают высоким квантовым выходом люминесценции, высокой химической и фотостабильностью. Классическими можно назвать КТ типа ядро/оболочка, у которых оболочка выполнена из другого полупроводникового материала, и ее толщина составляет 1–2 монослоя. При покрытии полупроводниковой оболочкой уменьшается количество поверхностных дефектов, пассивируется поверхность ядра, экситон лучше локализован в ядре, что приводит к увеличению квантового выхода люминесценции. Наиболее распространенными являются КТ типа ядро/оболочка первого типа, где оболочкой является более широкозонный относительно ядра полупроводник. К недостаткам таких КТ можно отнести так называемый блиннинг – случайное переключение между ярко люминесцирующим и слабо люминесцирующим состоянием люминофора, связанное с появлением избыточного заряда в КТ и увеличением вероятности Оже-рекомбинации [3]. Существует два варианта подавления блиннинга – покрытие КТ толстой оболочкой, затрудняющей перенос заряда, или оболочкой с переменным градиентным химическим составом, которая благодаря плавному изменению стен потенциальной ямы делает неэффективным процесс Оже-рекомбинации [2].

Привлекательным материалом для создания гибридных структур является диоксид титана, который обладает высокой фотокаталитической активностью [4]. TiO_2 генерирует активные формы кислорода, которые приводят к гибели бактерий. Но диоксид титана поглощает свет в ультрафиолетовой области, а свет такой частоты, как известно, оказывает вредное воздействие на человека.

Ранее мы создали многослойные гибридные наноструктуры методом послойного нанесения слоев полупроводниковых КТ I типа и наночастицы (НЧ) TiO_2 на диэлектрическую подложку. У полученных структур наблюдался синергетический эффект: благодаря КТ система поглощает свет в видимом диапазоне и генерирует активные формы кислорода за счет эффективного фотоиндуцированного переноса электрона из зоны проводимости КТ в зону проводимости TiO_2 [5]. КТ I типа характерен блиннинг, и в любой момент времени есть часть ансамбля, которая находится в темном состоянии, из-за чего перенос электрона с этих КТ на второй компонент структуры не происходит. Учитывая этот факт, одним из путей оптимизации данной гибридной структуры является замена КТ I типа на КТ с полупроводниковой оболочкой переменного химического состава, в которых подавлен блиннинг. Толстая полупроводниковая оболочка таких КТ может затруднить процесс переноса заряда от КТ ко второму компоненту структуры. Но в то же время, учитывая главную особенность структуры данных КТ, градиентность, может оказаться, что даже толстая по сравнению с классическими КТ оболочка не является препятствием для эффективного переноса заряда в гибридной структуре.

Задачами данной работы было исследовать люминесцентные свойства КТ переменного градиентного химического заряда и провести оценку целесообразности применения КТ с градиентным химическим составом в качестве донора заряда в составе гибридных наноструктур. Для исследования данного вопроса как модельный

объект в качестве известного акцептора дырки могут быть использованы молекулы L-цистеина.

Цель работы – формирование гибридной наноструктуры на основе квантовых точек с полупроводниковой оболочкой переменного химического состава и наночастиц TiO_2 и установление закономерностей фотофизических свойств данной структуры.

В работе были использованы $\text{Cd}_x\text{Zn}_y\text{Se}_{x-1}\text{S}_{y-1}/\text{ZnS}$ коллоидные КТ, полученные высокотемпературным металлоорганическим синтезом, со средним размером 6,5 нм, и наночастицы TiO_2 со средним размером 2 нм. Поверхности КТ и НЧ TiO_2 были стабилизированы молекулами олеиновой кислоты. Гибридные структуры на основе КТ и НЧ TiO_2 формировались по технологии Ленгмюра–Блоджетт. В качестве подложки использовалось предметное стекло, на которое последовательно наносились слои КТ и наночастиц TiO_2 .

Спектры поглощения и люминесценции КТ в растворе регистрировались с помощью спектрофотометра Shimadzu UV-Probe 3600 и спектрофлуориметра Cary Eclipse Varian. Кинетика затухания люминесценции исследовалась с помощью люминесцентного микроскопа PicoQuant с линейкой интерференционных фильтров с возможностью регистрации кривых затухания люминесценции на различных длинах волн регистрации с шагом 10 нм. Люминесцентное изображение сухого слоя КТ и гибридной структуры на предметном стекле было получено с помощью конфокального люминесцентного микроскопа Zeiss LSM 710.

КТ с оболочкой переменного химического состава являются новым типом квантовых точек и его люминесцентные свойства пока мало изучены. На первом этапе работы были изучены спектрально-люминесцентные свойства и кинетика люминесценции КТ в хлороформе. На спектре поглощения (рис. 1) наблюдается хорошо выраженный экситонный пик поглощения на длине волны 553 нм, а максимум экситонной полосы люминесценции на 568 нм.

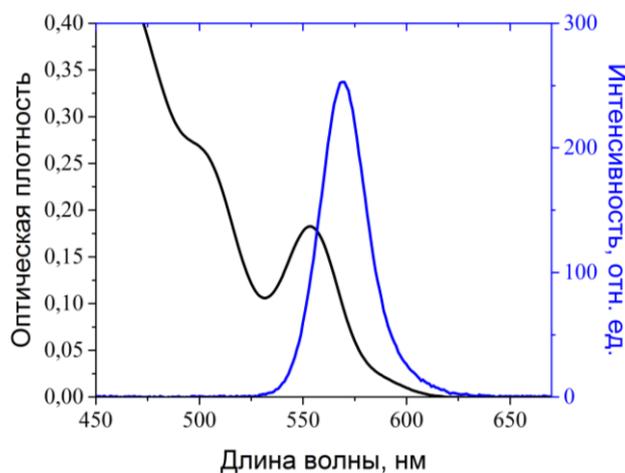


Рис. 1. Спектры поглощения (черный) и люминесценции (синий) коллоидного раствора $\text{Cd}_x\text{Zn}_y\text{Se}_{x-1}\text{S}_{y-1}/\text{ZnS}$ КТ в хлороформе. Длина волны возбуждения люминесценции 350 нм

Кривые затухания люминесценции так же, как и у КТ I типа, аппроксимировались биэкспоненциальной функцией $y = A_1 \exp\left(-\frac{t}{\tau_1}\right) + A_2 \exp\left(-\frac{t}{\tau_2}\right)$, параметры которой для исследованных образцов на длине волны 570 нм, которая близка к максимуму полосы люминесценции КТ, приведены в табл. 1. Среднее время затухания люминесценции рассчитывалось по формуле $\tau_{av} = \frac{\sum_i A_i \tau_i^2}{\sum_i A_i \tau_i}$. Тот факт, что наблюдается биэкспоненциальный распад люминесценции, свидетельствует о том, что в данных КТ оболочка недостаточно толстая, чтобы блиннинг был подавлен полностью. Но при этом

времена затухания люминесценции данных КТ в хлороформе существенно превышают времена затухания люминесценции классических КТ в растворе, которые обычно порядка 19 нс для долгоживущей компоненты и 5 нс для короткоживущей.

Таблица 1. Времена и амплитуды затухания люминесценции исследованных образцов

Образец	τ_1 , нс	A_1 , %	τ_2 , нс	A_2 , %	τ_{av} , нс
КТ в хлороформе	$28 \pm 0,5$	44 ± 2	$13 \pm 0,5$	56 ± 2	$23 \pm 0,5$
Сухой слой КТ	$14 \pm 0,5$	11 ± 2	$3 \pm 0,5$	89 ± 2	$7 \pm 0,5$
Гибридная структура КТ/НЧ TiO_2	$6 \pm 0,5$	19 ± 2	$1 \pm 0,5$	81 ± 2	$4 \pm 0,5$

Затем была произведена процедура фазового переноса КТ в воду, и стабилизатор был заменен на L-цистеин. Наблюдалось сокращение времен затухания люминесценции по сравнению с образцом раствора КТ в хлороформе без акцептора, которое свидетельствует о тушении люминесценции из-за переноса дырки с КТ на тиольную группу молекулы L-цистеина. В табл. 2 приведены эффективности переноса заряда с КТ на молекулу стабилизатора, если полагать, что все тушение люминесценции связано именно с переносом заряда, рассчитанные по следующей формуле

$$E = 1 - \frac{\tau}{\tau_0}, \quad (1)$$

где τ – среднее время затухание люминесценции образца в присутствии тушителя, а τ_0 – без него. Данная эффективность составила порядка 50% для всех рассмотренных длин волн в полосе люминесценции КТ. Таким образом, есть основания полагать, что КТ данного типа могут выступать эффективным донором заряда и могут быть использованы для создания гибридных структур с диоксидом титана. Для проверки данного предположения на следующем этапе работы была создана такая структура из сухого слоя КТ и слоя НЧ TiO_2 .

На люминесцентном изображении (рис. 2, а) видно, что в отличие от целостного сухого слоя КТ, слой НЧ TiO_2 имеет разрывы и занимает лишь треть поверхности образца.

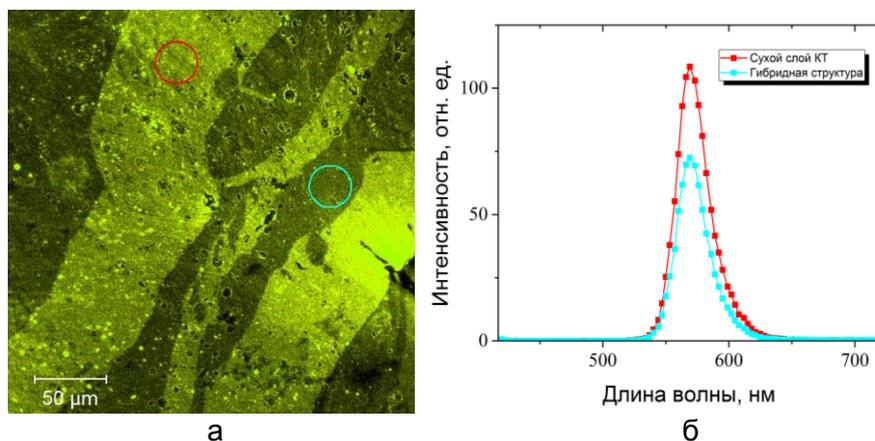


Рис. 2. Люминесцентное изображение (а) и спектры люминесценции (б) сухого слоя КТ на предметном стекле (красный) и гибридной структуры (голубой)

Далее была исследована кинетика затухания люминесценции сухого слоя КТ и созданной гибридной структуры. Наблюдалось значительное сокращение характерного времени затухания как долгоживущей, так и короткоживущей компонент люминесценции КТ (табл. 1) в сухом слое по сравнению с КТ в растворе, что связано с сильным взаимодействием между КТ в сухом слое из-за уменьшения расстояния между ними по сравнению со средним расстоянием между КТ в растворе. По этой причине тушение люминесценции в структурах с НЧ TiO_2 корректно оценивать по отношению к люминесценции в сухом слое КТ. По формуле (1) были рассчитаны эффективности

тушения люминесценции КТ в составе гибридной структуры с НЧ TiO_2 по сравнению с сухим слоем КТ и в сухом слое КТ по сравнению с КТ в растворе в диапазоне 550–590 нм полосы люминесценции КТ (табл. 2). Также наблюдалось уменьшение интенсивности люминесценции на спектре, полученном с области образца, где поверх сухого слоя КТ был нанесен слой НЧ TiO_2 , по отношению к интенсивности люминесценции участка сухого слоя КТ не покрытого слоем НЧ TiO_2 (рис. 2, б). Наблюдаемое тушение люминесценции подтверждает наше предположение о возможности реализации переноса заряда в гибридных структурах с КТ данного типа.

Таблица 2. Зависимость эффективности тушения люминесценции исследованных образцов от длины волны регистрации люминесценции

λ , нм	E , %		
	КТ + L-цистеин в воде	Сухой слой КТ	Гибридная структура КТ/НЧ TiO_2
550	54±2	76±2	48±2
560	50±2	77±2	35±2
570	48±2	69±2	47±2
580	51±2	65±2	39±2
590	54±2	58±2	42±2

В дальнейшем планируется оптимизировать процедуру нанесения слоя НЧ TiO_2 , с целью улучшения морфологии. Более целостная, однородная структура, максимально покрывающая площадь подложки позволит получить потенциально более эффективную систему. Также планируется исследовать эффективность генерации полученной структурой активных форм кислорода с помощью химического сенсора.

Литература

1. Zhang S. et al. Synthesis, Assembly, and Applications of Hybrid Nanostructures for Biosensing // *Chemical reviews*. – 2017. – V. 117. – № 20. – P. 12942–13038.
2. Barroso M.M. Quantum Dots in Cell Biology // *Journal of Histochemistry and Cytochemistry*. – 2011. – V. 59. – № 3. – P. 237–251.
3. Lee S.F., Osborne M.A. Brightening, blinking, bluing and bleaching in the life of a quantum dot: friend or foe? // *ChemPhysChem*. – 2009. – V. 10. – № 13. – P. 2174–2191.
4. Sopyan I. et al. An efficient TiO_2 thin-film photocatalyst: photocatalytic properties in gas-phase acetaldehyde degradation // *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*. – 1996. – V. 98. – № 1-2. – P. 79–86.
5. Колесова Е.П. и др. Фотокаталитические свойства гибридных наноструктур на основе наночастиц TiO_2 и полупроводниковых квантовых точек // *Оптика и спектроскопия*. – 2018. – Т. 125. – Вып. 1. – С. 96–100.

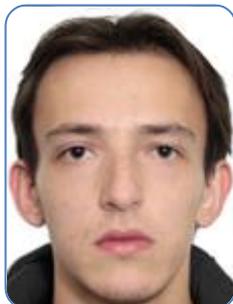
**Ильин Павел Олегович**

Год рождения: 1995

Университет ИТМО, факультет фотоники и оптоинформатики, кафедра оптической физики и современного естествознания, студент группы № V4135

Направление подготовки: 12.04.03 – Оптика наноструктур

e-mail: pav7916@yandex.ru

**Резник Иван Алексеевич**

Год рождения: 1993

Университет ИТМО, факультет фотоники и оптоинформатики, кафедра оптической физики и современного естествознания аспирант

Направление подготовки: 03.06.01 – Физика и астрономия

e-mail: ivanreznik1993@mail.ru

**Черевков Сергей Александрович**

Год рождения: 1987

Университет ИТМО, факультет фотоники и оптоинформатики, кафедра оптической физики и современного естествознания, к.ф.-м.н.

e-mail: cherep777@yandex.ru

**Орлова Анна Олеговна**

Год рождения: 1973

Университет ИТМО, факультет фотоники и оптоинформатики, профессор кафедры оптической физики и современного естествознания, д.ф.-м.н., доцент

e-mail: a.o.orlova@gmail.com

УДК 535.243

**ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ПАРОВ АММИАКА С ГИБРИДНЫМИ СТРУКТУРАМИ
НА ОСНОВЕ ГРАФЕНА И ЛЮМИНЕСЦИРУЮЩИХ КВАНТОВЫХ
НАНОКРИСТАЛЛОВ****Ильин П.О.¹, Резник И.А.¹, Черевков С.А.¹****Научный руководитель – д.ф.-м.н., доцент Орлова А.О.¹**¹Университет ИТМО

Работа выполнена при государственной финансовой поддержке ведущих университетов Российской Федерации (субсидия 08-08).

В работе методом Ленгмюра–Блоджетт созданы гибридные наноструктуры на основе полупроводниковых квантовых нанопластинок CdSe и графеновых нанолент. Исследованы их люминесцентные и фотоэлектрические свойства. Установлено, что взаимодействие гибридных структур с парами аммиака сопровождается уменьшением их темновой проводимости, но практически не влияет на их фотопроводимость.

Ключевые слова: квантовые полупроводниковые нанопластины, гибридные наноструктуры, графен, фотовольтаика, сенсорака.

Введение. Благодаря ряду уникальных фотофизических свойств 2D-наноструктуры являются перспективными материалами для формирования высокоэффективных микроэлектронных устройств для сенсорных приложений, фотовольтаики и фототранзисторов [1]. Среди большого разнообразия 2D-наноструктур стоит выделить полупроводниковые квантовые нанопластины (НП). В настоящее время НП относятся к числу наиболее активно изучаемых наноструктур, благодаря их хорошей поглощающей способности и высокому квантовому выходу люминесценции [2].

Одним из перспективных вариантов применения НП является их использование в составе гибридных структур НП/графен, которые могут стать основой для создания высокочувствительных сенсоров. НП являются прекрасным приемником излучения, а также хорошим донором энергии и носителями зарядов для соседних наночастиц – акцепторов, благодаря большой площади поверхности НП, обеспечивающей эффективный перенос носителей зарядов к соседним наночастицам. Графен же, обладающий высокой мобильностью зарядов, но слабой поглощательной способностью, в таких гибридных структурах может выступать эффективным каналом транспорта фотосгенерированных носителей зарядов от НП [3]. Принцип работы сенсоров на основе гибридных структур НП/графен заключается в изменении фотопроводимости системы, возникающей в результате фотоиндуцированного переноса носителей зарядов от НП к графену, в присутствии молекул аналита. Адсорбция молекул аналита на поверхность НК в составе гибридной структуры НП/графен сопровождается появлением нового канала релаксации экситонного возбуждения в НП. Данный канал может эффективно конкурировать не только с излучательной рекомбинацией экситона в нанокристаллах, но и с передачей заряда от НП к графену. Это приводит к уменьшению эффективности переноса заряда от НП к графену, и, как результат, к уменьшению проводимости гибридной структуры НП/графен. При этом уже существующие работы по улучшению поглощательной способности графена при помощи коллоидных квантовых точек (КТ) показывают, что основным недостатком гибридных структур КТ/графен является низкая мобильность фотосгенерированных носителей зарядов в слое КТ, приводящая к серьезному снижению эффективности конечных устройств, основанных на данном материале. Объединение в гибридной структуре графена и НП позволит обойти это ограничение [4].

Цель работы – формирование гибридных структур НП/графен и установление закономерностей их фотоэлектрических и люминесцентных свойств при взаимодействии с парами аммиака.

Экспериментальные результаты. Для создания гибридных структур в работе использовались графеновые наноленты толщиной 10 нм и латеральными размерами 20–50 нм, а также НП CdSe двух размеров с латеральными размерами 20(NPS) и 300(NPB) нм и одинаковой толщиной 1,9 нм [5]. Как видно из спектров поглощения и люминесценции НП, приведенных на рис. 1, НП обоих размеров имеют максимум люминесценции на длине волны 465 нм, а также полосы экситонного поглощения на длинах волн 435 нм и 458 нм. Полосы люминесценции в области 500–600 нм на спектре NPВ и появление экситонного поглощения в длинноволновой области на спектре NPS свидетельствует о наличии фракций НП с большими толщинами. Наклон в спектре поглощения данного образца указывает на наличие агрегатов в растворе НП.

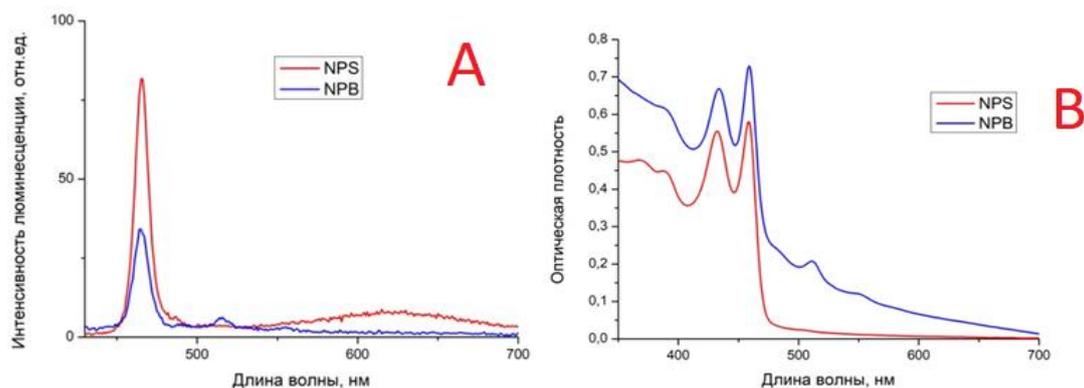


Рис. 1. Спектры люминесценции (А) и поглощения (В) коллоидных квантовых нанопластинок CdSe в хлороформе. Длина волны возбуждающего излучения 405 нм

Для исследования фотоэлектрических свойств гибридных структур НП/графен были созданы образцы с использованием техники Ленгмюра–Блоджетт. На первом этапе формирования образцов на прозрачную стеклянную подложку были напылены титановые контакты, которые в середине были разделены зазором шириной 3–5 мкм. На втором этапе методом Ленгмюра–Блоджетт на диэлектрическую подложку с титановыми контактами были нанесены графеновые наноленты, которые предварительно были обработаны ультразвуком в течение 5 ч. На третьем заключительном этапе также методом Ленгмюра–Блоджетт были сформированы гибридные структуры НП/графен [4]. При этом сила поверхностного натяжения при нанесении графена составляла 40–50 мН/см, а при нанесении пластинок 34 мН/см для пластинок размером 20 нм и 38 мН/см для пластинок 300 нм. Изображение диэлектрических подложек со сформированными на них гибридными структурами приведено на рис. 2.

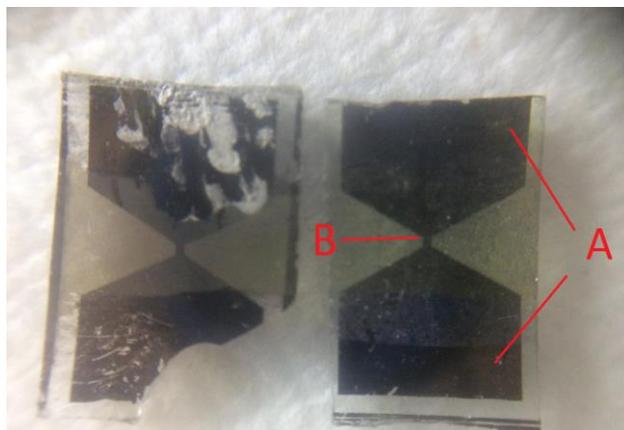


Рис. 2. Диэлектрические подложки, с напыленными на них титановыми контактами (А), на которых в области зазоров между титановыми контактами (В) сформированы гибридные структуры НП/графен методом Ленгмюр–Блоджетт

На рис. 3 приведены люминесцентные изображения гибридных структур, полученных с помощью метода люминесцентной конфокальной микроскопии. Наличие люминесцирующих областей (обозначены оранжевым цветом) на снимках с конфокального микроскопа, подтверждает успешное формирование гибридных структур НП/графен в области зазора (обозначен белым цветом) между титановыми контактами как в случае для НП размером 20 нм, так и для НП размером 300 нм. Также люминесцентные изображения, полученные с помощью конфокального микроскопа, показали, что при создании образцов не удалось сформировать гибридные структуры без разрывов, о чем говорят темные области, соответствующие областям с титановыми контактами без гибридных структур.

