

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, МЕХАНИКИ И ОПТИКИ

Сборник трудов I Всероссийского конгресса молодых ученых



Санкт-Петербург

2012

Сборник трудов I Всероссийского конгресса молодых ученых. – СПб: НИУ ИТМО, 2012. – 142 с.

В издании «Сборник трудов I Всероссийского конгресса молодых ученых» публикуются работы, представленные в рамках I Всероссийского конгресса молодых ученых и IX Всероссийской межвузовской конференции молодых ученых, которая состоялась 10–13 апреля 2012 года в Санкт-Петербургском национальном исследовательском университете информационных технологий, механики и оптики



В 2009 году Университет стал победителем многоэтапного конкурса, в результате которого определены 12 ведущих университетов России, которым присвоена категория «Национальный исследовательский университет». Министерством образования и науки Российской Федерации была утверждена программа его развития на 2009–2018 годы. В 2011 году Университет получил наименование «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики»

© Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, 2012

© Авторы, 2012

УДК 502.656

ОБОСНОВАНИЕ НЕОБХОДИМОСТИ ОЧИСТКИ РЕК И КАНАЛОВ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА ОТ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ

Е.А. Быковская, И.Б. Максакова

Научный руководитель – д.т.н., профессор Л.А. Конопелько

Работа описывает необходимость очистки рек и каналов Санкт-Петербурга и ведения постоянного мониторинга содержания тяжелых металлов в донных отложениях и в водной среде. В работе рассматривается необходимость разработки новой методики измерений массовой концентрации токсичных металлов в пробах донных отложений. В разрабатываемой методике измерений будет использован метод генерации гидридов совместно с атомно-эмиссионным с индуктивно-связанной плазмой, что даст возможность определения загрязняющих веществ на низких уровнях содержания, а так же их отделение от природных компонентов, возможно, будет проводить с большей чувствительностью и точностью.

Ключевые слова: атомно-эмиссионная спектрометрия, генерация гидридов, мышьяк, сурьма, донные отложения, экологический мониторинг, методика измерений.

Введение

Город Санкт-Петербург является крупнейшим мегаполисом, имеющим уникальную водную систему, площадь акватории которой достигает 840 км². Многолетнее использование водных ресурсов и сброс неочищенных производственных вод, привели к нарушению экологического баланса водных артерий города.

Дельта реки Невы и побережье Невской губы являют собой пример тех разительных изменений, которые человек вносит в окружающую его природную среду. В течение многих лет они аккумулируют огромную массу загрязняющих веществ (ЗВ) Санкт-Петербургского мегаполиса и Северо-Западного региона, поступающих в него с твердым и растворенным речным стоком. Ситуация с экологическим состоянием рек в настоящее время очень напряженная. Необходимо сохранить и максимально восстановить биосферу водного бассейна города.

Состояние водных объектов Петербурга характеризуется как «загрязненные» и «умеренно загрязненные». Основными источниками загрязнения поверхностных вод является сброс сточных и ливневых вод без очистки. В настоящее время на очистные сооружения поступает 94% городских стоков, при этом очистку они проходят в соответствии с последними рекомендациями Хельсинской комиссии по защите Балтики (ХЕЛКОМ). Таким образом, в настоящее время, проблема с очисткой воды стоит не так остро. Однако первая очередь продолжения Главного канализационного коллектора города была пущена только осенью 2008 года, строительство которого было начато еще в 70-е годы XX века, и до 2011 года в Неву и другие водные объекты города поступало 11 миллионов кубометров загрязненных стоков.

Одной из актуальных экологических проблем до сих пор остается предотвращение загрязнения природных вод, почвы токсичными тяжелыми металлами. Тяжелые металлы (ТМ) попадают в окружающую среду со сточными водами различных отраслей промышленности, большой вклад в загрязнение окружающей среды тяжелыми металлами вносят и твердые промышленные отходы.

Донные отложения (ДО) включают в себя три составляющие: биологическую, органическую, неорганическую. Каждая из составляющих способна к поглощению тяжелых металлов из воды. Водоемы, особенно бессточные и слабопроточные, превратились в накопители многообразных городских отходов. Вследствие этого возникает вероятность вторичного загрязнения водоемов, как результат выноса ЗВ из ДО в иловую, природную воду и далее по схеме «вода – донные отложения – вода». Вынос ЗВ может происходить в результате проведения дноуглубительных работ, намыва территорий, а так же наводнений, столь характерных для нашего города.

Особую опасность представляют ТМ, накопившиеся в ДО, не только из-за их высокой токсичности, но и из-за их стабильности в водной среде. Попав в экосистему, ТМ совершают круговорот, никуда не исчезая, а лишь мигрируя по различным