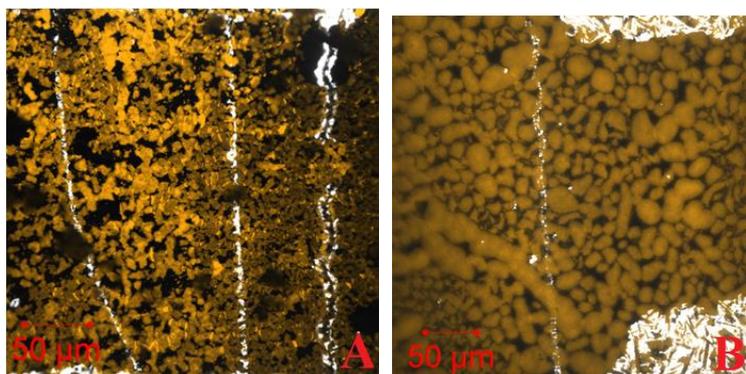


Рис. 3. Люминесцентные изображения образцов гибридных структур НП/графен на диэлектрических подложках с титановыми контактами, полученные с помощью люминесцентного конфокального микроскопа. НП с латеральными размерами 20 нм (А) и 300 нм (В). Для снятия изображений был использован 40-кратный объектив. Исходное разрешение изображений – 512×512 пикселей

После формирования гибридных структур была изучена их фотопроводимость под действием внешнего излучения с длиной волны 405 нм, с постоянной мощностью излучения 5 мВт и в режиме: 60 с засветки, 60 с релаксации. Результаты приведены на рис. 4.

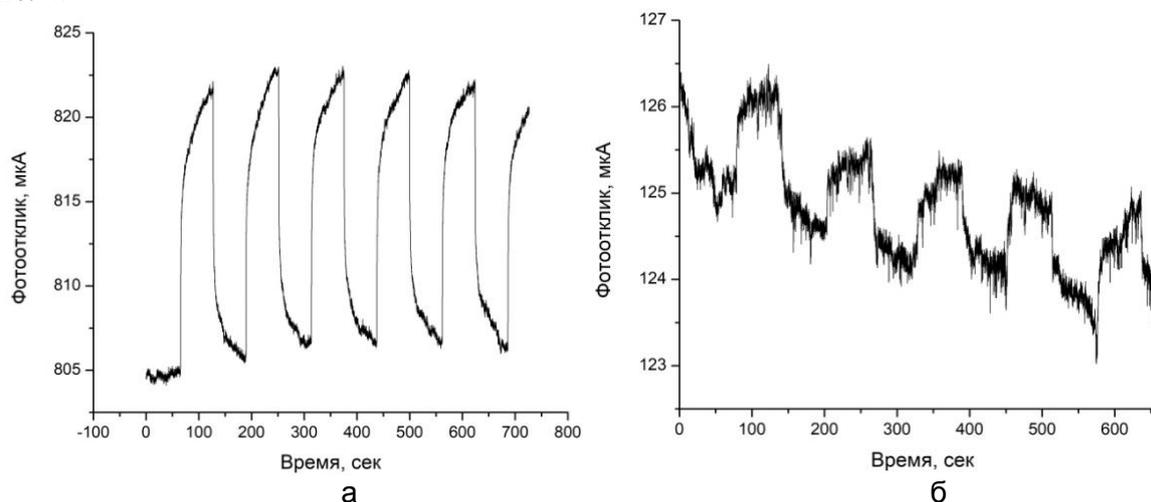


Рис. 4. Проводимость гибридных структур НП/графен под действием внешнего излучения с длиной волны 405 нм и мощностью 5 мВт. Гибридные структуры с НП с размером 300 нм (а), с размером 20 нм (б). Режим работы – 60 с засветки и 60 с релаксации

Как видно из приведенных на рис. 4 зависимостей, при включении лазерного излучения проводимость образцов возрастала, что объясняется увеличением концентрации носителей зарядов, которые переносятся от НП на графен. Также в результате исследования было показано, что гибридные структуры, которые были сформированы с использованием НП большего размера обладают лучшим фототокком, что может быть объяснено большей площадью контакта с графеном для единичной НП.

На следующем этапе была исследована зависимость фотопроводимости данных структур от времени их взаимодействия с парами аммиака. Для этого в герметичную колбу помещались прижимные контакты с образцами, которые облучались лазерным излучением с длиной волны 405 нм и постоянной мощностью 5 мВт в режиме: 30 с засветки, 30 с релаксации. При этом в определенный момент времени в колбу

добавлялся аммиак, также параллельно производилось измерение темнового тока образцов и их фотоотклика.

Исследование проводилось в пять этапов, каждый из которых длился 5 мин. На протяжении каждого этапа производилось измерение проводимости образцов. На первом этапе регистрировался фотоотклик образцов без добавления аммиака. На втором этапе аккуратно с помощью шприца в герметичную колбу вносилась капля раствора аммиака. На третьем этапе также продолжались измерения фотопроводимости, но предварительно была забрана с помощью шприца капля аммиака из колбы. При этом стоит учесть, что часть объема капли успела испариться. На четвертом этапе с помощью заранее подведенного внутрь насоса из колбы в течение всего этапа откачивались пары аммиака. На заключительном пятом этапе был выключен насос, а сама колба разгерметизирована. Результаты эксперимента приведены на рис. 5, первый этап обозначен красными границами, второй – зелеными, третий – синими, четвертый – фиолетовыми, пятый – оранжевыми цветами.

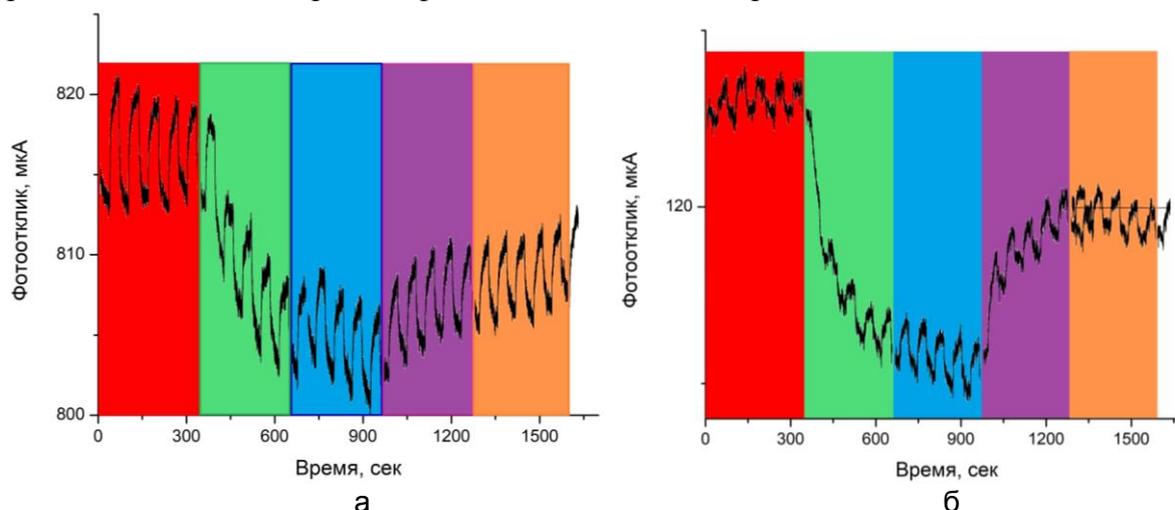


Рис. 5. Проводимость гибридных структур НП/графен под действием внешнего излучения с длиной волны 405 нм в присутствии паров аммиака. Гибридные структуры с НП с размером 300 нм (а), с размером 20 нм (б). Обозначения областей, выделенных разным цветом, описаны в тексте

По результатам эксперимента, приведенным на рис. 5, видно, что взаимодействие гибридных структур с парами аммиака сопровождается уменьшением их темновой проводимости. При этом амплитуда фотопроводимости остается неизменной на всех этапах эксперимента. Этот результат свидетельствует о том, что взаимодействие паров аммиака с НП не приводит к формированию канала релаксации электронного возбуждения, способного эффективно конкурировать с передачей заряда от НП к графену. В работе было установлено, что люминесценция НП эффективно тушится при взаимодействии образцов сухих НП на диэлектрических подложках (данные не приведены). Поэтому неизменность амплитуды фототока структур в присутствии паров аммиака однозначно указывает на то, что скорость переноса заряда от НП к графену, по крайней мере, на порядок выше, чем скорость тушения люминесценции НП молекулами аммиака и скорость передачи заряда в структурах с CdSe/ZnS квантовыми точками [5].

Выводы. В работе сформированы гибридные структуры НП/графен на диэлектрической подложке методом Ленгмюр–Блоджетт с использованием полупроводниковых квантовых нанопластинок с латеральными размерами 20 и 300 нм и толщиной 1,9 нм. Были исследованы оптические и фотоэлектрические свойства гибридных структур НП/графен, а также их морфология. Исследование морфологии

полученных гибридных структур с помощью люминесцентного конфокального микроскопа показало, что в процессе их формирования не получилось сформировать слой НП плотной упаковки. Было установлено, что гибридные структуры на основе НП и графена обладают фотооткликом, амплитуда которого коррелирует с латеральными размерами НП. Исследование зависимости фотопроводимости образцов от времени их взаимодействия с парами аммиака в газовой фазе показало, что взаимодействие гибридных структур с парами аммиака сопровождается уменьшением их темновой проводимости, но практически не влияет на их фотопроводимость.

Литература

1. Chen Y.L. et al. Effect of graphene on photoluminescence properties of graphene/GeSi quantum dot hybrid structures // *Applied Physics Letters*. – 2014. – V. 105. – № 2. – P. 021104.
2. Kormilina T.K. et al. Cadmium Chalcogenide Nano-Heteroplatelets: Creating Advanced Nanostructured Materials by Shell Growth, Substitution, and Attachment // *Small*. – 2017. – V. 13. – P. 1702300.
3. Robin A. et al. Engineering the charge transfer in all 2D graphene-nanoplatelets heterostructure photodetectors // *Scientific reports*. – 2016. – V. 6. – P. 24909.
4. Резник И.А. и др. Гибридные структуры на основе квантовых точек и графеновых нанолент // *Оптика и спектроскопия*. – 2017. – Т. 122. – № 1. – С. 126–132.
5. Bouet C. et al. Two-dimensional growth of CdSe nanocrystals, from nanoplatelets to nanosheets // *Chemistry of Materials*. – 2013. – V. 25. – № 4. – P. 639–645.

**Поваров Кирилл Сергеевич**

Год рождения: 1993

Университет ИТМО, факультет лазерной и световой инженерии, кафедра компьютерной фотоники и видеоинформатики, аспирант

Направление подготовки: 12.06.01 – Фотоника, приборостроение, оптические и биотехнические системы и технологии

e-mail: kirillpovarov@yandex.ru

**Митрофанов Сергей Сергеевич**

Год рождения: 1954

Университет ИТМО, факультет лазерной и световой инженерии, кафедра компьютерной фотоники и видеоинформатики, к.т.н., старший научный сотрудник, доцент

e-mail: m1990s@mail.ru

УДК 681.7; 535.8

**МИНИАТЮРИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ УГЛОВОГО ЭНКОДЕРА
НА БАЗЕ ПОЗИЦИОННО-ЧУВСТВИТЕЛЬНОГО ФОТОПРИЕМНИКА****Поваров К.С.¹, Митрофанов С.С.¹****Научный руководитель – к.т.н., ст.н.с., доцент Митрофанов С.С.¹**¹Университет ИТМО

Работа выполнена в рамках темы НИР № 617033 «Разработка методов и устройств оптической и квантовой информатики».

В измерительных системах, системах с обратной связью, станках с числовым и программным управлением и других системах существует задачи измерения угла поворота какого-то узла или устройства. Для решения этой задачи применяют специальные устройства – энкодеры. Для получения высокоточной системы необходимо использовать энкодеры, обладающие соответствующими характеристиками. Но это не всегда возможно из-за габаритов энкодера. Цель данной работы была разработка конструкции малогабаритного абсолютного энкодера.

Ключевые слова: энкодер, мультискан, преобразователь угловых перемещений, абсолютный энкодер.

В различных областях производства таких, как приборостроение, роботостроение, машиностроение и других отраслях промышленности существует необходимость в контроле положения объектов.

Для выполнения контроля положения можно использовать шкальные отсчетные устройства. При выполнении некоторых задач такое решение приемлемо и достаточно.

Но они не подходят для автоматизации процессов контроля, а также обеспечения обратной связи в устройствах позиционирования.

Для решения этих задач применяют преобразователи перемещений – энкодеры.

Энкодер – устройство, предназначенное для преобразования угла поворота вращающегося объекта (вала) или объекта, перемещающегося линейно, в электрические сигналы, позволяющие определить угол его поворота или линейную координату [1]. Еще энкодеры применяют для решения множества других задач.

Наиболее точные энкодеры, имеющие минимальную погрешность и высокую разрешающую способность, строятся на кодовом диске, представляющим собой

стеклянный или металлический диск с нанесенной на одну из поверхностей кодовой структурой, анализируемой щели, излучающего светодиода и фотодетектора.

В абсолютном энкодере выходной цифровой код соответствует угловому положению вала. Данный тип энкодеров удобно применять для построения полярной системы координат.

При решении некоторых задач необходимо сочетание высоких точностных характеристик и малых габаритов энкодера. Однако, чем точнее энкодер, тем больше его габаритные размеры. Это происходит из-за увеличения количества кодовых дорожек, что вызывает увеличение диаметра кодового диска и, соответственно, других связанных элементов.

Уменьшить габариты энкодера можно несколькими способами:

1. уменьшить ширину кодовых дорожек;
2. использовать комбинированные шкалы;
3. перейти к другому способу измерения угла.

Первый способ сопряжен с технологическими трудностями и повышением стоимости энкодера. При этом минимальный размер ширины дорожек ограничен дифракционными явлениями. К тому же требование соосности фотоприемника и источника света, при их минимальных габаритах, технологически трудно выполнить.

Второй способ реализован в энкодере ЛИР-ДА119 [2], в котором использована магнитная шкала грубого отсчета и точная фотоэлектрическая шкала. Системы грубого и точного отсчета согласуются в контроллере энкодера по специальному алгоритму так, что точность энкодера определяется только более высокой, фотоэлектрической отсчетной системой, и не зависит от погрешности грубой, магнитной системы отсчета.

По сравнению с другими физическими принципами, комбинированный способ требует более сложной обработки сигналов и требователен к технологии изготовления шкал, однако позволяет получить высокую точность и относительно малые габариты.

Данный энкодер обладает погрешностью ± 150 угл. мин, при диаметре корпуса в 19 мм.

Последний способ уменьшения габаритов предлагает отойти от применения кодовых структур. Вместо этого можно применять позиционно-чувствительные фотоприемники. Переход от декартовых координат фотоприемника к полярным, т.е. к углу, не обладает специфическими сложностями. Остается вопрос в выборе фотоприемника и быстродействии.

Например, можно использовать ПЗС-матрицу или позиционно-чувствительный фотоприемник кольцевой «Мультискан». Если про ПЗС-матрицы известно многое, то про мультискан знают не многие.

Кольцевой позиционно-чувствительный фотоприемник «Мультискан» разработан в ФГБУН Физико-техническом институте им. А.Ф. Иоффе.

Фотоприемник «Мультискан» предназначен для измерений пространственных характеристик оптического излучения и представляет собой представляет собой кремниевую структуру, сформированную на КСДИ (кремний с диэлектрической изоляцией), которая содержит набор встречно включенных диодов, одни концы которых подключены к распределенному делителю напряжения, а другие – к низкоомной сигнальной шине. На противоположных краях этого слоя нанесены омические контакты (сигнальные электроды), служащие для снятия сигналов. Это, соответственно, сигнальные электроды $U_{\text{вых1}}$, $U_{\text{вых2}}$, и нижний – общий U_0 . Длина же резистивного слоя равна линейному размеру дуги окружности (диаметр фоточувствительного слоя 16 мм) и составляет величину 44 мм [3–5].

Для ПЗС-матрицы теоретическую угловую разрешающую способность можно определить по формуле:

$$\varphi = 2 \cdot \arcsin \frac{x}{2R},$$

где φ – угол; x – ширина пикселя; R – радиус описываемой окружности (рисунок).

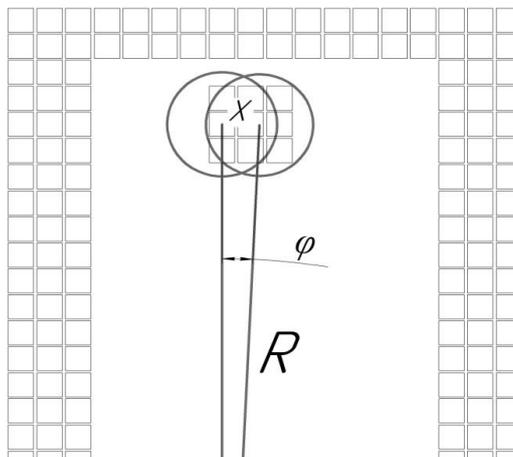


Рисунок. Определение теоретической разрешающей способности ПЗС-матрицы

Радиус окружности должен быть выбран исходя из размера фоточувствительной площадки матрицы.

Взяв для примера параметры нескольких моделей ПЗС-матриц, то можно составить таблицу теоретической угловой разрешающей способности (таблица).

Таблица. Теоретическая угловая разрешающая способность ПЗС-матрицы

Матрица	Размер пикселя, мкм	Размер площадки, мм	Разрешение, $H \times V$, пикс	Радиус, мм	Теоретическая разрешающая способность, угл. мин
Sony ICX625ALA	3,45	9,93×8,70	2448×2050	4	8
E2V EV76C570	4,5	7,2×5,4	1600×1200	2,5	17
GPIXEL INC GMAX0504	7,4	38,0×28,1	5144×3800	13	5
Sony ICX252AQ	3,45	8,10×6,64	2048×1536	3	11
Cmosis CHR70M	3,1	35×24	10000×7096	10	3

Исследование точностных характеристик кольцевого фотоприемника «Мультискан» позволяет ожидать от него погрешность измерения $\pm 15''$ и разрешающую способность $10''$. Этот приемник обладает высоким быстродействием и хорошей стабильностью при работе.

Общая конструкция энкодера на мультискане и на ПЗС-матрице похожа. Главное отличие в том, что мультискан необходимо центрировать относительно оси вращения вала. При использовании матрицы это можно сделать при обработке изображения.

От энкодеров на базе фотоприемников можно ожидать приемлемые характеристики, а учитывая малые габариты приемников соответственно и малые габариты всего устройства.

Литература

1. Энкодеры [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ksystems.ru/stati/enkodery.html> (дата обращения: 12.05.2018).

2. ЛИР-119. Инкрементные угловые фотоэлектрические преобразователи перемещений (инкрементные энкодеры) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://old.skbis.ru/index.php?p=3&c=4&d=12>, своб.
3. Подласкин Б., Гук Е. Позиционно-чувствительный фотодетектор – мультискан // Измерительная техника. – 2005. – № 8. – С. 31–34.
4. Берковская К.Ф., Кириллова Н.В., Подласкин Б.Г., Столовицкий В.М., Суханов В.Л. Многофункциональный приемник «Мультискан» // Журнал технической физики. – 1983. – Т. 53. – № 10. – С. 2015–2024.
5. Подласкин Б. и др. Многофункциональный приемник – мультискан // Научно-технические достижения. – 1992. – № 2. – С. 22–25.

**Романова Виктория Романовна**

Год рождения: 1996

Университет ИТМО, факультет лазерной и световой инженерии,
кафедра прикладной и компьютерной оптики,
студент группы № В3400Направление подготовки: 12.03.02 – Опотехника

e-mail: viktorija.romanowa2011@yandex.ru

**Сазоненко Дмитрий Андреевич**

Год рождения: 1992

Университет ИТМО, факультет лазерной и световой инженерии,
кафедра прикладной и компьютерной оптики, аспирантНаправление подготовки: 12.06.01 – Фотоника, приборостроение,
оптические и биотехнические системы и технологии

e-mail: dasazonenko@corp.ifmo.ru

**Кукушкин Дмитрий Евгеньевич**

Год рождения: 1992

Университет ИТМО, факультет лазерной и световой инженерии,
кафедра прикладной и компьютерной оптики, аспирантНаправление подготовки: 12.06.01 – Фотоника, приборостроение,
оптические и биотехнические системы и технологии

e-mail: dekukushkin@corp.ifmo.ru

Цыганок Елена Анатольевна

Год рождения: 1986

Университет ИТМО, факультет лазерной и световой инженерии,
кафедра прикладной и компьютерной оптики, к.т.н., доцент

e-mail: llenal@mail.ru

УДК 681.7, 535.8

КОМПОЗИЦИЯ ОБЪЕКТИВА ДЛЯ ЗВЕЗДНЫХ ДАТЧИКОВ**Романова В.Р.¹, Сазоненко Д.А.¹, Кукушкин Д.Е.¹****Научный руководитель – к.т.н., доцент Цыганок Е.А.¹**¹Университет ИТМО

Работа выполнена в рамках темы НИР № 417020 «Разработка объектива для звездных датчиков».

В работе рассмотрен процесс расчета оптической части прибора для навигации в космическом пространстве, т.е. звездного датчика. Для этих целей был выбран алгебраический метод, а именно расчет по основным параметрам P , W , C . Получившиеся оптические системы были оптимизированы, а также был выполнен расчет влияния изменения конструктивных параметров на качество изображения.

Ключевые слова: звездный датчик, объектив, оптическая система, расчет по основным параметрам, космический аппарат.

Звездный датчик – это высокоточный прибор, который работает в связке с компьютерной программой. Он определяет положение космического аппарата в

пространстве по звездам. В связи с этим существует огромное количество моделей. Основным узлом звездного датчика является его оптическая система, состоящая из нескольких объективов. Задача данной работы заключается в том, чтобы разработать технологичный объектив звездного датчика со следующими характеристиками: $f' = (32 \pm 0,6)$ мм, $D/f' = 1:1,7$, $2\omega = 17^\circ 50' \pm 5'$, спектральный диапазон – (0,4047–0,9) мкм, $S' = 16$ мм, габаритные размеры не более ($\varnothing 55 \times 55$) мм.

В качестве материала для изготовления корпуса служит титан, что накладывает ограничение на выбор марок стекол. Поэтому коэффициент линейного расширения оптических материалов для объектива должен быть согласован с коэффициентом титана. Более того, так как аппарат будет подвержен радиационному облучению в космосе, необходимо использовать стекла, устойчивые к радиации. Это стекла марок серии 100.

Критерии качества конечной системы: 80% энергии должно приходиться на пятно рассеяния в 30 мкм. Это условие должно соблюдаться для осевой точки.

Взяв каталог бесцветного оптического стекла ЛЗОС [1], отсекаются марки, которые:

- не имеют аналогов серии 100;
- имеют недостаточное пропускание в рабочем спектральном диапазоне;
- не подходят по коэффициенту линейного расширения;
- низкая доступность.

Таким образом, из всего каталога было выбрано только 14 марок стекол, которые будут участвовать в дальнейшем расчете.

Далее в работе был описан непосредственно расчет. Для этого был выбран алгебраический метод [2]. Объектив состоит из двух компонентов, разделенных большим воздушным промежутком. Каждый компонент в отдельности состоит, в свою очередь, из линзы и склейки.

Для обоих компонентов пишется уравнение масштаба и условия устранения aberrаций (сферической aberrации, комы, астигматизма, хроматизма положения и хроматизма увеличения).

Подбираются параметры системы (в описании опущен процесс подбора):

- углы между нулевым лучом и осью:
 $\alpha_1 = 0; \alpha_2 = 0,4; \alpha_3 = 1;$
- высоты пересечения нулевого луча с первым и вторым компонентом:
 $h_1 = 1; h_2 = h_1 - \alpha_2 d = 1 - 0,4 \times 0,6 = 0,76;$
- расстояние между компонентами:
 $d = \frac{1 - h_2}{\alpha_2} = 0,6;$
- относительные оптические силы компонентов и всей системы:
 $\varphi = 1; \varphi_1 = \alpha_2 = 0,4;$
 $\varphi_2 = \frac{\varphi - \varphi_1}{1 - \varphi_1 d} = 0,789;$
- высота падения второго параксиального луча на первый и второй компоненты:
 $y_1 = 0,2; y_2 = y_1 - d\beta_2 = -0,448;$
- угол падения второго параксиального луча на первый и второй компоненты:
 $\beta_1 = 1; \beta_2 = \beta_1 + y_1 \alpha_2 = 1,08;$

суммы Зейделя (условия отсутствия монохроматических aberrаций):

$$\begin{cases} S_I = P_1 + h_2 P_2 \\ S_{II} = y_2 P_2 + W_1 + W_2 \\ S_{III} = \frac{y_2^2}{h_2} P_2 + 2 \frac{y_2}{h_2} W_2 + \varphi_1 + \varphi_2 \end{cases} \quad (1)$$

Выбираем суммы Зейделя:

$$\begin{cases} S_I = 0,1 \\ S_{II} = 0 \\ S_{III} = -0,1 \end{cases} \quad (2)$$

Найдем параметры P_1, P_2, W, W_2 из системы уравнений (1) и (2):

$$\begin{cases} S_I = P_1 + 0,76 \times P_2 \\ S_{II} = -0,448 \times P_2 + W_1 + W_2 \\ S_{III} = \frac{(-0,448)^2}{0,76} P_2 + 2 \frac{-0,448}{0,76} W_2 + 1 + 0,789 \end{cases}$$

Условия отсутствия хроматических aberrаций:

$$\varphi_1 C_1 + h_2^2 \varphi_2 C_2 = 0; \quad y_2 h_2 \varphi_2 C_2 = 0. \quad (3)$$

Из уравнений (3) получим:

$$C_1 = C_2 = 0$$

Определим P_1, P, W_1, W_2 :

выбираем необходимое P_1 : $P_1 = 0,05$;

$$P_2 = \frac{S_I - P_1}{h_2} = 0,064;$$

$$W_2 = \frac{\left[\left(S_{III} - \varphi_1 - \varphi_2 - y_2^2 \frac{P_2}{h_2} \right) \times h_2 \right]}{2y_2} = 1,336;$$

$$W_1 = S_{II} - W_2 - y_2 \times P_2 = -1,307.$$

Значения, по которым будет производиться расчет и подбор стекол:

$$P_1 = 0,0512; \quad W_1 = -1,307; \quad C_1 = 0;$$

$$P_2 = 0,064; \quad W_2 = 1,336; \quad C_2 = 0.$$

В дальнейшем были проведены следующие этапы:

1. были выбраны комбинации стекол из каталога Трубка [3] по рассчитанным ранее параметрам P, W и C ;
2. с помощью функции программы автоматизированного расчета САРО, а именно «Расчет элементов оптической системы по P, W, C », были заданы оптические системы. Далее были отсечены те варианты, которые не имеют решения;
3. у полученных систем были оценены aberrации, те системы, у которых они непозволительно высокие, в дальнейшем не использовались;
4. были соединены решения первого и второго компонентов, так, чтобы они компенсировали aberrации друг друга;
5. важным критерием было использование в системе минимального количества марок стекол, а именно две или три, чтобы производство прибора было максимально технологичным.

В результате подбора вариантов получилось пять лучших систем: в двух из них используется две марки стекла, а в трех – три марки. После оптимизации систем из трех марок стекол оказалось, что существенного прироста качества третье стекло не дает. Поэтому наилучшим вариантом с технологической точки зрения остаются системы, состоящие из двух материалов. После оптимизации одна из систем перестала отвечать требованиям технического задания. А точнее габаритные размеры были превышены.

В результате проделанной работы была рассчитана оптическая система, схема которой представлена на рис. 1. На рис. 2 и 3 представлены пятна рассеяния и функция концентрации энергии соответственно. Конструктивные параметры оптической системы представлены в таблице. Значения радиусов были пересчитаны и приведены к стандартным значениям по ГОСТ 1807-75, все осевые расстояния и диаметры округлены до одного знака после запятой.

Основные параметры системы:

Фокусное расстояние	32 мм
Диафрагменное число	1,7
Угловое поле	18,8°
Положение предмета относительно первой поверхности	бесконечность
Положение изображения относительно последней поверхности	16 мм
Основная длина волны	550 нм

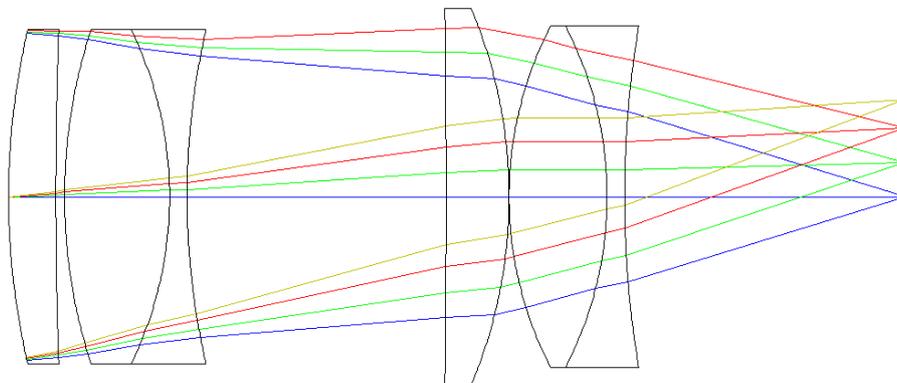


Рис. 1. Схема оптической системы звездного датчика

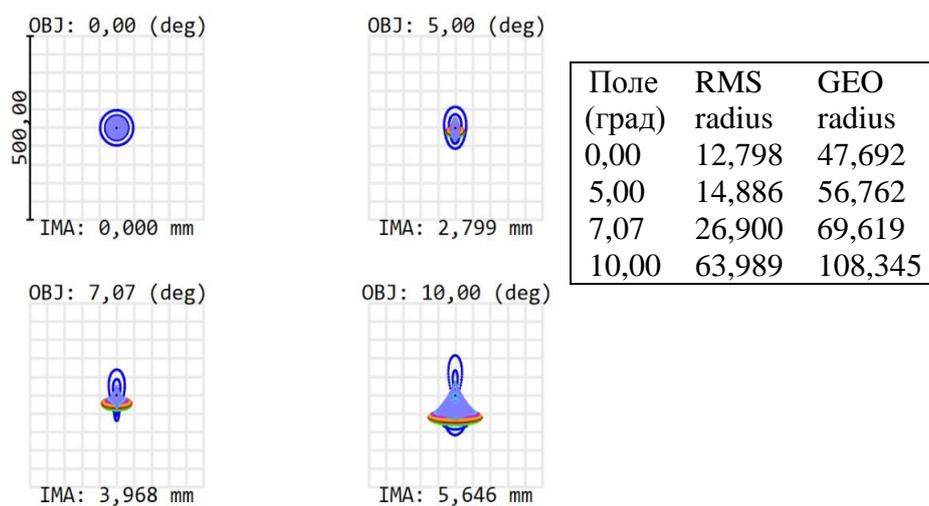


Рис. 2. Пятна рассеяния оптической системы звездного датчика

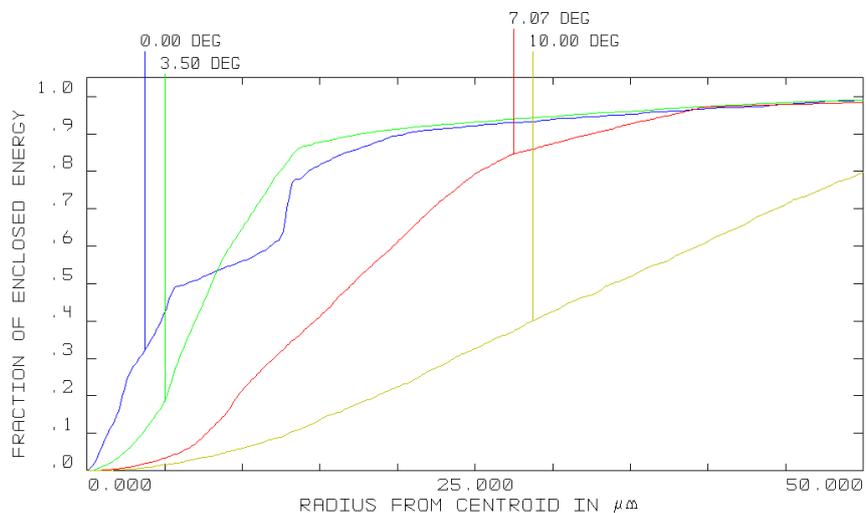


Рис. 3. Функция концентрации энергии

Таблица. Конструктивные параметры оптической системы звездного датчика

№ поверхности	Радиус	Осевое расстояние	Материал	Диаметр
1	42,46	2,7	Ф104	9,6
2	271,6	0,5	Воздух	9,6
3	31,05	6	ЛК103	9,6
4	-22,08	1	Ф104	9,6
5	43,05	14,8	Воздух	9,6
6	-895,4	3,6	Ф104	10,8
7	-28,18	0	Воздух	10,8
8	21,48	5,6	ЛК103	9,8
9	-21,48	1	Ф104	9,8
10	59,70			9,8

После расчета оптической системы была проведена оценка влияния изменений конструктивных параметров на качество изображения. Были рассмотрены следующие параметры:

- изменение радиуса кривизны на ± 3 кольца;
- изменение осевых расстояний на $\pm 0,1$ мм;
- смещение каждого элемент и каждой поверхности отдельно на $\pm 0,1$ мм;
- поворот каждого элемент и каждой поверхности отдельно на $\pm 0,05^\circ$.

В итоге получилось, что данная система достаточно свободно реагирует на изменение всех параметров. В самом худшем случае изменение радиуса пятна рассеяния произойдет на 2 мкм:

- радиус пятна рассеяния при нормальных условиях: 0,0255 мм;
- ожидаемый радиус пятна рассеяния: 0,0276 мм.

Самым чувствительным элементом является 4 линза.

В итоге проделанной работы была разработана оптическая часть звездного датчика, которая полностью удовлетворяет техническому заданию. Получившаяся система имеет меньшее количество линз по сравнению с аналогами, а также выполнена из двух материалов. Все это ведет к тому, что стоимость производства прибора будет технологичнее и дешевле. Кроме того, расчет влияния изменений конструктивных параметров показал, что система имеет широкие допуски, что упрощает конструкцию корпуса и опять же уменьшает ее цену [4, 5].

Литература

1. Каталог бесцветного оптического стекла ЛЗОС [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://lzos.ru/content/view/77/29/>, своб.
2. Слюсарев Г.Г. Расчет оптических систем. – Л.: Машиностроение, 1975. – 640 с.
3. Трубка С.В. Расчет двухлинзовых склеенных объективов. Справочник. – Л.: Машиностроение, 1984. – 142 с.
4. Прохоров М.Е., Захаров А.И., Миронов А.В., Николаев Ф.Н., Тучин М.С. Современные датчики звездной ориентации // Труды 38-й конференции «Физика космоса». – 2012. – С. 170–186.
5. Латыев С.М. Конструирование точных (оптических) приборов. – Изд-во: Лань, 2015. – 560 с.



Сидоров Виталий Иванович

Год рождения: 1996

Университет ИТМО, факультет лазерной и световой инженерии,
кафедра прикладной и компьютерной оптики,
студент группы № В3400

Направление подготовки: 12.03.02 – Оптехника

e-mail: vitazzz96@mail.ru

УДК 535.08/15, 53.06

**ОПТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦЕНТРИРОВАННЫХ ОПТИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ
НА ОСНОВЕ МИКРОДИСПЛЕЯ AMOLED**

Сидоров В.И.¹

Научный руководитель – к.т.н., доцент Романова Г.Э.¹

¹Университет ИТМО

В работе рассмотрен процесс расчета параксиальных характеристик и конструктивных параметров оптической системы дополненной реальности, источником излучения в которой является микродисплей AMOLED, производства компании eMargin. Проанализированы возможные решения и рассмотрены различные варианты компоновки системы.

Ключевые слова: дополненная реальность, расчет оптической системы, сферический комбинер, квазицентрированная система, микродисплей.

С развитием технологий в повседневную жизнь входят устройства, которые ранее использовались только в специальных областях. Один из примеров этого – технология дополненной реальности. Специфика систем дополненной реальности в том, что источник излучения должен быть убран из поля зрения пользователя прибора, а его изображение совмещается с изображением окружающей средой (накладывается на наблюдаемый мир).

Существует множество вариантов решения проблемы построения схемы дополненной реальности [1, 2]. Наилучшие характеристики достигаются в системах с использованием внеосевых элементов и поверхностей сложной формы. Однако существует возможность использовать в системах такого типа дополнительное светоделительное зеркало, позволяющее преобразовать систему в квазицентрированную. Схемы, построенные по такому принципу, можно найти среди российских и зарубежных разработок [3, 4]. В данной работе рассмотрена система с использованием минимального количества оптических осесимметричных элементов.

Первым шагом на пути разработки системы дополненной реальности стал расчет основных параметров системы. Источником изображения в данной системе выбран микродисплей AMOLED [5], имеющий следующие характеристики: разрешение 1280×1024 пикселей, размер 15,36×12,29 мм (диагональ 19,67 мм), размер пикселя – 12 мкм. Система работает с человеческим глазом, поэтому изображение является бесконечно удаленным, а выходной зрачок системы совпадает со зрачком глаза. Далее система будет рассматриваться в обратном ходе лучей. Таким образом, получаем следующие характеристики:

$$2\omega = 30^\circ; 2y' = 20 \text{ мм}; f' = 37,5 \text{ мм.}$$

Угловой размер пикселя при данном фокусном расстоянии:

$$\omega_{\text{пикс}} = \arctg \frac{y'_{\text{пикс}}}{f'} = \arctg \frac{12 \times 10^{-3} \text{ мм}}{37,5 \text{ мм}} = 1'6,4''.$$

Полученное значение говорит о том, что невооруженным глазом отдельные пиксели видны не будут. Для оценки габаритов системы, примем диаметр входного зрачка равным 15 мм, данное значение выбрано для удобства позиционирования глаза оператора. Для оценки качества изображения здесь и далее будем принимать диаметр зрачка равным 4 мм.

Стоит заметить, что фокус быть как положительным, так и отрицательным, так как источником выступает экран, изображение на котором можно преобразовать за счет цифровой обработки.

Чтобы убрать источник изображения из поля зрения, воспользуемся полупрозрачным наклонным зеркалом. Также не обойтись без полупрозрачного силового комбинера, необходимого для уменьшения габаритов системы и для обеспечения необходимого выноса зрачка. Важно выдержать расстояние между головой пользователя и зеркалами, так как они находятся в непосредственной близости (расстояния a и b соответственно на рис. 1).

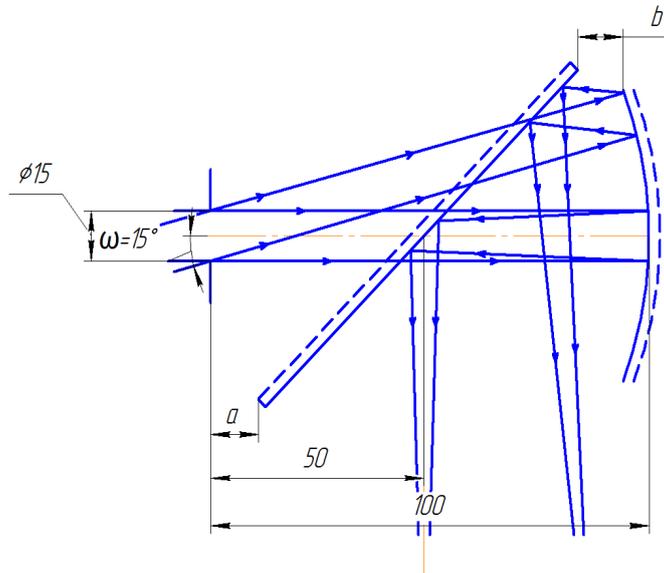


Рис. 1. Ход лучей между полупрозрачными зеркалами: a – расстояние от наклонного зеркала до головы; b – расстояние между наклонным и сферическим зеркалами

При значении радиуса кривизны сферического комбинера 150 мм, расстояния $a = 27$ мм и $b = 23$ мм, что удовлетворяет требованию эргономичности и безопасности пользователя.

Зная радиус кривизны зеркала и эквивалентное фокусное расстояние, можно определить фокусное расстояние линзовой системы. Расстояние между сферическим зеркалом и первой поверхностью линзы по оси примем равным 200 мм.

$$\Phi_3 = \Phi_1 + \Phi_2 - d\Phi_1\Phi_2 = \frac{1}{f'_3}$$

При положительном эквивалентном фокусном расстоянии получаем:

$$\Phi_2 = \frac{\Phi_3 - \Phi_1}{1 - d\Phi_1} = \frac{\frac{1}{37,5} - \frac{1}{75}}{1 - \frac{200}{75}} = -\frac{1}{125} = \frac{1}{f'_2}$$

При отрицательном эквивалентном фокусном расстоянии получаем:

$$\Phi_2 = \frac{\Phi_3 - \Phi_1}{1 - d\Phi_1} = \frac{\frac{1}{-37,5} - \frac{1}{75}}{1 - \frac{200}{75}} = \frac{1}{42,7} = \frac{1}{f'_2}$$

Ход лучей для обоих вариантов показан на рис. 2.

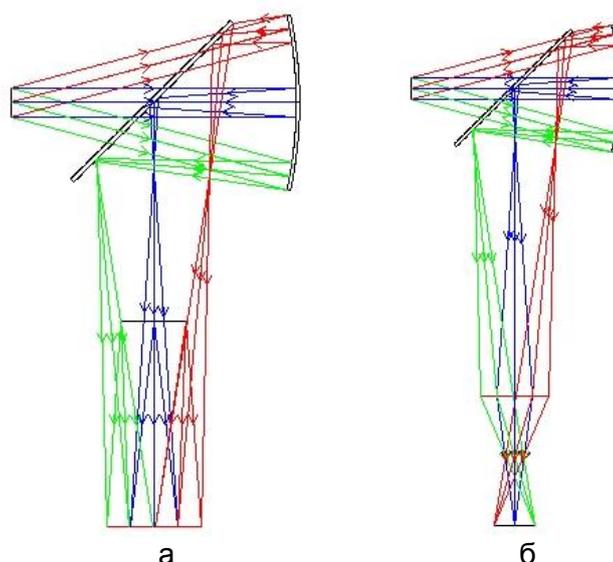


Рис. 2. Ход лучей в системе: с положительным фокусным расстоянием (а); с отрицательным фокусным расстоянием (б)

Как показано на рис. 2, а, при положительном эквивалентном фокусном расстоянии получается мнимое изображение. При отрицательном эквивалентном фокусном расстоянии тонкая линза должна иметь фокусное расстояние $f' = 42,7$ мм. При световом диаметре компонента 42 мм такое значение приведет к сложностям при расчете и абберационной коррекции, поэтому в качестве линзового компонента более рационально использовать двухкомпонентный объектив (фокусные расстояния компонентов $f'_1 = 50$ мм и $f'_2 = 70$ мм).

При переходе от тонких идеальных линз к реальным учитывалось соотношение между фокусным расстоянием компонента и его световым диаметром, поэтому первый компонент представляет собой две плосковыпуклые линзы, поставленные вплотную друг к другу, второй – одиночная плосковыпуклая линза.

Ход лучей в полученной системе из трех плосковыпуклых линз и пятна рассеяния представлены на рис. 3.

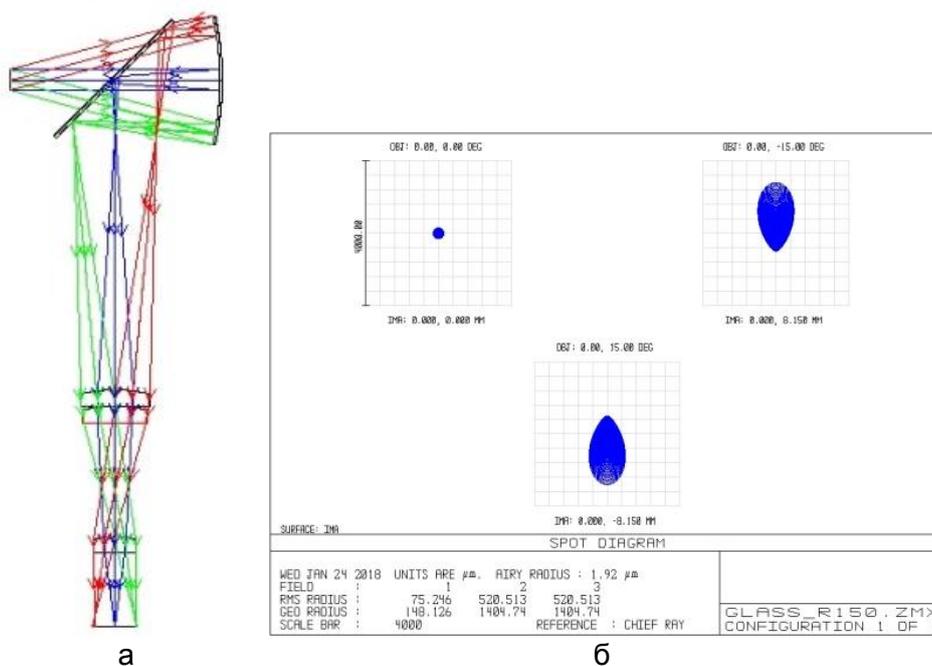


Рис. 3. Ход лучей в системе (а); пятна рассеяния (б)

Размер пятна рассеяния равен 75 мкм для центра поля и 520 мкм для края поля. В пространстве глаза это пятно будет обладать размером примерно 7' для центра поля и около 48' для края поля, что превышает допустимое значение, следовательно, необходима дальнейшая коррекция.

По форме пятен рассеяния можно судить о наличии в системе сферической aberrации, которую можно исправить, рассчитав линзы на минимум сферической aberrации. После коррекции размер пятен рассеяния уменьшился, но все еще будет превышать допустимый предел: 5 мкм для центра поля и 84 мкм для края (рис. 4, а). Как можно видеть из рисунка, наиболее критичными aberrациями являются астигматизм и кривизна изображения.

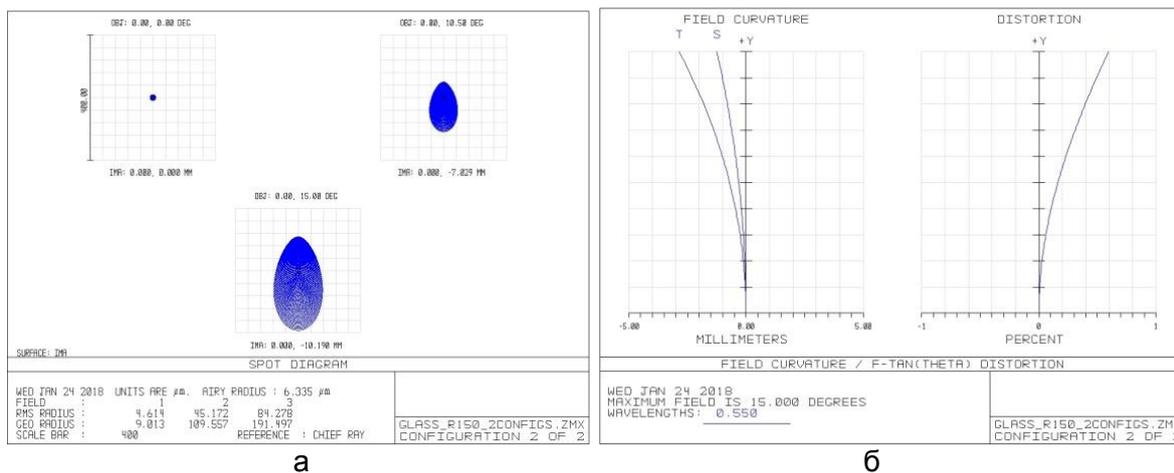


Рис. 4. Пятна рассеяния (а); кривизна поля и дисторсия (б)

На рис. 4, б, приведены графики кривизны и дисторсии. Кривизну поля в системе можно исправить с помощью линзы Смита. После добавления в систему линзы Смита можно получить диаграммы сумм Зейделя, представленные на рис. 5.

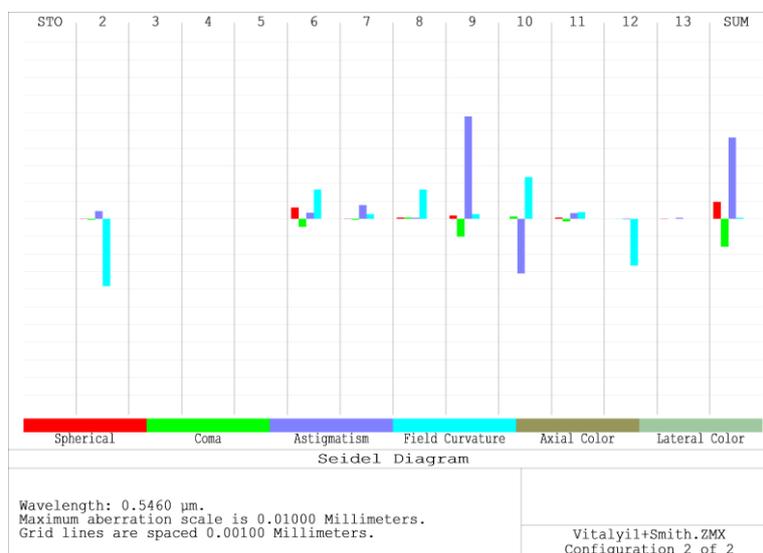


Рис. 5. Диаграмма сумм Зейделя

Дальнейшая коррекция была выполнена с использованием средств автоматизации проектирования ZEMAX. В качестве функции качества использовалась функция по умолчанию – среднеквадратическая ошибка волнового фронта для трех точек поля, в качестве коррекционных параметров использовались радиусы кривизны, воздушный промежуток между компонентами и параметры асферики. На одном из этапов, с целью уменьшения веса системы, материал линз был заменен на поликарбонат.

В результате получена система, конструктивные характеристики которой приведены в таблице. Полученные пятна рассеяния, а также графики значения кривизны и дисторсии приведены на рис. 6.

Как видно из рисунка, размер пятна рассеяния при диаметре зрачка $D=4$ мм составляет 3 мкм для края поля, что меньше, чем размер пикселя экрана.

Таблица. Конструктивные параметры системы

Радиус, мм	Осевые расст., мм	Марка стекла	Св. Ø, мм (авт.)
-150	200	Зеркало	56,1
-1858,55	15	POLYCARB	23,5
-87,03	40	Воздух	22,4
133,51	14,85	POLYCARB	11,5
-83,71	63,16	Воздух	8,5
27,78	15	POLYCARB	20,7
33,58	10,81	Воздух	18,6

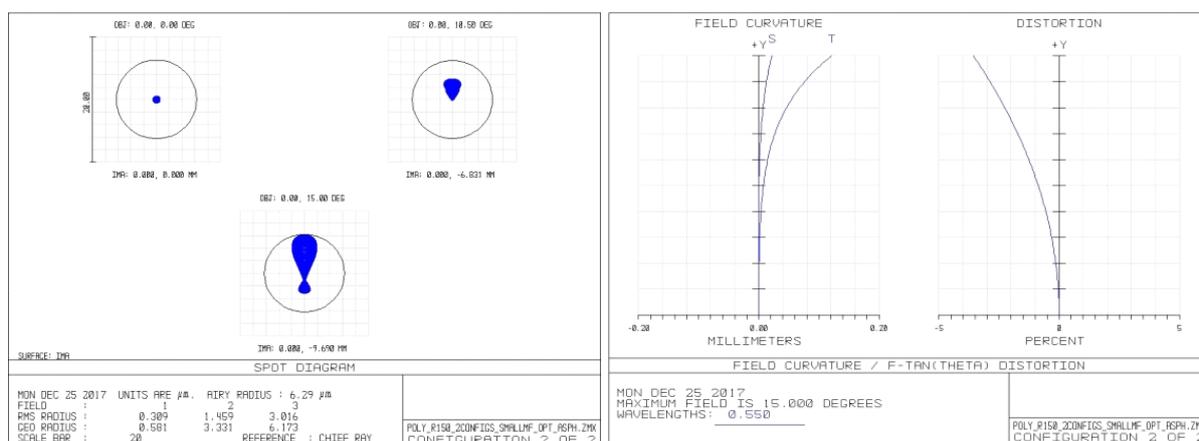


Рис. 6. Пятна рассеяния (а); графики значения кривизны и дисторсии (б)

Для данной конфигурации системы возможен вариант расположения элементов на шлеме. В этом случае источник изображения находится над головой оператора и присутствует дополнительное наклонное зеркало (рис. 7). Крепление на шлем хорошо подходит операторам, чей род деятельности предполагает ношение шлема: водители мотоциклов, пилоты самолетов, и т.д. Вес линзовой части системы составляет 45 г.

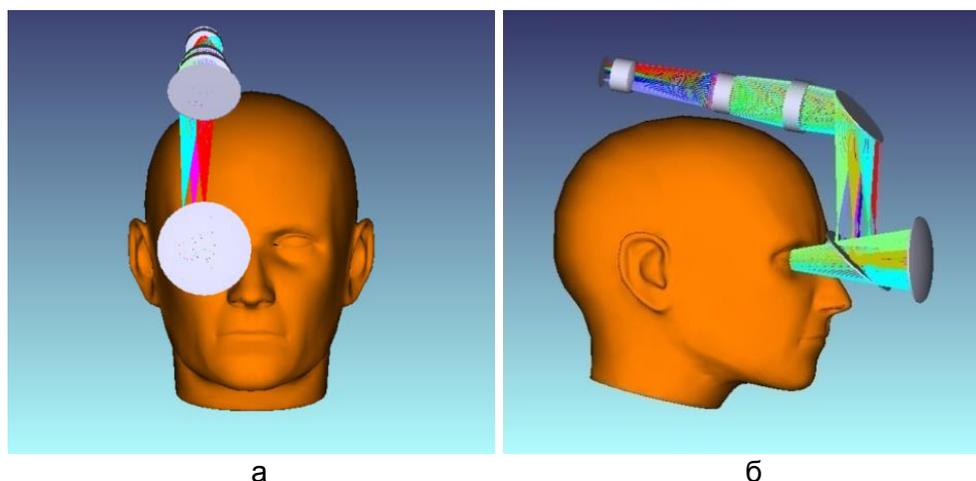


Рис. 7. Расположение элементов относительно головы оператора при креплении на шлем: вид спереди (а), вид сбоку (б)

Для ношения в помещениях подойдет вариант размещения элементов на очки, когда источник изображения находится сбоку головы, над ухом. Для такого расположения необходимо сократить длину системы. Для получения высокого качества изображения в результате оптимизации системы в схему была добавлена четвертая линза, размер пятен рассеяния остается меньше размера пикселя. Вес линзовой части системы в этом случае равен 38 г. Размещение элементов относительно головы и пятна рассеяния представлены на рис. 8.

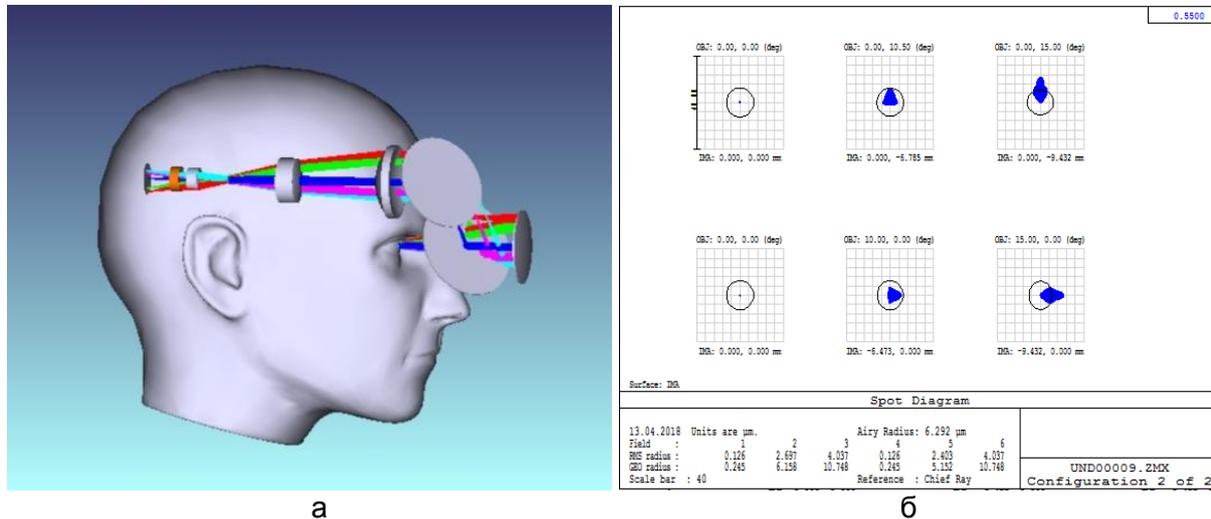


Рис. 8. Расположение элементов относительно головы оператора при креплении на очки: вид сбоку (а); пятна рассеяния (б)

В работе рассмотрен процесс компоновки и расчета простых систем дополненной реальности, построенных с использованием силового комбинера. Представленные варианты оптических схем содержат только центрированные элементы, что облегчает процесс изготовления и конструирования такой системы. Схемы работают с монохромным (зеленым) изображением и обеспечивают высокое качество изображения. Представлены варианты компоновки системы на голове пользователя.

Литература

1. Сакмакци О., Rolland J. Head-Worn Displays: A Review // J. Display Technol. – 2006. – V. 2. – № 3. – P. 199–216.
2. Artishchev A.B. Developing an optical channel for a built-in motorcycle-helmet-mounted display system // J. Opt. Technol. – 2016. – № 6. – P. 363–368.
3. Пат. № 2353958 Российская Федерация. Оптическая система нашлемного коллиматорного дисплея / Ган М.А., Бармичева Г.В., Старков А.А., Щеглов С.А., Ган Я.М., заявитель и патеновладелец ФГУП «НПК «ГОИ им. Вавилова». – заявл. 10.12.2007, опубл. 27.04.2009, бюл. № 12.
4. Пат. № 5822127 США. Low – cost light-weight head-mounted virtual-image projection display with low moments of inertia and low center of gravity / Chungte W.Chen, Uzi Efron, Arthur N. Chester, заявитель и правовладелец DirecTV Group Inc. – опубл. 10.13.1998.
5. SXGA 1280 X 1024 Low Power Color Amoled Microdisplay [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://emargin.com/>, своб.

**Сирый Руслан Сергеевич**

Год рождения: 1996

Университет ИТМО, факультет фотоники и оптоинформатики,
кафедра оптической физики и современного естествознания,
студент группы № V4137Направление подготовки: 12.04.03 – Физика и технология
наноструктур

e-mail: suslikadze4@gmail.com

**Костерной Иван Александрович**

Год рождения: 1996

Университет ИТМО, факультет фотоники и оптоинформатики,
кафедра оптической физики и современного естествознания,
студент группы № V4137Направление подготовки: 12.04.03 – Физика и технология
наноструктур

e-mail: ivan.kosternoy@gmail.com

Иванов Андрей Витальевич

Год рождения: 1970

Университет ИТМО, факультет фотоники и оптоинформатики,
кафедра оптической физики и современного естествознания, к.ф.-м.н.

e-mail: avivanoff@mail.ru

УДК 53.043 539.1.05**РЕАЛИЗАЦИЯ ZC-ОРБИТ ДЛЯ БИОЛОГИЧЕСКИХ МИКРООБЪЕКТОВ
В ТРЕХМЕРНОЙ РАДИОЧАСТОТНОЙ ЛОВУШКЕ****Сирый Р.С.¹, Костерной И.А.¹****Научный руководитель – к.ф.-м.н. Иванов А.В.¹**¹Университет ИТМО

Работа выполнена в рамках темы НИР № 617032 «Разработка новых материалов для фотоники».

В настоящей работе впервые представлена и обусловлена реализация zero-crossing орбит для биологических объектов, локализованных в трехмерной ионной ловушке. Приведено вибро-механическое обоснование реализации предельных циклов в динамике локализованных объектов, представлены экспериментальные результаты по ионизации и удержанию заряженных частиц крахмала в условиях нелинейного демпфирования.

Ключевые слова: нанотехнологии, ловушка Пауля, радиочастотная ловушка, масс-спектрометрия, биологические объекты.

На сегодняшний день одним из наиболее востребованных направлений применения радиочастотных ловушек является микробиология, поскольку перспектива устойчивой локализации микроорганизмов открывает широкие возможности для изучения биологических объектов. Тем не менее, локализация в радиочастотной ловушке сопряжена с рядом сложностей, благодаря которым настоящие методы анализа не получили широкого распространения. Прежде всего, это связано с необходимостью работы ловушки в условиях сильного вакуума для достижения стабильных конфигураций движения. Последнее негативно сказывается на биофизических и биохимических характеристиках локализованного биологического микрообъекта [1].

Тем не менее, при выполнении определенных условий в линейных ионных ловушках возможна реализация так называемых zero-crossing (ZC) орбит для частиц, локализованных в условиях сильного демпфирования внешней среды. Данные орбиты отличаются от «классических» отсутствием видимой секулярной составляющей и micromotion, что находит свое отражение на частотном спектре колебаний локализованной частицы: такие спектры характеризуются узкой шириной по сравнению с локализацией в вакууме или условиях линейного демпфирования. Последнее позволяет производить эффективное управление биологическими микро- и наноструктурами, такими как белки и пептиды, а также углеродными наноструктурами [2]. В настоящей работе предложена экспериментальная реализация ZC-орбит в трехмерной радиочастотной ловушке для биологических заряженных микрочастиц нормальных условиях.

Рассмотрим динамику микрочастицы, локализованной в трехмерной радиочастотной ловушке. Уравнение Лагранжа второго рода в условиях наличия неконсервативных сил принимает вид

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{q}} \right) - \frac{\partial L}{\partial q} = Qi, \quad (1)$$

где L – функция Лагранжа; q – обобщенные координаты; Qi – сумма неконсервативных сил. Потенциальная энергия системы определяется пространственным распределением потенциала вида

$$E = \frac{e}{r^2 + 2z_0^2} (U + V \cos(\omega t))(x^2 + y^2 - z^2), \quad (2)$$

где U, V – амплитуды постоянного и переменного напряжения соответственно; ω – частота переменного напряжения; e – заряд электрона; r – радиус тороидального электрода ловушки; z_0 – расстояние между запирающими электродами. Тогда, с учетом перевода в цилиндрические координаты, функция Лагранжа примет вид

$$L = \frac{m\dot{\rho}^2}{2} + \frac{m\dot{z}^2}{2} - \frac{e}{r^2 + 2z_0^2} (U + V \cos(\omega t))(2\rho^2 - z^2). \quad (3)$$

После подстановки (3) в (1), и введя замену, уравнения движения примут вид

$$\rho'' - (a + 2q \cos(2\tau))(2\rho) = Q\rho, \quad (4)$$

$$z'' + (a + 2q \cos(2\tau))(z) = Qz.$$

В случае если размер локализованного объекта достаточно большой ($r > 10$ мкм), диссипативная сила определяется выражением

$$Qi = \alpha q (1 + \beta \sqrt{|v|^2}), \quad (5)$$

где $a = \frac{4eU}{mr^2\omega^2}$; $q = \frac{4eV}{mr^2\omega^2}$; $\tau = \frac{\omega t}{2}$.

Заменяя α и β , с учетом (5), уравнения движения в среде (4) примут вид

$$\rho'' - (a + 2q \cos(2\tau))(2\rho) = \gamma \dot{\rho} (1 + \sqrt{|\rho'^2 + z'^2|}), \quad (6)$$

$$z'' + (a + 2q \cos(2\tau))(z) = \gamma \dot{z} (1 + \sqrt{|\rho'^2 + z'^2|}). \quad (7)$$

Однако включение нелинейного затухания дает богатый спектр стабильных расширенных орбит, как показано на рис. 1. Орбиты в форме алмаза закруглены для $b < 2$ (параметр нелинейного демпфирования) и развивают параболические углы при более высоких b . Орбиты обычно более асимметричны (как показано на самом верхнем примере – три алмазных участка) при более высоких значениях b и выше q , где симметрия более чувствительна к начальным условиям. Над второй ветвью линии устойчивости частицы приводятся в орбиты «бабочки», а более сложные «клеверные» орбиты появляются над третьей ветвью, как показано на рисунке. Эти орбиты наиболее устойчивы, когда q находится чуть выше линии устойчивости, а при высоком q движение может быть аperiодическим и сильно зависит от начальных условий [2].

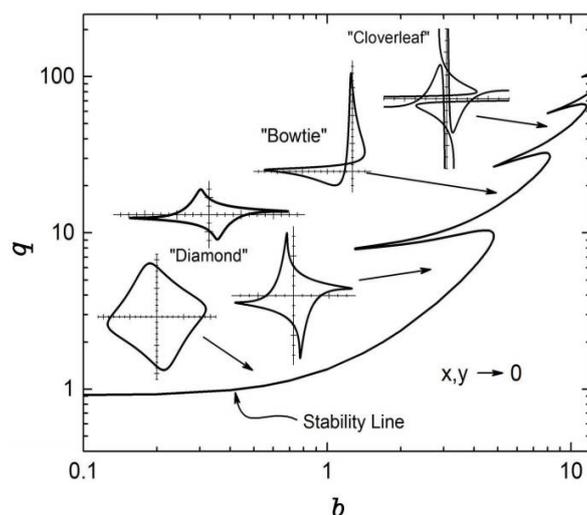


Рис. 1. Диаграмма устойчивости двумерной квадрупольной ловушки с нелинейным затуханием, описывающая решения уравнения (7). Ниже линии устойчивости частицы затухают до центра ловушки при $(x, y) = 0$. На вставках представлены примеры рассчитанных замкнутых орбит частиц в пространстве (x, y) ; график показывает только внутреннюю область орбиты. Здесь вставные диаграммы предназначены только для отображения морфологий различных типов расширенных орбит

В качестве объекта локализации предлагалось использовать заряженные микрочастицы крахмала, характерный размер которых располагается в диапазоне 50–100 мкм. Удерживание и последующая селекция микрочастиц осуществляются посредством трехмерной ловушки Пауля для микрочастиц (рис. 2). В ходе эксперимента произведено облучение локализованных частиц второй гармоникой YAG:Nd-лазера с последующей регистрацией эндоскопом с камерой. Селекция микрочастиц осуществляется методом масс-селективной нестабильности.

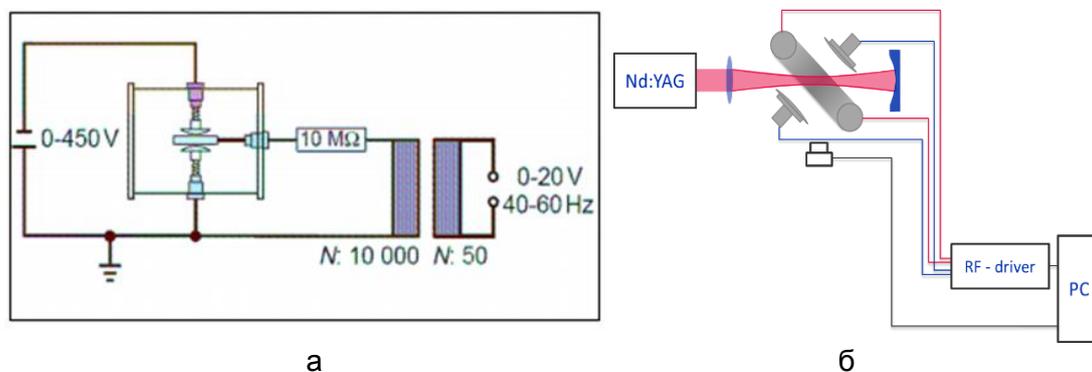


Рис. 2. Принципиальная схема питания (а) и установки трехмерной кольцевой ионной ловушки (б)

На грибковые электроды подается напряжение от 10 до 600 В с помощью двух источников постоянного напряжения, включенные в схему последовательно, до 300 В каждый. На тороидальный электрод подается переменное напряжение с помощью ЛАТРа и повышающего трансформатора. ЛАТР может выдавать от 0 до 250 В переменного напряжения. После прохода трансформатора с повышающим коэффициентом 10 получаем переменное напряжение от 0 до 2,5 кВ.

Маломощный полупроводниковый лазер на длине волны 532 нм, используется для визуализации частиц, а эндоскоп, закрепленный на манипулятор под углом наилучшего видения, для регистрации (рис. 3).

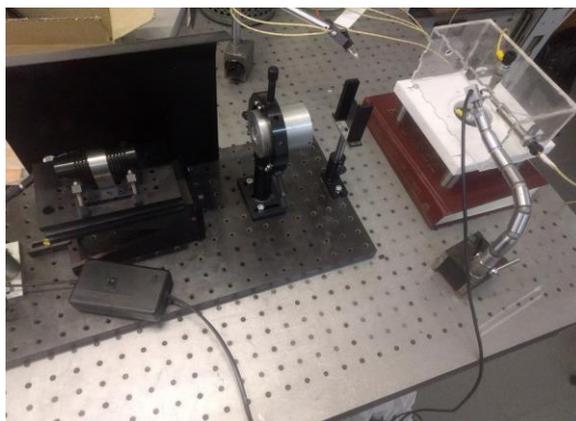


Рис. 3. Общий вид экспериментальной установки для локализации заряженных микрочастиц

В данной работе был реализован экспериментальный комплекс, на котором были получены ZC-орбиты для частиц крахмала [3]. Была сконструирована схема ловушки и подобрана комбинация переменного и постоянного вольтажа таким образом, чтобы получать стабильную локализацию в условиях нормального атмосферного давления. Экспериментальные частицы были отсекалированы в ловушке, после чего созданы условия для появления ZC-орбит (рис. 4), которые в итоге совпали с теоретическим результатом (рис. 5).

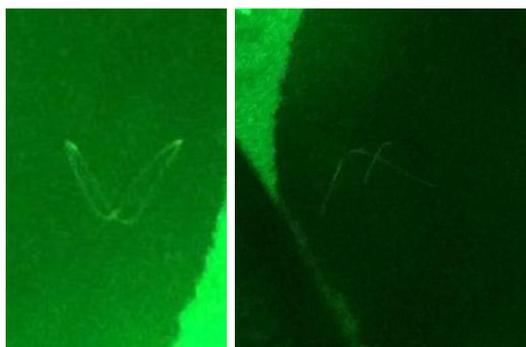


Рис. 4. ZC-орбита частицы крахмала. Параметры ловушки: $r=20$ мм, $U_{ac}=1,8$ кВ, $U_{dc}=400$ В, $L=60$ мм

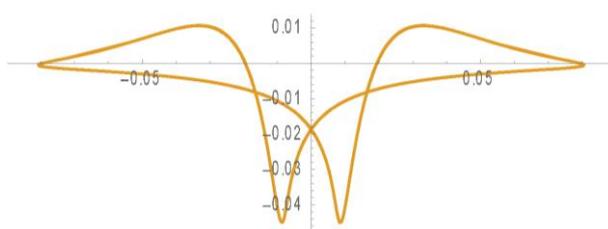
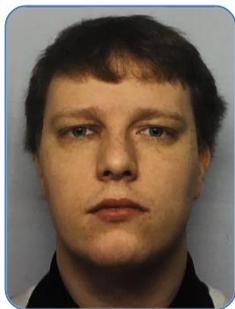


Рис. 5. Характерная ZC-орбита в трехмерной радиочастотной ловушке Пауля для микрочастиц. Расчетные значения постоянного и переменного напряжений

Литература

1. Риле Ф. Стандарты частоты. Принципы и приложения / Пер. с англ. – М.: Физматлит, 2009. – 512 с.
2. Jefferts S.R., Monroe C., Barton A.S. and Wineland D.J. Paul Trap for Optical Frequency Standards // IEEE Transactions on instrumentation and measurement. – 1995. – V. 44. – № 2. – P. 148–150.
3. Пауль В. Электромагнитные ловушки для заряженных и нейтральных частиц // УФН. – 1990. – Т. 160. – № 12. – С. 109–127.


Соколовский Андрей Сергеевич

Год рождения: 1993

Университет ИТМО, факультет лазерной и световой инженерии, кафедра современных функциональных материалов, аспирант

Направление подготовки: 03.06.01 – Физика и астрономия

e-mail: sokolovskiy.a.s@niuitmo.ru


Дубровский Владимир Германович

Год рождения: 1965

Университет ИТМО, факультет лазерной и световой инженерии, кафедра современных функциональных материалов,

д.ф.-м.н.

e-mail: dubrovskii@mail.ioffe.ru

УДК 539.21
**РОЛЬ БИУСТОЙЧИВОСТИ КОНТАКТНОГО УГЛА В РЕГУЛИРОВКЕ
МОРФОЛОГИИ АВТОКАТАЛИТИЧЕСКИХ НИТЕВИДНЫХ
НАНОКРИСТАЛЛОВ GaAs**
Соколовский А.С.¹
Научный руководитель – д.ф.-м.н. Дубровский В.Г.¹
¹Университет ИТМО

Работа выполнена в рамках темы НИР № 617031 «Исследование и разработка методов и средств решения прикладных задач фотоники».

В работе было показано существование двух устойчивых контактных углов для галлиевой капли на вершине автокаталитических нитевидных нанокристаллов GaAs, выращенных методом молекулярно-пучковой эпитаксии на подложке с заранее заданной маской. Контактный угол, приблизительно равный 130°, способствует непрерывному увеличению радиуса вершины нитевидного нанокристалла, в то время как контактный угол, равный 90°, способствует утоньшению вершины, с последующим устойчивым ростом ультратонких вершин. Разработана и представлена модель, описывающая наблюдаемое изменение морфологии при двух различных сценариях.

Ключевые слова: нитевидные нанокристаллы, автокаталитический рост.

Для многих фундаментальных физических свойств и применений полупроводниковых нитевидных нанокристаллов (ННК) требуется малый радиус ННК, порядка 10 нм. Известно, что изготовление таких тонких ННК является, по многим причинам, сложным процессом. Ранее выращивались ННК группы III-V по механизму «пар-жидкость-кристалл» (ПЖК), со стационарным радиусом до 5 нм, по методу гидридной парофазной эпитаксии [1], но с низкой плотностью ННК и случайным расположением ННК на подложке. В отдельном случае автокаталитические GaAs ННК с чистой структурой цинковой обманки могут быть легко выращены методом молекулярно-пучковой эпитаксии (МПЭ) на подложке SiO_x/Si(111), однако получение ННК с тонкими вершинами и высокой степенью пространственной упорядоченности является еще более сложным процессом [2], при котором рост происходит в условиях повышенного содержания галлия, необходимого для поддержания капли на вершине ННК. При автокаталитическом росте ННК групп III-V по механизму ПЖК, капля

элемента группы III служит нестационарным резервуаром галлия, и, следовательно, изменяет объем (размер) во время роста. Возможны следующие процессы:

1. в условиях повышенного содержания мышьяка, в атмосфере камеры МПЭ, капля способна уменьшаться в размерах;
2. при повышенном содержании галлия капля увеличивается;
3. при сбалансированном соотношении потоков элементов групп V и III, капля уравнивается до определенного стационарного размера [3].

Таким образом, повышенное содержание галлия в атмосфере приводит к обязательному увеличению объема капли, и именно поэтому радиус вершины ННК увеличивается по сравнению с начальным размером капли, осажденной на поверхность подложки перед началом роста.

В данной работе был предложен новый метод роста автокаталитических ультратонких GaAs ННК. Для достижения пространственной однородности ультратонких структур с высокой воспроизводимостью GaAs ННК были выращены по методу МПЭ на поверхности $\text{SiO}_x/\text{Si}(111)$ с заранее заданной маской. Однородность положения и расстояния позволяет добиться равномерного распределения формы вдоль всей поверхности подложки [4].

Фактический размер отверстий в оксидной пленке составлял 45 нм, в последствие размер отверстий увеличился приблизительно на 10 нм, вследствие подготовительного этапа до начала роста. Подготовительный этап роста включал в себя травление поверхности подложки плавиковой кислотой для уменьшения концентрации кислорода. Расстояние между отверстиями составляло от 800 до 1000 нм. Для роста ННК на поверхность подложки осаждался слой галлия, который собирался в капли внутри отверстий, затем увеличивался поток мышьяка до эквивалентного давления в потоке As_4 до $2 \cdot 10^{-6}$ торр; температура роста была равной 635° . При данных условиях ННК выращивались до 4 мкм в длину. На рис. 1, а, показан снимок с электронно-сканирующей микроскопии (СЭМ) для GaAs ННК, выращенных при данных условиях в течение 60 мин; видно, что на вершине ННК располагается большая капля галлия, со средним контактным углом 130° . Настолько большой контактный угол в большинстве случаев наблюдается для автокаталитических GaAs ННК. При выключении потока галлия ННК продолжают расти в условиях повышенного содержания мышьяка, капля галлия на поверхности ННК полностью расходуется, что и показано на рис. 1, при потоке мышьяка с эквивалентным давлением в потоке As_4 $2 \cdot 10^{-6}$ торр (рис. 1, б). Это не удивительно, так как весь оставшийся в капле галлий должен пойти на рост кончиков GaAs с мышьяком.

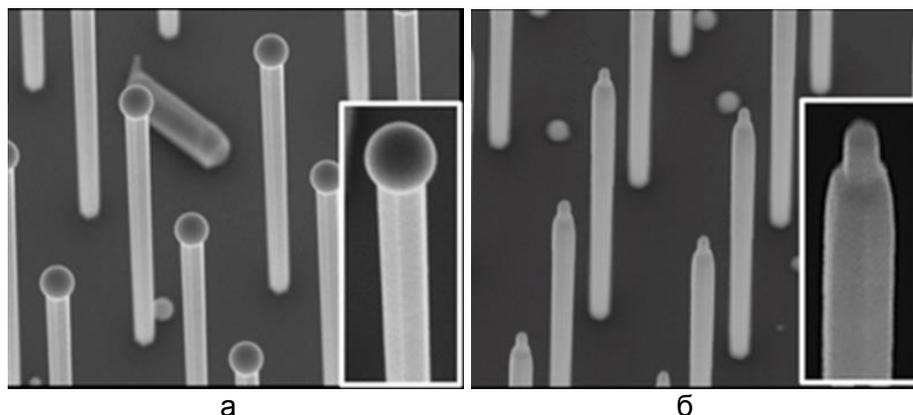


Рис. 1. Наклонные SEM-изображения на 20° , показывающие регулярные ННК с GaAs с шагом матрицы 1000 нм: ННК с большими каплями галлия на вершинах (а); ННК полностью потребившие каплю галлия при повышенном потоке мышьяка (б)

Степень усеченности ННК тем больше, чем больше поток мышьяка. Вершина ННК практически плоская, это означает, что капля потребляется быстрее, чем

происходит сужение вершины ННК. На некотором этапе роста радиус капли становится меньше радиуса верхней грани ННК (в противном случае вершины имели бы коническую форму). Для управления формой ННК была предложена следующая схема роста: резкое увеличение поток мышьяка при неизменном потоке галлия, как и при стандартной схеме роста. Таким образом, возможно уменьшить размер капли с последующим управлением ее размером для создания острых вершин. Увеличение потока мышьяка до значения $8,9 \cdot 10^{-6}$ торр на протяжении 5 мин после этапа обычного роста (рис. 2, а) приводит к формированию усеченной структуры. При последующем уменьшении потока мышьяка до значения $5,5 \cdot 10^{-6}$ торр, можно наблюдать, что после 20 мин роста при данных условиях будут образовываться сверхтонкие вершины ННК рис. 2, б. Радиус верхней грани возможно уменьшить до значений порядка 5 нм.

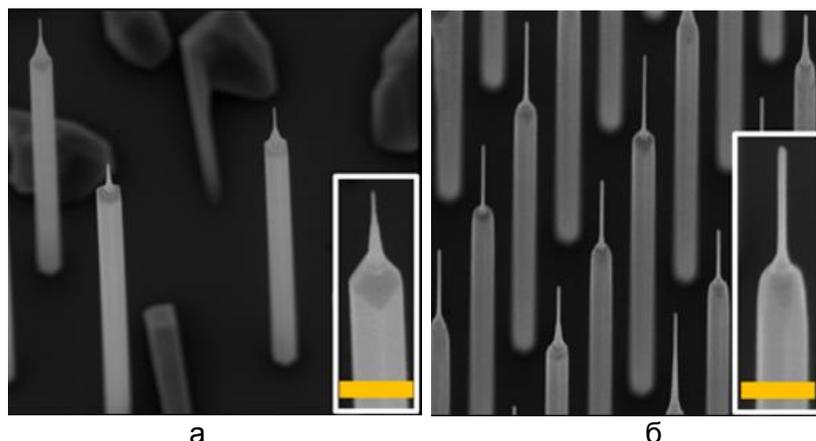


Рис. 2. Наклонные SEM-изображения на 20° , показывающие регулярные ННК с GaAs с шагом матрицы 1000 нм: ННК после 5 минут рост при потоке мышьяка $8,9 \cdot 10^{-6}$ торр (а); прямые вершины ННК с радиусом около 10 нм, полученные в результате понижения потока мышьяка до значения $5,5 \cdot 10^{-6}$ торр, контактный угол приблизительно равен 90° (б)

Форма капли галлия на вершине ННК зависит от контактного угла. Согласно модели, представленной в работе [5] для монокристаллического ПЖК роста возможно описать эволюцию формы капли галлия на вершине ННК. Разница поверхностных энергий формирования сужающейся несмоленной грани и вертикальной несмоленной грани:

$$G_{\theta}^{n-w} - G_0^{n-w} = \frac{\gamma_{\theta V}}{\cos(\theta)} - \gamma_{0V} - (\gamma_{SL} + \gamma_{LV} \cos(\beta)) \tan(\theta), \quad (1)$$

где $\gamma_{\theta V}$ – это поверхностная энергия на границе пар-кристалл для сужающейся грани на угол θ ; γ_{0V} – это поверхностная энергия на границе пар-кристалл для вертикальной грани; γ_{SL} – поверхностная энергия на границе жидкость-кристалл; γ_{LV} – поверхностная энергия на границе жидкость-пар; β – контактный угол капли галлия. С другой стороны, разница поверхностных энергий формирующейся сужающейся смоченной грани и вертикальной несмоленной грани:

$$G_{\theta}^w - G_0^{n-w} = \frac{\gamma_{\theta L}}{\cos(\theta)} - \gamma_{0V} - \gamma_{SL} \tan(\theta) + \gamma_{LV} \sin(\beta), \quad (2)$$

где $\gamma_{\theta L}$ – это поверхностная энергия на границе жидкость-кристалл для сужающейся грани. Поверхностные энергии и геометрия, используемые в модели изображены на рис. 3.

При росте автокаталитических GaAs ННК экспериментально наблюдалось наличие двух устойчивых контактных углов капель галлия на вершине ННК, которые приблизительно равны 130° и 90° . При малом значении отношения потока элемента V группы к потоку элемента III группы, объем капли возрастал сначала за счет увеличения контактного угла, при достижении устойчивого значения около 130° объем капли продолжал расти за счет увеличения радиуса вершины ННК. При большом

значении отношения потока элемента V группы к потоку элемента III группы, объем капли, наоборот, спадал, сначала за счет уменьшения контактного угла, а затем, при достижении минимального значения около 90° , происходило утоньшение ННК [4].

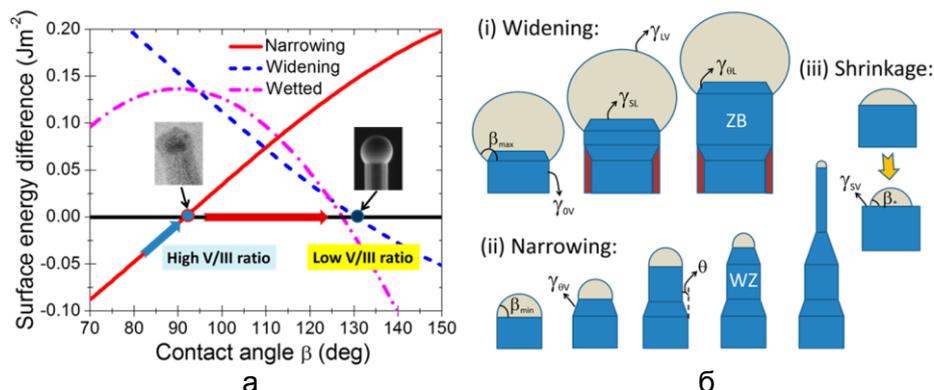


Рис. 3. Кривые поверхностной свободной энергии для сужающейся несмоленной (сплошная красная линия), расширяющейся несмоленной (пунктирная синяя линия) и сужающейся смоченной (штрихпунктирная фиолетовая линия) грани. При значении контактного угла выше 127° рост ННК становится усеченным (а); изображение роста при повышенном содержании галлиями – происходит расширение с максимальным контактным углом с введением расширяющихся граней и увеличением радиуса ННК сначала сверху, а затем по всей длине пошагового потока; сужение ННК путем введения сужающихся граней и сокращения максимального радиуса до тех пор, пока объем капель не стабилизируется. Когда поток мышьяка очень высок, контактный угол уменьшается ниже угла Юнга, а затем капля сжимается меньше верхней грани, чтобы возобновить равновесную форму (усадку капель) (б)

Таким образом, было продемонстрировано экспериментально и теоретически объяснено, что автокаталитический рост GaAs ННК по механизму ПЖК, модулируется отношением потоков элементов V и III группы, с возможностью получения устойчивого радиуса всего 10 нм. Массивы ультратонких ННК с высокой плотностью могут располагаться на кремниевой подложке, и их рост легко управляется, что еще не было достигнуто ранее. Такие структуры могут быть очень полезны, например, для квантовых источников света или детекторов. Предложенная методика роста может также быть использована для роста других III-V ННК, например, автокаталитических GaP или InAs ННК.

Литература

1. Gil E., Dubrovskii G., Andre Y. et al. Record pure zincblende phase in GaAs nanowires down to 5 nm in radius // *Nano Lett.* – 2014. – V. 14(7). – P. 3938–3944.
2. Vukajlovic-Plestina J. et al. Engineering the Size Distributions of Ordered GaAs Nanowires on Silicon // *Nano Lett.* – 2017. – V. 17(7). – P. 4101–4108.
3. Dubrovskii V.G., Xu T., Álvarez A. Díaz, Plissard S.R., Caroff P., Glas F., Grandidier B. Self-Equilibration of the Diameter of Ga-Catalyzed GaAs Nanowires // *Nano Letters.* – 2015. – V. 15. – № 8. – P. 5580–5584.
4. Kim W., Dubrovskii V.G., Vukajlovic-Plestina J., Tutuncuoglu G., Francaviglia L., Guniat L., Potts H., Friedl M., Leran J., Fontcuberta I Morral A. Bistability of Contact Angle and Its Role in Achieving Quantum-Thin Self-Assisted GaAs nanowires // *Nano Letters.* – 2018. – V. 18. – № 1. – P. 49–57.
5. Dubrovskii V.G. Development of growth theory for vapor-liquid-solid nanowires: contact angle, truncated facets, and crystal phase // *Crystal Growth & Design.* – 2017. – V. 17. – № 5. – P. 2544–2548.

**Терентьев Николай Юрьевич**

Год рождения: 1994

Университет ИТМО, факультет лазерной и световой инженерии,
кафедра компьютерной фотоники и видеоинформатики,
студент группы № V4110Направление подготовки: 12.04.03 – Компьютерная фотоника

e-mail: torrel@mail.ru

**Митрофанов Сергей Сергеевич**

Год рождения: 1954

Университет ИТМО, факультет лазерной и световой инженерии,
кафедра компьютерной фотоники и видеоинформатики,

к.т.н., старший научный сотрудник, доцент

e-mail: m1990s@mail.ru

УДК 531.7, 681.7

ОЦЕНКА ПОЛОЖЕНИЯ СПИРАЛИ В РЕНТГЕНОВСКОЙ ТРУБКЕ**Терентьев Н.Ю.¹****Научный руководитель – к.т.н., ст.н.с., доцент Митрофанов С.С.¹**¹Университет ИТМО

Работа выполнена в рамках темы НИР № 617033 «Разработка методов и устройств оптической и квантовой информатики».

В работе рассмотрена проблема, возникающая в рентгеновской трубке на этапе сборки, связанная с неточной установкой спирали в катоде, которая приводит к изменениям характеристик устройства. Для контроля положения спирали была разработана установка с целью повышения качества сборки трубки и возможного внедрения разработанного устройства в технологический процесс изготовления трубок.

Ключевые слова: рентгеновская трубка, спираль, фокусное пятно, контроль положения, разработка конструкции.

Постоянное совершенствование технологии производства рентгеновских трубок приводит к созданию устройств с более высокими характеристиками, вследствие чего они находят разнообразное применение в различных областях науки, медицины и техники. Однако имеющееся оборудование, которое предназначено для производства трубок, не всегда может обеспечить требуемое качество сборки изделия. Так, например, на ряде предприятий столкнулись с проблемой точной установки спирали в катоде рентгеновской трубки. Известно, что для устранения этой проблемы используют специальную оправу с закрепленными на концах тонкими проволочками, образующими перекрестие, с помощью которой можно визуально оценить смещение спирали и на основе этой оценки отъюстировать ее положение. Однако такая оценка получается субъективной и не может достигать высокой точности. Поэтому целью работы было создание устройства, которое позволило бы объективно контролировать положение спирали в катоде рентгеновской трубки с высокой точностью и малой трудоемкостью.

Рассмотрим типовую конструкцию рентгеновской трубки, которая представлена на рис. 1. Она состоит из стеклянного баллона, в который впаяны катод и анод, расположенные по оси трубки друг против друга [1]. В данной трубке катод с

вольфрамовой спиралью является источником электронов, которые излучаются при нагревании спирали. После этого электроны под действием ускоряющего напряжения падают на мишень анода, и в результате такого соударения образуются рентгеновские лучи, направленные на объект исследования.

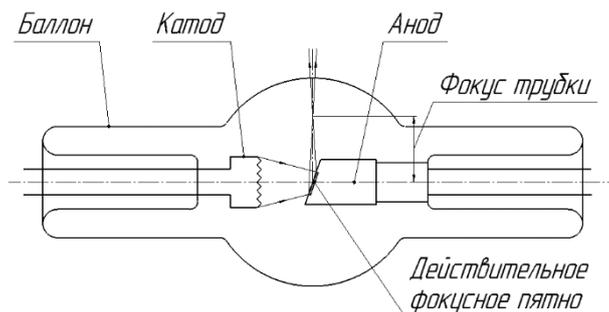


Рис.1. Схема рентгеновской трубки

В рентгеновской трубке существует множество параметров, влияющих на работу устройства, но среди них важнейшими для большинства рентгеновских трубок являются фокус трубки и размер фокального пятна, под которым подразумевается участок поверхности анода, бомбардируемый электронным пучком. Они характеризуют резкость теневого изображения. Существует зависимость, при которой с уменьшением диаметра фокусного пятна повышается резкость теневого изображения [2]. Поэтому в современном производстве стараются добиться малых значений фокусного пятна, применяя различные конструкции катода и анода, форм спирали и различной величины ускоряющего напряжения.

Однако при сборке рентгеновской трубки возникают проблемы, влияющие на получаемый размер фокусного пятна. Одна из них – это смещение спирали при установке ее в пазе катода. Другая проблема – смещение всего катодного узла при установке его в баллоне относительно коварового кольца, показанного на рис. 2. Коваровые кольца изготавливают очень точно и являются базовыми деталями для сборки катодных и анодных узлов, поэтому целесообразно контролировать положение устанавливаемых узлов относительно оси коварового кольца.

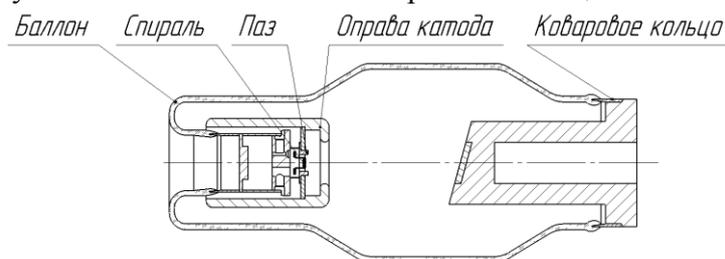


Рис. 2. Исследуемая рентгеновская трубка

Указанные выше смещения спирали приводят не только к ухудшению характеристик рентгеновской трубки, но и к возможному быстрому выходу из строя. В этом случае для достижения необходимого размера фокусного пятна в трубке могут использоваться дополнительные устройства, например, магнитные линзы, корректирующие ход электронного пучка. Но такие дополнения приводят к усложнению всей конструкции рентгеновской трубки и к ее удорожанию. Поэтому более простой способ устранить смещение компонентов катода – это использование дополнительных устройств, с помощью которых можно проконтролировать результат сборки трубки. Ниже представлен вариант такого устройства.

На рис. 3 представлена функциональная схема устройства для решения поставленной задачи. Он состоит из двухкоординатного столика, устройства фиксации, винтовых механизмов и фокусирующего механизма с видеокамерой, установленных

на столик [3]. Видеокамера подключена к компьютеру, на котором с помощью специальной программы создается перекрестие видеокамеры и происходит наблюдение за объектом. Также координатный столик отрегулирован в среднем положении, т.е. «0» отсчет по шкале барабанчика совмещен с индексом.

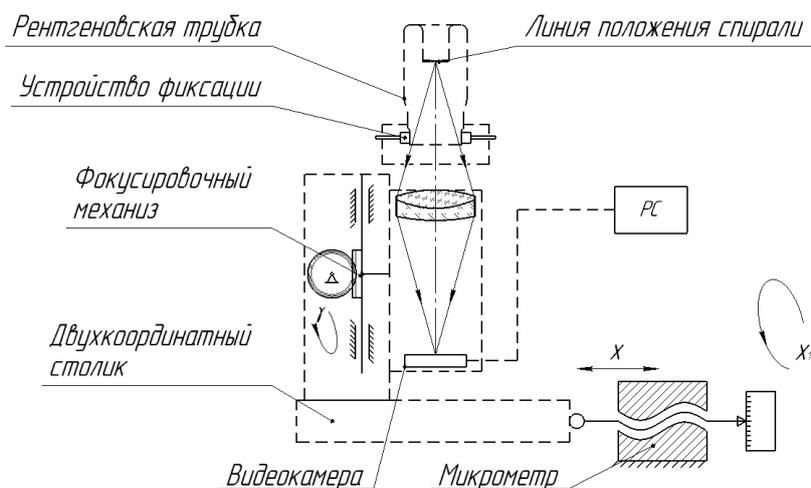


Рис. 3. Функциональная схема механического решения

В качестве базы для установки баллона с катодом рентгеновской трубки используется внутренний посадочный диаметр коварового кольца трубки. Перед началом работы необходимо отъюстировать положение видеокамеры, а именно совместить на экране монитора программное изображение перекрестия видеокамеры с центром посадочного диаметра кольца, на котором в этот момент времени устанавливается калибровочное устройство, содержащее сетку. Смещением видеокамеры в двух плоскостях добиваются совпадения перекрестия видеокамеры с центром калибровочной сетки (рис. 4, а). Также с помощью шкалы сетки и перемещением фокусирующего механизма добиваются устранения ошибки рена отсчетной системы.

Во втором этапе работы вместо сетки ставится исследуемая трубка, и с помощью перемещения столика производится совмещение перекрестия видеокамеры с краями спирали и с краями паза (рис. 4, б). Результаты измерения снимаются с винтовых микрометров столика.

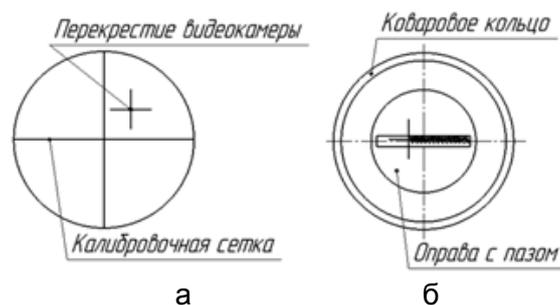


Рис. 4. Изображение в поле зрения видеокамеры: калибровочной сетки (а); спирали рентгеновской трубки (б)

Конструктивно рассматриваемая установка состоит из двух плат, которые соединены между собой тремя опорами (рис. 5). В нижней плате смонтированы опорные ножки. На верхней плате располагается устройство фиксации трубки, на котором выполнен посадочный диаметр для базирования трубки и три фиксирующих винта для ее надежного закрепления. Винт снабжен специальной деталью со сферической поверхностью, радиус которой равен внешнему радиусу коварового кольца.

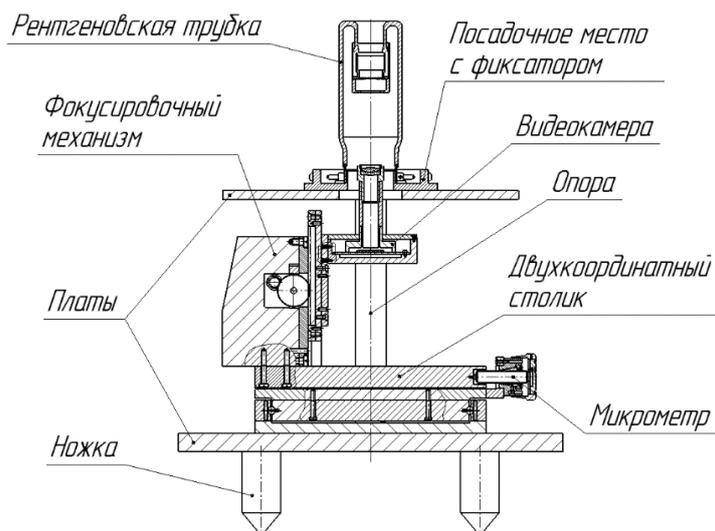


Рис. 5. Конструкция механического решения

На нижней плате размещен двухкоординатный столик, на котором закреплен фокусируемый механизм с видеокамерой. Столик представляет собой комбинацию подвижных ползунов и неподвижных плит, которые предоставляют возможность проводить измерения микрометрами независимо по двум координатам. В качестве направляющих для координатного столика выбраны призматические направляющие на шариках, так как они обеспечивают возможность перемещения ползунов при небольших усилиях, кроме этого, они отличаются компактностью и технологичностью. Диапазон перемещения столика равен 5 мм.

Винтовой микрометр двухкоординатного столика представляет собой винт, который перемещается поступательно при вращении барабанчика со шкалой. Цена деления точной и грубой шкалы, соответственно, равно 0,01 мм и 1 мм, и число делений точной и грубой шкалы, соответственно, равно 1 и 100.

Видеокамера состоит из объектива, ПЗС-матрицы и корпуса. Для удобства измерения конструкция видеокамеры и ее положение относительно спирали рентгеновской трубки выбраны так, чтобы увеличение оптической системы было равным -1^{\times} . Для фокусировки и юстировки увеличения видеокамеры используется фокусируемый механизм из серии микроскопов Биолам.

Таким образом, для оценки положения спирали было разработано устройство, позволяющее повысить качество и ускорить процесс изготовления рентгеновских трубок.

Литература

1. Иванов С.А., Щукин Г.А. Рентгеновские трубки технического назначения. – Л.: Энергоатомиздат, 1989. – 200 с.
2. Потрахов Н.Н. Диагностические возможности микрофокусной рентгенографии // Медицинская техника. – 2014. – № 5. – С. 8–12.
3. Справочник конструктора оптико-механических приборов / В.А. Панов, М.Я. Кругер, В.В. Кулагин и др.; Под общ. ред. В.А. Панова. – 3-е изд., перераб. и доп. – Л.: Машиностроение, 1980. – 742 с.

**Тузова Юлия Вячеславовна**

Год рождения: 1993

Университет ИТМО, факультет фотоники и оптоинформатики,
кафедра оптоинформационных технологий и материалов,
аспирант

Направление подготовки: 03.06.01 – Физика и астрономия

e-mail: july2006624@gmail.com

**Никоноров Николай Валентинович**

Год рождения: 1952

Университет ИТМО, факультет фотоники и оптоинформатики,
кафедра оптоинформационных технологий и материалов,
д.ф.-м.н., профессор

e-mail: nikonorov@oi.ifmo.ru

**Сазанович Юлия Александровна**

Год рождения: 1979

Университет ИТМО, институт международного развития
и партнерства, кафедра иностранных языков,
старший преподаватель

e-mail: sazanovich@corp.ifmo.ru

УДК 543.42: 53.088

ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ В СПЕКТРОСКОПИИТузова Ю.В.¹, Никоноров Н.В.¹, Сазанович Ю.А.¹Научный руководитель – д.ф.-м.н., профессор Никоноров Н.В.¹¹Университет ИТМО

Measurement and analysis of excitation, luminescence and absorption spectra are the main instruments for the optical luminescent materials study. The paper discusses the use of Origin software for analysis and performing an expert evaluation of the luminescent parameters data in spectroscopy. The use of Origin software in the Bi-activated phosphate-aluminum-sodium glasses spectral-luminescent properties study is described in detail.

Keywords: luminescent spectroscopy, Origin, tunable infrared fiber lasers, Bi-doped glasses, fluorescent centers, luminescence lifetime

Introduction. Measurement and analysis of excitation, luminescence and absorption spectra are the main instruments for the optical luminescent materials study. Luminescent spectroscopy is characterized by the registered spectral dependence as a function of two variables – the excitation wavelength λ_{ex} and the emission wavelength λ_{em} . If λ_{ex} is kept constant and λ_{em} is scanned, then the luminescence spectrum, that is the spectral dependence of the luminescent emission intensity on the wavelength, is measured [1]. Normalization is an important mathematical operation that needs to be performed after measuring the spectra on the instrument.

The paper discusses the use of Origin software to process data. It is revealed that the program can significantly simplify the procedure when using certain approaches to operate

data. Another advantage of Origin in the ability to view and make an expert evaluation of the current graph corresponding to the processed data.

In presence of several fluorescent centers, the luminescence peak in the glass, as one of studied optical material, may have several components. To break a complex peak into components, it is necessary to apply the Gauss decomposition. It was proved that the use of Origin accelerated the implementation of this task.

To analyze the luminescence lifetime and describe the measured data logarithmic scale of data representation and exponential equation (or multiple equations) are applied. Origin eliminates the need for third-party programs or development of the new ones due to the function of opening the source file from the device and performing calculations based on the retrieved data without additional preprocessing.

Research of spectral-luminescent properties of glasses. Origin software plays a significant role in the research of spectral-luminescent properties of glasses. It allows discovering equations for exponential fluorescence decay curves for the luminescence lifetime calculations. Fitting non-exponential curve equations affords to define such an important parameter as luminescence centers lifetime. Analyzing this data, it is possible to investigate the optical materials structure and better understand the process of luminescence centers' forming and approaches to vary optical materials compositions according to given tasks. The study of Bi-activated phosphate-aluminum-sodium glasses as active media for tunable near infrared lasers is examined to show the exact advantages of using the Origin software in spectroscopy.

The luminescent tunable devices based on bismuth-activated glass operating within wide wavelength near infrared region are of a great interest for science and technology. That material is valuable due to bismuth-activated glass luminescent possibility in wide spectrum region – from ultraviolet to near infrared in dependence on the bismuth coordination in glass matrix, synthesis conditions and by varying excitation wavelength. Devices based on this material could be used in advanced optical communication systems, medicine and astrophysics.

Bismuth has different spectral-luminescent properties depending on the valence-coordination condition. This fact leads to the problem, that despite Bi-doped glass laser operating medias were constructed, the nature of the bismuth optical luminescent centers is not fully clarified. Therefore, effective and operative analyzing bismuth spectral-luminescent properties is a very important objective in this case.

Measurement technique. It is necessary to perform correct measurements with a high precision in correct conditions to receive the exact data for a further analysis. The optical absorption spectra in the wavelength range of 200–800 nm are measured with the use of the Perkin-Elmer Lambda 900 spectrophotometer with the spectral resolution of 0,1 nm. The photoluminescence spectra are measured with the use of the Acton SP-300i monochromator, near infrared semiconductor photodiode InGaAs detector and SpectraWiz analyzation program and with 455 nm excitation wavelength. Samples are excited by laser pulse 455 nm of LQ 129 optical parametric oscillator LP 604 by Solar Laser system. The fluorescence decay curves are measured with digital oscilloscope Infinium HP54830 by Agilent Technologies and the samples are excited at 4 nm with laser pulse LQ 129 optical parametric oscillator LP 604 by Solar Laser system.

Origin.Pro 2016 is used for the mathematical spectra analysis.

Data processing. To investigate the shortwaves transparency border and determine the excitation region, the absorption spectra of the phosphate-aluminum-sodium Bi- activated glasses and the absorption spectra of samples treated at reduction conditions were measured (Fig. 1).

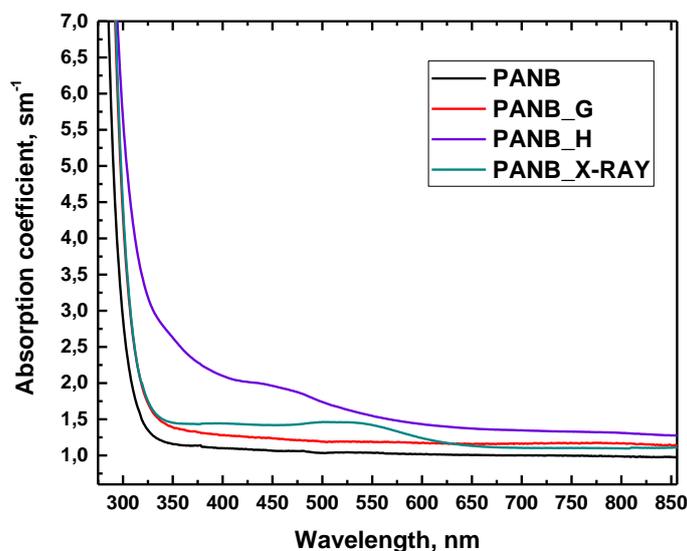


Fig. 1. Absorption spectra of the synthesized and samples treated under various reduction conditions

By using Origin software for absorption spectra analysis it is possible rescale optical density into absorption coefficient or in relative units if it is needed. The rescaling is fast and easy and several graphs could be presented simultaneously.

It is convenient to analyze the luminescence intensity decay dependence on time within the logarithmic scale $\ln(I/I_0)$. This is due to the fact, that the luminescence decay kinetics in the presence of only one luminescent center in the optical material has an exponential form [1, 2]. Therefore, when taking the natural logarithm $\ln(I/I_0)$, the diagram shows the linear dependence of the luminescence intensity decay on time. When the kinetics in the logarithmic scale has a nonlinear dependence on time, this indicates the presence of two or more luminescent centers in the optical material. If there are two luminescent centers, then the method of selecting a double exponent equation should be used. If there are three luminescent centers, then the method of selecting a triple exponent equation should be used, and so on.

The study of Bi-activated phosphate-aluminum-sodium glasses shows that bismuth in such glasses can have a wide luminescence in the near infrared region of the spectra. Experimentally obtained luminescence decay kinetics of Bi-formed luminescence centers in glasses in the logarithmic scale have the non-linear shape (Fig. 2).

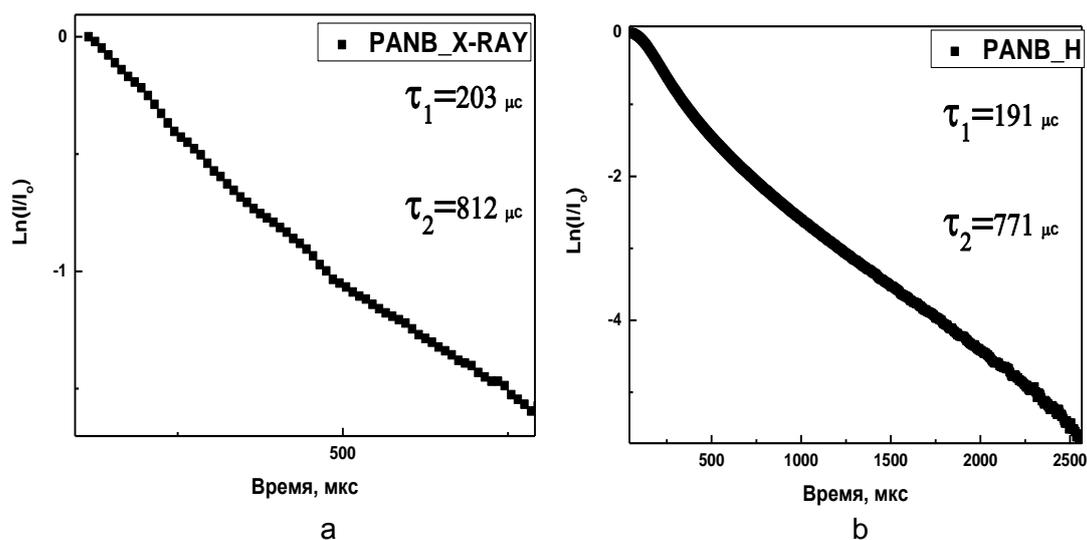


Fig. 2. The luminescence decay kinetics of PANB_X-RAY (a) and PANB_H (b) samples, the luminescence calculated lifetimes of two luminescence centers

In this case such a dependence can be explained with the double exponent equation. It has allowed to determine lifetimes of bismuth luminescent centers as shown in Fig. 2.

Origin software can perform this operation within less than 1 minute. This significantly expedites the work of the experimenter, who is analyzing measured data. Because of fast analysis of the experimental data it is possible to perform the high rate of research, that is very important in this advanced scientific field.

References

1. Gaft M. Modern Luminescence Spectroscopy of Minerals and Materials. – Berlin Heidelberg: Springer-Verlag. – 2nd edition. – 2005. – 620 p.
2. Lakowicz J.R. Principles of Fluorescence Spectroscopy. – Springer Science and Business Media, 1983. – 496 p.

**Хавлюк Павел Дмитриевич**

Год рождения: 1996

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, институт новых материалов и технологий, студент группы № НМТ – 441804

Направление подготовки: 18.03.01 – Химическая технология

e-mail: khavlyuk.stepnogorsk@gmail.com

**Толкачева Анна Сергеевна**

Год рождения: 1986

Институт высокотемпературной электрохимии Уральского отделения РАН, институт новых материалов и технологий, к.хим.н., научный сотрудник, доцент

e-mail: a.s.tolkacheva@urfu.ru

УДК 544.6.018.464

СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ ВАНДАТОВ $\text{Ca}_5\text{Mg}_{4-x}\text{M}_x(\text{VO}_4)_6$ ГДЕ $\text{M}=\text{CO}, \text{NI}$ ($0 \leq x \leq 4$)**Хавлюк П.Д.¹****Научный руководитель – к.хим.н., н.с., доцент Толкачева А.С.^{1,2}**¹Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Екатеринбург; ²Институт высокотемпературной электрохимии Уральского отделения РАН, Екатеринбург

Работа проведена при использовании оборудования центра коллективного пользования «Состав вещества» при Институте высокотемпературной электрохимии УрО РАН. Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 17 – 03 – 01280).

Впервые синтезированы твердые растворы ванадатов с кубической кристаллической решеткой Ia-3d $\text{Ca}_5\text{Mg}_{4-x}\text{M}_x(\text{VO}_4)_6$, где $\text{M}=\text{Co}, \text{Ni}$, ($0 \leq x \leq 4$). Аттестована микроструктура и элементный состав образцов методом растровой электронной микроскопии. Методом импедансной спектроскопии исследованы транспортные свойства в сухой и влажной атмосфере воздуха. Преобладающим является электронный тип проводимости, однако у состава $\text{Ca}_5\text{Co}_4(\text{VO}_4)_6$ наблюдается смешанная электронно-ионная электропроводность.

Ключевые слова: ванадат, твердые растворы, диэлектрики, электропроводность, температура спекания.

Введение. В последнее время диэлектрические материалы играют ключевую роль в беспроводных коммуникационных системах, включая GPS, blue-tooth, различные радары, спутниковые системы [1]. Также увеличивается интерес к технологии низкотемпературной совместно обжигаемой керамики, которая расширяет область использования и разработки керамических диэлектрических материалов. Благодаря своей способности к миниатюризации, керамические материалы находят довольно широкое применение в микроэлектронике, микросистемах и микроволновых модулях [1]. В целях получения требуемых свойств керамика должна удовлетворять определенным критериям. В частности, низкочастотная керамика должна иметь высокую диэлектрическую проницаемость при низких частотах и низкую температуру спекания. Основные материалы, которые в данный момент пользуются спросом на

рынке низкочастотных диэлектриков, имеют довольно высокую температуру спекания: 1360°C для ультрафарфора, стеатита и форстерита [2–4], 1750°C для высокоглиноземистой керамики [2]. В связи с повышением требований к энергосбережению и экологичности, поиск новых низкочастотных диэлектриков является перспективной задачей для микроэлектроники.

Данным критериям удовлетворяют интенсивно исследуемые последнее время оксованадаты кальция со структурой дефектного граната [5], спекающиеся от 800°C. Характеристики микроволновых диэлектрических свойств $\text{Ca}_5\text{Zn}_4(\text{VO}_4)_6$ и $\text{Ca}_5\text{Mg}_4(\text{VO}_4)_6$ показали, что исследуемые ванадаты являются потенциальными кандидатами в материалы для производства многослойных печатных плат [5].

Описываемые соединения характеризуются кубической симметрией кристаллической решетки Ia-3d, при наличии высокой степени дефектности переходящей в I-43d, $Z=2$. Кальций в соединении имеет координационное число 8, ванадий – тетраэдрическое окружение, а магний и цинк – октаэдрическое [5]. Сложные ванадаты кальция с высокой дефектностью структуры обладают рядом особенностей, а именно: наличие структурных каналов и неполная занятость позиций в кальциевой подрешетке. Средний катион может быть замещен рядом других двухзарядных катионов [5]. Допирование катионами переменной валентности, например, Ni^{2+} и Co^{2+} , предполагает наличие электронной проводимости. В связи с этим представляет интерес изучить влияние дефектной структуры на электрофизические свойства $\text{Ca}_5\text{Mg}_{4-x}\text{M}_x(\text{VO}_4)_6$, где $\text{M}=\text{Co}, \text{Ni}$, ($0 \leq x \leq 4$), что и составляет цель настоящей работы.

Методика эксперимента. Исходными реактивами для твердофазного синтеза ванадатов служили: CaCO_3 (ХЧ), $\text{Mg}(\text{OH})_2$ (ХЧ), $\text{Ni}(\text{HCOO})_2$ (ХЧ), $\text{Co}(\text{HCOO})_2$ (ХЧ), V_2O_5 (ОСЧ), этиловый спирт в качестве среды при гомогенизации порошков в ступке. Образцы получали методом твердофазного синтеза через промежуточные соединения $\text{Ca}_3\text{V}_2\text{O}_8$, $\text{Ni}_3\text{V}_2\text{O}_8$, $\text{Mg}_3\text{V}_2\text{O}_8$ и $\text{Co}_3\text{V}_2\text{O}_8$. Полученную в стехиометрическом соотношении смесь прессовали в таблетки на одноосном прессе при давлении 2 т/см². Окончательный синтез проводили при 980°C в течение 72–150 ч. Аттестацию проводили с использованием дифрактометра Rigaku DMAX-2200/PC в $\text{Cu K}\alpha$ -излучении в диапазоне углов $10^\circ < 2\theta < 90^\circ$. Микрофотографии скола и анализ элементного состава проведены на растровом электронном микроскопе (РЭМ) JSM-6390 с микроанализатором JED-2300 в режиме вторичных электронов при ускоряющем напряжении 30 В.

Для исследования образцы керамики $\text{Ca}_5\text{Mg}_{4-x}\text{M}_x(\text{VO}_4)_6$, где $\text{M}=\text{Co}, \text{Ni}$, ($0 \leq x \leq 4$) подвергали механической шлифовке, обезжировали поверхность этиловым спиртом. Электрические платиновые контакты наносили в виде пасты с последующим припеканием при 1000°C в течение 2 ч. Электропроводность измеряли при помощи импеданс-спектроскопии на импедансометре Parstat 2273. Измерения проводили в диапазоне частот от 200 кГц до 100 Гц в температурном интервале от 850 до 300°C в атмосфере осушенного цеолитами ($p\text{H}_2\text{O}=0,04$ кПа) и увлажненного воздуха ($p\text{H}_2\text{O}=2,5$ кПа).

Результаты и обсуждение. Дифрактограммы синтезированных образцов проиндексированы в соответствии с карточкой ICSD № 72305 (рис. 1). Полученные составы являются твердыми растворами, что подтверждается изменением их параметра решетки. Зависимость параметра решетки от степени замещения допантом для твердого раствора $\text{Ca}_5\text{Mg}_{4-x}\text{Ni}_x(\text{VO}_4)_6$ имеет линейный вид, численные значения параметра решетки снижаются. Это означает, что зарядовое состояние никеля 2+, так как ионный радиус двухзарядного катиона никеля меньше, чем магния. Зависимость параметра решетки для $\text{Ca}_5\text{Mg}_{4-x}\text{Co}_x(\text{VO}_4)_6$ сложная и требует уточнения зарядового состояния кобальта.

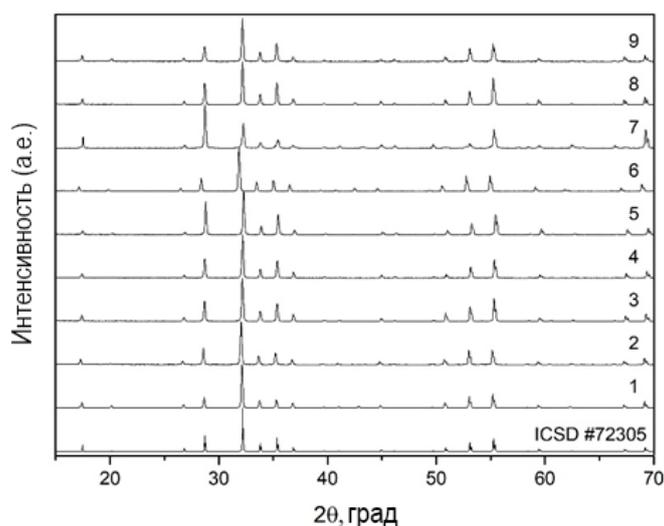


Рис. 1. Дифрактограммы твердых растворов составы 1–5: $\text{Ca}_5\text{Mg}_{4-x}\text{Ni}_x(\text{VO}_4)_6$ ($0 \leq x \leq 4$); составы 6–9: $\text{Ca}_5\text{Mg}_{4-x}\text{Co}_x(\text{VO}_4)_6$ ($0 \leq x \leq 4$)

Средний размер зерен керамики составляет около 15 мкм, зерна имеют четкие грани, согласно данным сканирующей электронной микроскопии (рис. 2, А). По результатам энергодисперсионного анализа можно утверждать, что примесей в полученной керамике не содержится (рис. 2, В).

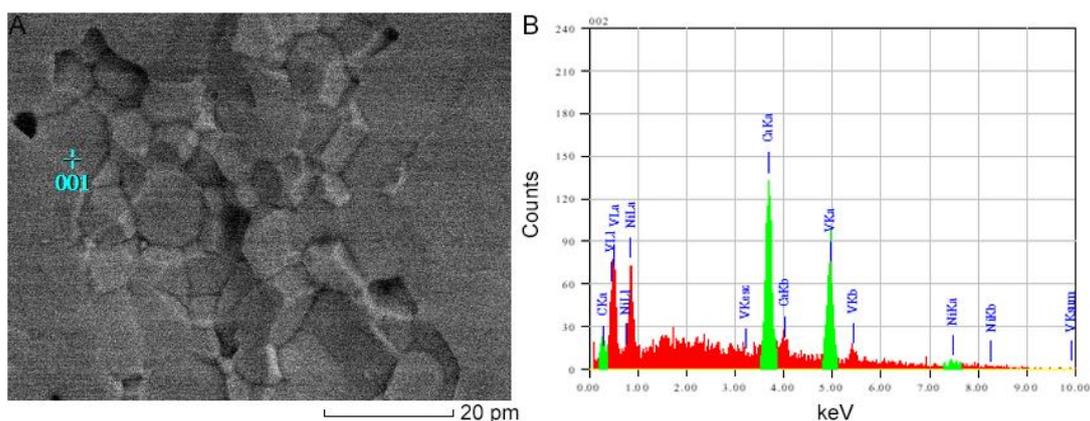


Рис. 2. Микроструктура керамики $\text{Ca}_5\text{Ni}_4(\text{VO}_4)_6$ (А); элементный анализ скола $\text{Ca}_5\text{Ni}_4(\text{VO}_4)_6$ (В)

Электропроводность некоторых членов твердого раствора (рис. 3, А) имеет более высокие значения во влажной атмосфере, нежели в осушенной, однако, чем выше температура, тем меньше заметно влияние влажности атмосферы на электропроводность. Все исследуемые образцы демонстрируют наличие электронной проводимости выше 350°C . Исключение составляет состав $\text{Ca}_5\text{Co}_4(\text{VO}_4)_6$, который является кислород-ионным проводником при высокой температуре. Проводимость (рис. 3, А) имеет аррениусовский характер. Энергия активации электропроводности для составов, допированных кобальтом, составляет около 133 кДж/моль, а для допированных никелем составов – около 100 кДж/моль. Как и ожидалось, введение в состав катиона переменной валентности повышает электропроводность исследуемых соединений.

На рис. 3, Б, представлена температурная зависимость сопротивления $\text{Ca}_5\text{Co}_4(\text{VO}_4)_6$, где при высокой температуре преобладает кислород-ионная проводимость, а ниже 765°C – электронная. Изменение угла наклона представленной зависимости означает переход между типами проводимости ионной и электронной.

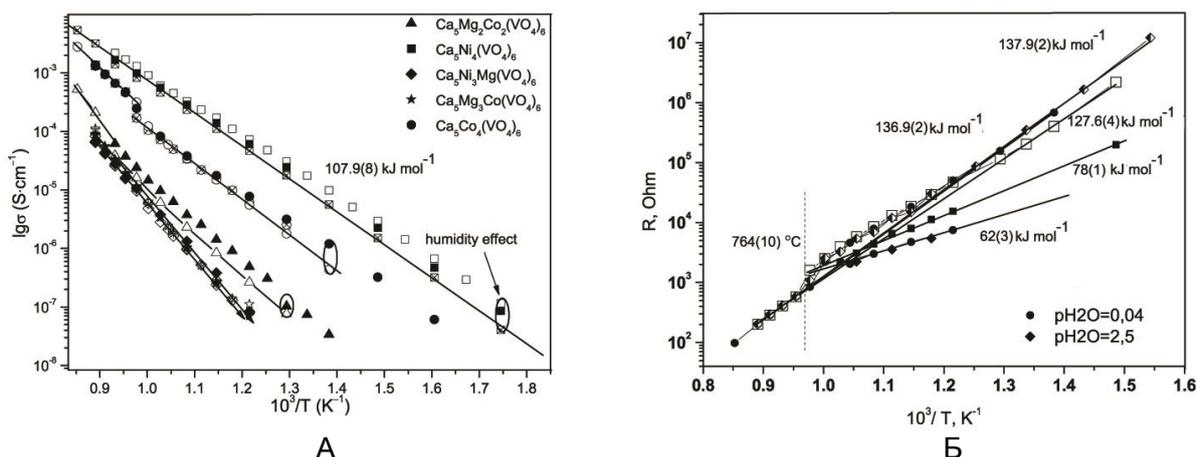


Рис. 3. Электропроводность $\text{Ca}_5\text{Mg}_{4-x}\text{M}_x(\text{VO}_4)_6$, где $\text{M}=\text{Co}, \text{Ni}$, ($0 \leq x \leq 4$) в сухой (закрашенные точки) и влажной (пустые точки) атмосфере (А); зависимость сопротивления от температуры для $\text{Ca}_5\text{Co}_4(\text{VO}_4)_6$ (Б)

Заключение. Впервые синтезированы твердые растворы оксованадатов со структурой дефектного граната состава $\text{Ca}_5\text{Mg}_{4-x}\text{M}_x(\text{VO}_4)_6$, где $\text{M}=\text{Co}, \text{Ni}$, ($0 \leq x \leq 4$) твердофазным методом. Электропроводность образцов варьируется от 10^{-4} до 10^{-2} См/см при температуре 850°C . Исследованные составы обладают электронной проводимостью, и только $\text{Ca}_5\text{Co}_4(\text{VO}_4)_6$ – смешанной ионно-электронной проводимостью.

Литература

1. Golonka L.J. Technology and applications of low temperature co-fired ceramic (LTCC) based sensors and microsystems // Bull. Pol. Acad. Sci. Tech. – 2006. – V. 54. – P. 221–231.
2. Ohsato H., Tsunooka T., Kan A., Y Ohishi., Y Miyauchi., Tohdo Y., Okawa T., Kakimoto K., Ogawa H. Microwave–millimeterwave dielectric materials // Key Engineering Materials. – 2004. – V. 269. – P. 195–198.
3. Tsunooka T., Sugiyama T., Ohsato H., Kakimoto K., Andou M., Higashida Y., Sugiura H. Development of forsterite with high Q and zero temperature coefficient τ_f for millimeterwave dielectric ceramics // Key Engineering Materials. – 2004. – V. 269. – P. 199–202.
4. Song M.E., Kim J.S., M Joung.R., Nahm S., Kim Y.S., Paik J.H., Choi B.H. Synthesis and microwave dielectric properties of MgSiO_3 ceramics // Journal of the American Ceramic Society. – 2008. – V. 91. – P. 2747–2750.
5. Huang Y. et al. Novel yellow-emitting phosphors of $\text{Ca}_5\text{M}_4(\text{VO}_4)_6$ ($\text{M}=\text{Mg}, \text{Zn}$) with isolated VO_4 tetrahedra // Optics express. – 2012. – V. 20(4). – P. 4360–4386.

**Шлямова Елена Евгеньевна**

Год рождения: 1999

Университет ИТМО, факультет лазерной и световой инженерии, кафедра компьютерной фотоники и видеоинформатики, студент группы № V3220

Направление подготовки: 12.03.02 – Проектирование и метрология опτικο-электронных приборов специального назначения

e-mail: shlyamova@gmail.com

**Бодров Кирилл Юрьевич**

Год рождения: 1991

Университет ИТМО, факультет программной инженерии и компьютерной техники, кафедра информатики и прикладной математики, аспирант

Направление подготовки: 27.06.01 – Управление в технических системах

e-mail: kbodrov5@gmail.com

**Калугин Михаил Сергеевич**

Год рождения: 1993

**Родионова Алиса Дмитриевна**

Год рождения: 1999

Университет ИТМО, факультет фотоники и оптоинформатики, кафедра фотоники и оптоинформатики, студент группы № V3100

Направление подготовки: 12.03.03 – Оптические и квантовые технологии в коммуникациях

e-mail: alicerod@yandex.ru

УДК 62.526

**СОЗДАНИЕ ГИРОСТАБИЛИЗИРОВАННОГО ПОДВЕСА
ДЛЯ ПРОТОТИПИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ СТЕРЕОЗРЕНИЯ****Шлямова Е.Е.¹, Бодров К.Ю.¹, Калугин М.С.¹, Родионова А.Д.¹****Научный руководитель – аспирант Бодров К.Ю.¹**¹Университет ИТМО

Работа выполнена в рамках темы НИР № 416034 «Создание робота удаленного присутствия и взаимодействия с объектами на основе колесной омниплатформы, оснащенной модулями роботов-манипуляторов».

В работе рассмотрены типы систем гиросtabilизации, их организация и способы улучшения на примере разрабатываемой в лаборатории ОЛИМП конструкции гиросtabilизированного подвеса для прототипирования системы стереозрения.

Ключевые слова: гиросtabilизированный подвес, гиросtabilизация камеры, поворотное устройство, демпфирование, виброразвязка, контактные кольца, конструирование.

Роботизированные системы постепенно заменяют человека в выполнении различных функций: от бытовых, вроде уборки по дому, до выполнения сложных операций, требующих высокой точности. Такие системы делятся на автономные и управляемые. Если система управляется человеком дистанционно, она может как контролироваться визуально, так и находиться вне зоны видимости оператора. В последнем случае существуют два способа контроля ее действий: снятие показаний со встроенных в систему датчиков и видеоконтроль. Для роботов, управляемых оператором, недостаточно только сенсорных систем вроде инфракрасных и ультразвуковых датчиков, зачастую оператору необходимо видеть область вокруг робота и предметы, с которыми он взаимодействует. Система видеоконтроля позволяет не только наблюдать за объектами и контролировать работу в режиме реального времени, но и при задействовании дополнительного оборудования записывать и хранить видео, чтобы в случае сбоев и неполадок у оператора была возможность просмотреть запись с камеры и зафиксировать их причины [1–9].

В рамках НИР «Создание робота удаленного присутствия», проходящем в лаборатории ОЛИМП Университета ИТМО ведется разработка системы видеоконтроля с использованием технологии стереозрения в робототехнике. Предполагается, что разрабатываемый робот будет оснащен модулями манипуляторов и осуществлять голономное передвижение благодаря колесной омниплатформе. Устройство будет управляться оператором, и предназначено для работы на складах и в лабораториях. Передача видеоизображения необходима для взаимодействия с объектами и определения положения робота в пространстве. Стереозрение, в свою очередь, позволяет получать объемное изображение, определять расстояние до предметов и составлять карту глубины. В конструкции робота планируется создание подобной системы, которой необходим поворот в трех плоскостях, в том числе обзор 360° в горизонтальной плоскости. В связи с этим в конструкции предусмотрено использование трехосевого поворотного устройства.

При установке камеры на подвижных объектах возникает необходимость в улучшении качества изображения. Достигнуть этого можно при помощи программной обработки, либо механической стабилизации. Стабилизирующие системы могут быть не только чисто механическими, но также и электронными.

От назначения системы стабилизации зависит степень ее сложности, необходимость использования электронных компонентов и сама конструкция. К примеру, для любительской съемки оператору может быть достаточно недорогой системы механической стабилизации, представленной в виде переносного штатива с регулируемыми грузами. Такая конструкция построена на шарнирных и пружинных механизмах, и управлять ей можно только прямыми физическими воздействиями. Такой вариант имеет ряд недостатков: при совершении резких движений, внезапном изменении ускорения по инерции камера начнет раскачиваться, и необходимо время, чтобы система снова вернулась к сбалансированному состоянию. Кроме того, подобной системе требуется регулярная ручная настройка и корректировка баланса грузов при каждой смене камеры или объектива.

Подвес, стабилизирующий груз при помощи двигателей, позволяет избавиться от инерционного раскачивания и не требует ручной настройки. Подобные устройства активно используются в профессиональной видеоаппаратуре, устанавливаются на дронах и других летательных аппаратах, применяются в автоматизированных системах и роботах. Помимо этого, на рынке аксессуаров к фото- и видеоаппаратуре существуют облегченные автоматизированные версии, предназначенные для смартфонов, экшн-камер и полупрофессиональных фотоаппаратов.

Примером современной индикаторной системы является гиросtabilизированный подвес на бесколлекторных двигателях (рис. 1). В конструкции трехосевого

гиростабилизированного подвеса, являющегося частью разработки робота удаленного присутствия, команда разработчиков выбрала именно такой тип двигателей, поскольку они имеют ряд преимуществ: высокий КПД, длительный срок службы и высокая мощность в сравнении с коллекторными аналогами.

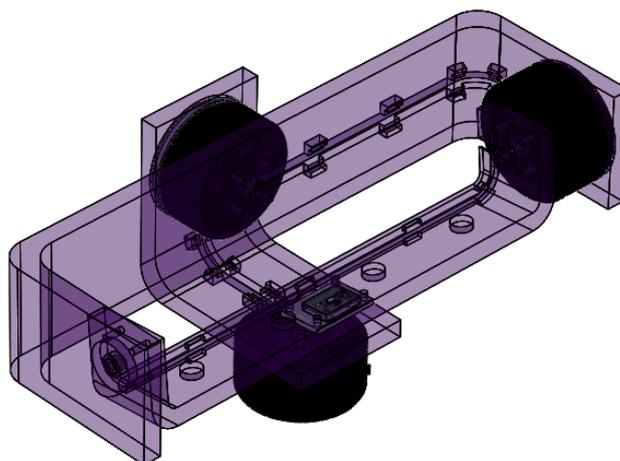


Рис. 1. Спроектированный в ходе работы гиростабилизированный подвес на бесколлекторных двигателях

Для правильной работы подвеса и точной стабилизации нагрузки необходима организация системы управления двигателями, а также обратная связь в виде показаний датчиков. Это обеспечивает комплекс устройств: микроконтроллер, гироскоп и энкодеры (рис. 2).

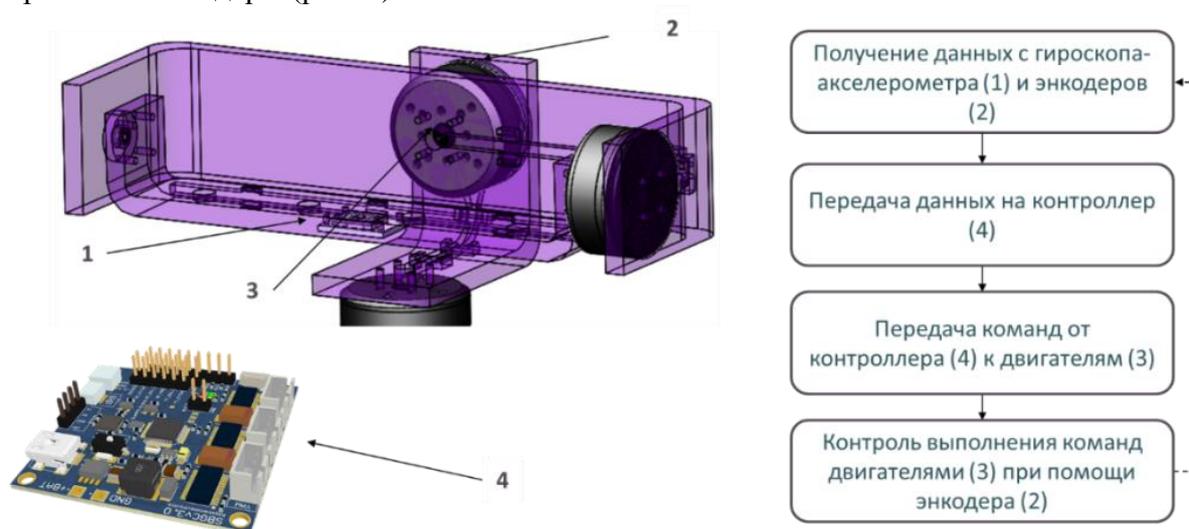


Рис. 2. Принципиальная схема работы системы

При движении объекта установленный на корпусе камеры МЭМС-гироскоп со встроенным акселерометром реагирует на изменения углов ориентации тела и изменение его ускорения. Эти данные гироскоп передает на микроконтроллер в рамках системы внешней обратной связи. Контроллер обрабатывает полученную информацию и отправляет команды на двигатели. Под управлением микроконтроллера двигатели совершают поворот системы в нужных направлениях. Энкодеры выступают в качестве датчиков угла поворота и обеспечивают внутреннюю обратную связь, отправляя данные об изменении угла поворота двигателей обратно на микроконтроллер. В течение всего процесса гироскоп постоянно отправляет данные о положении системы в пространстве, пока она не будет приведена в нужное положение. Благодаря современному уровню развития схемотехники и механики, эти операции происходят за

доли секунды, что позволяет устройству быстро реагировать на смену положения в пространстве. В наши дни системы стабилизации широко используются в авиационной и ракетной технике, в прецизионных измерительных приборах.

При движении системы возникают вибрации, которые препятствуют нормальной работе датчиков. Поэтому для устройств, в конструкции которых предполагается перемещение, зачастую необходимо демпфирование. Двигатели, компрессоры, насосы сами по себе являются источниками низкочастотных вибраций, нарушающих работу гироскопов, энкодеров и других чувствительных приборов. Для их гашения было решено использовать в системе демпферы – смягчающие элементы. Специальные конструкции, представленные в виде двух и более пластин, между которыми закрепляются демпферы, называют виброразвязками.

В разрабатываемом роботе планируется установка виброразвязки на модуль «камеры общего вида», между штативом и подвесом. Это необходимо для нивелирования вибраций, создаваемых шаговыми двигателями в основании платформы и неровностями поверхности, по которым передвигается устройство.

В системах стабилизации камер чаще всего используются недорогие в производстве резиновые либо металло-резиновые демпферы. Последние, как правило, обеспечивают большую жесткость, и как следствие, меньшие собственные резонансные колебания для сравнительно тяжелых систем (например, зеркальные фотоаппараты). Реже используются тросовые виброразвязки, выполненные из металлических тросов в виде замкнутых колец, зажатых между пластинами. Их преимущество – высокая демпфирующая способность, устойчивость к низким температурам. Среди недостатков таких решений можно отметить их низкую распространенность, вызванную тем, что большинство компаний разрабатывает и собирает их вручную, это связано со сложностью изготовления. В связи с этим увеличивается и цена изделия.

Если возникает необходимость исключения поперечных колебаний конструкции, виброразвязку необходимо выполнить под углом, равномерно наклоняя стойки нижней пластины к центральной оси. При условии достаточной жесткости демпфера в таком положении поперечные смещения значительно уменьшаются.

Маневренность системы наблюдения зависит от характеристик, используемых в подвесе моторов, а также способа организации системы проводов питания и управления. Проводные соединения ограничивают возможности поворота конструкции: чтобы их не повредить, разработчики уменьшают диапазон угловых перемещений подвеса, блокируя движения мотора программно.

На примере разработки конструкции «камеры общего вида» для робота разработчики столкнулись с необходимостью в создании системы, способной совершать неограниченное количество полных оборотов в горизонтальной плоскости. Это важное дополнение, поскольку омниплатформа, на которую устанавливаются модули манипуляторов и камера, способна передвигаться по плоскости в любом направлении. Роботу не придется разворачиваться, чтобы переместиться назад или в сторону – достаточно повернуть камеру в нужном направлении и продолжить движение. Отсутствие ограничения поворота камеры значительно упрощает управление роботом: оператору нет необходимости беспокоиться о том, что в какой-то момент провода могут перекрутиться и повредить систему.

В разработанной конструкции подвеса для решения этой задачи были использованы контактные кольца (slip ring, токосъемники). Контактные кольца обеспечивают подачу электричества из зафиксированных во вращающиеся части конструкции, исключая скручивание проводов.

В бесколлекторных двигателях помимо контактных колец предусмотрено использование энкодеров, которые крепятся к статору (в данном случае) и определяют угловые перемещения мотора. Такой датчик позволяет фиксировать перемещения

двигателя, а в паре с гироскопом максимально точно определять текущее положение камеры.

Таким образом, основная часть электромеханического подвеса – крепления, бесколлекторные двигатели и гироскоп, опциональная – скользящие контакты, виброразвязка и энкодеры. Первых трех компонентов достаточно для разработки стедикама для любительской фото- и видеоаппаратуры. Для создания системы электромеханической стабилизации для сложных систем необходимо внедрение дополнительных компонентов.

Для изготовления каркаса подвеса была использована технология 3D-печати. Такой метод позволяет изготовить деталь сложной формы по модели, созданной на компьютере при проектировании. Материалом для печати чаще всего выступают различные виды термопластиков (ABS, ASA, Nylon). Оптимальным материалом для 3D-печати небольших прочных деталей и корпусных изделий является ABS-пластик. Он не имеет запаха, нетоксичен, и из такого материала при помощи 3D-печати можно получить прочные детали сложных форм.

В ходе разработки конструкции гиростабилизированного подвеса, команда разработчиков изучила существующие системы и на их основе создала свою (рис. 3). Таким образом, базовый стабилизирующий подвес был проработан до уровня полноценного поворотного устройства с наличием стабилизации, системы внешней и внутренней обратной связи. Помимо этого, устройство защищено от воздействия внешних вибраций платформы, на которую оно устанавливается. Преимущества такой системы – улучшенная маневренность, виброустойчивость, а также доступность для самостоятельной сборки.

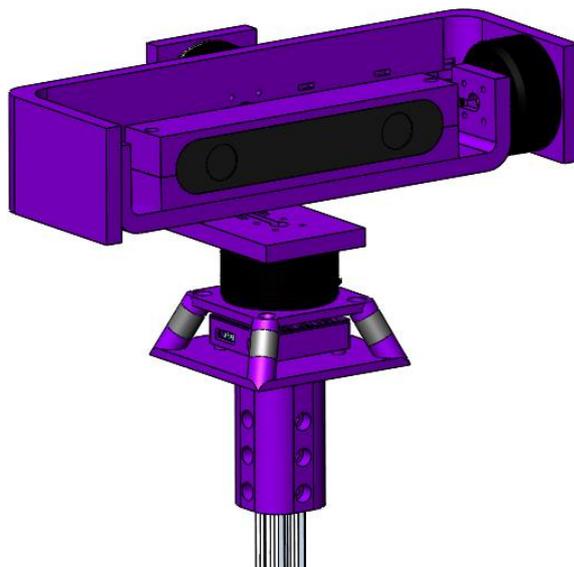


Рис. 3. Гиростабилизированный подвес с платформой виброразвязки и камерой

Система гиростабилизированного подвеса, разработанная в лаборатории ОЛИМП, имеет перспективы использования не только в комплексе робота удаленного присутствия, но и в качестве отдельного устройства. К примеру, при организации систем наблюдения на стационарных и движущихся объектах: станках, производственных установках – как в качестве гиростабилизатора, так и в качестве поворотного устройства; в системе с подвижной кареткой и рельсами устройство может выступать в роли операторской тележки или полноценной гиростабилизированной съемочной установки. Одним из главных преимуществ системы является возможность поворота на 360° , такой подвес может устанавливаться на дистанционно управляемые аппараты для организации панорамной съемки во время движения.

Литература

1. Серегин В.В. Прикладная теория и принципы построения гироскопических систем. Учебное пособие. – СПб.: СПбГУ ИТМО, 2007. – 78 с.
2. Лысов А.Н., Лысова А.А. Теория гироскопических стабилизаторов. Учебное пособие. – Челябинск: Изд. центр ЮУрГУ, 2009. – 117 с.
3. Суконкина М.Л., Гайнов С.И. Обзор методов и устройств виброзащиты приборных платформ // Труды Нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева. – 2013. – № 4(101). – С. 311–319.
4. Ильинский В.С. Защита РЭА и прецизионного оборудования от динамических воздействий. – М.: Радио и связь. – 1982. – 296 с.
5. Челпанов И.Б., Никифоров С.О., Кочина Т.В., Никифоров Б.С. Машинные дизайн-технологии быстрого прототипирования // Вестник Бурятского государственного университета. – 2010. – № 9. – С. 283–289.
6. Colton S.W. Design and Prototyping Methods for Brushless Motors and Motor Control // Massachusetts Institute of Technology. – B.S., Mechanical Engineering, 2008. – 135 с.
7. Техконсалтинг. Что такое углепластик (карбон) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://engitime.ru/statyi1/raznoe/chto-takoe-ugleplastik-karbon.html>, своб.
8. Техконсалтинг. Пластик и его разновидности [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://engitime.ru/statyi1/plastiki/plastik-i-ego-raznovidnosti.html>, своб.
9. United Equipment Accessories, Inc. How does a slip ring work [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.uea-inc.com/resources/blog/how-does-a-slip-ring-work/>, своб.

СОДЕРЖАНИЕ

Направление «КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И УПРАВЛЕНИЕ»	3
Акимов С.В. Акустооптические датчики и их применение в различных устройствах и измерительной технике	4
Баев П.А., Осинкин Е.А., Зенкин А.М. Планирование пути и траектории движения для квадрокоптера.....	8
Белов Р.Д., Мухаметшина А.В. Ассистивные технологии, улучшающие качество жизни людей с ограниченными возможностями здоровья.....	11
Бондарева А.Д., Созинова Е.Н. Риски информационной безопасности в системах типа «Умный дом»	15
Бортейн Н.М. Методы реализации систем обучения и поддержки пользователей в видеоиграх.....	21
Гайош А.И., Корепанов П.Ю. Разработка интерфейса загрузки программного обеспечения для реконфигурируемой вычислительной платформы.....	24
Гайфулина Д.А. Выявление типовых структур пакетов сетевого трафика киберфизических систем для исследования и идентификации аномалий.....	29
Головин А.А. Параметрическая настройка пьезоактюатора на максимальное быстроедействие	34
Горобченко А.А., Русак А.В. Подход к разработке системы анализа результатов компьютерного тестирования.....	40
Егорова А.И., Борисенко П.С. Атаки по сторонним каналам на смартфоны на примере электромагнитных атак и методы противодействия им	45
Егоров Р.А., Кадыр Г.А., Кузьмичев М.В. Разработка алгоритмического и программно-технического обеспечения первичной обработки сигнала при динамическом индентировании.....	48
Екименко А.А., Низовцев С.И. Классификация объектов на основе суммарных характеристик эталонных моделей.....	53
Жарков А.Д. Анализ уязвимостей Ruby on Rails приложения «Графиоз мониторинг»	59
Завьялова Т.А., Слепцова Д.М. Атаки по сторонним каналам на кэш и способы защиты от них	63
Зайцева Ю.С. Подавление нелинейных колебаний в пилотируемых системах управления летательными аппаратами	69
Ильина Е.С. методы цифровой обработки изображений для минимизации влияния утечки	73
Калиниченко И.А., Дикий Д.И., Давыдов М.А. Методика выявления угроз воздействия на персонал, исходящих со стороны лиц, использующих методы социальной инженерии с целью хищения коммерческой тайны.....	77
Карпенко Е.А. Методы управления системами отопления промышленного предприятия	82
Кислицина Е.А. Экспериментальное определение коэффициента диффузии изотопов ксенона в газовой ячейке квантового дискриминатора	85
Kislitsina E.A. Magnetic field gradient requirements determination to identify a nuclear magnetic resonance gyroscope metrological characteristics	91
Коломойцев В.С. Эффективность применения схем защищенного доступа с полным и частичным набором средств защиты информации.....	97
Комарова А.В., Менщиков А.А. Подход к построению протоколов электронной подписи с использованием постквантовой криптографии	102

Котовщикова И.О. Оценка применимости искусственных нейронных сетей в задаче анализа информативных сигналов, полученных методом динамического индентирования	106
Кузьмин К.С. Сравнительный анализ современных алгоритмов шифрования и анализ их применения в программных продуктах.....	110
Кузьмин М.П., Исаев И.В. Исследования методов оценки влияния изменений в исходном коде сторонних библиотек на программный продукт.....	113
Кузьмичев М.В., Егоров Р.А. Исследование влияния внешних факторов на достоверность контроля механических свойств материалов методом динамического индентирования	118
Лавринович А.А. Модель осуществления внешней торговли с учетом применения RFID-технологии в идентификационных целях	121
Ле Ван Туан, Во Куок Дат. Идентификация нестационарных параметров сложных технических систем	126
Летов Н.Е. Сравнительный анализ алгоритмов хеширования на платформе Raspberry Pi.....	131
Меинов А.С. Разработка программного обеспечения для медицинского устройства	136
Менисов А.Б. (Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского). Геофенсинг на основе данных социальных сетей.....	140
Милосердов А.О. Разработка средства диагностики структурированных кабельных систем 1000BASE-T	144
Михайлов А.Б. Создание сетевой структуры производственных агентов с использованием контроллеров семейства Modicon M251	147
Мостовой Р.А., Башарина А.А. Атаки по сторонним каналам на криптографические системы с использованием электромагнитного сигнала: математическое обоснование	149
Мулюкин А.А. Обзор механизмов для хранения результатов моделирования системной динамики	155
Осинкин Е.А., Баев П.А., Зенкин А.М. Монокулярный SLAM для дрона.....	160
Пелин В.О., Акпаралиев Н.А. Исследовательский анализ алгоритмов оптимизации искусственных нейронных сетей для задач прогнозирования	164
Питерсков П.П. (Балтийский государственный технический университет «Военмех» им. Д.Ф. Устинова, Санкт-Петербург), Побирохин Г.С. (ООО «РОСНА Инжиниринг НТ», Санкт-Петербург). 3D-печать керамикой. Область применения. Методы	168
Полюга Н.Л., Мухамбедьяров Б.Б., Ловлин С.Ю. Методы снижения потерь энергии в электроприводе эскалатора	172
Попов И.Ю. Разработка метода противодействия распределенным сетевым атакам ..	178
Прендота А.В., Балакшин П.В. Браузерная платформа для языка программирования Kotlin	181
Руденко А.С. Реализация квантовых операций в частотной области.....	184
Румянцева М.Ю. Программа для сбора и обработки данных с медицинского тренажера	188
Семенова К.Р. (Институт правоведения и предпринимательства, Санкт-Петербург), Коломойцев В.С. (Университет ИТМО). Внедрение информационных технологий в досудебное и судебное делопроизводство	193
Серова А.И. Метод определения нарушений целостности изображений на основе машинного обучения	197

Смирнов Е.В. (Лицей № 344 Невского района Санкт-Петербурга), Севостьянова Е.А. (Лицей № 344 Невского района Санкт-Петербурга). Biggish English. Английский 2.0 или новый взгляд на изучение языка с помощью web-технологий	201
Сундквист Я.В. (Самарский национальный исследовательский университет им. академика С.П. Королева). Разработка пьезопривода для позиционирования фаланг захватов антропоморфного робота	206
Таранов С.В. Применение вейвлетных кодов для защиты кэш-памяти от атак по сторонним каналам	210
Тихоненко Д.С. Анализ методов компенсации идиопатического дрожания рук	215
Трушина Ю.А. Особенности использования технологии Normal Mapping при 3D-моделировании	219
Федоренков В.Г., Балакшин П.В. Использование предметно-ориентированных языков (DSL) при тестировании веб-интерфейсов	223
Шуртина А.А. Интерпретация результатов исследования данных о взаимодействии слушателей с контентом массовых открытых онлайн-курсов.....	228
Направление «ФОТОНИКА»	233
Беляева А.С. Разработка и анализ оптической осветительной системы малогобаритного блескомера	234
Вовк И.А., Тепляков Н.В., Леонов М.Ю. Электромагнитные пучки Лагерра–Гаусса вне параксиального приближения.....	238
Гарин И.С. Исследование алгоритма работы системы контроля усталости водителя.....	243
Геряинов Е.С., Карпов К.А. Изучение антиокислительной активности и биоцидного действия присадки МКФ-18НТ	249
Голованова М.А., Колесова Е.П., Дубовик А.Ю. Гибридные структуры на основе CdSe квантовых точек с полупроводниковой оболочкой переменного химического состава и наночастиц TiO ₂	252
Ильин П.О., Резник И.А., Черевков С.А. Взаимодействие паров аммиака с гибридными структурами на основе графена и люминесцирующих квантовых нанокристаллов	257
Поваров К.С., Митрофанов С.С. Миниатюризация конструкции углового энкодера на базе позиционно-чувствительного фотоприемника.....	263
Романова В.Р., Сазоненко Д.А., Кукушкин Д.Е. Композиция объектива для звездных датчиков	267
Сидоров В.И. Оптическая система дополненной реальности с использованием центрированных оптических элементов на основе микродисплея AMOLED	272
Сирый Р.С., Костерной И.А. Реализация ZC-орбит для биологических микрообъектов в трехмерной радиочастотной ловушке	278
Соколовский А.С. Роль биустойчивости контактного угла в регулировке морфологии автокаталитических нитевидных нанокристаллов GaAs	282
Терентьев Н.Ю. Оценка положения спирали в рентгеновской трубке.....	286
Тузова Ю.В., Никоноров Н.В., Сазанович Ю.А. Технологии обработки данных в спектроскопии.....	290
Хавлюк П.Д. (Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Екатеринбург). Синтез и исследование электропроводности твердых растворов ванاداتов Ca ₅ Mg _{4-x} M _x (VO ₄) ₆ где M=Co, Ni (0≤x≤4).....	294
Шлямова Е.Е., Бодров К.Ю., Калугин М.С., Родионова А.Д. Создание гиростабилизированного подвеса для прототипирования системы стереозрения	298

СБОРНИК ТРУДОВ VII КОНГРЕССА МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ Том 1

В авторской редакции

Редакционно-издательский отдел Университета ИТМО

Дизайн обложки

Н.А. Потехина

Зав. РИО

Н.Ф. Гусарова

Редактор

Л.Н. Точилина

Подписано к печати 28.01.2019

Заказ № 4226

Тираж 100 экз.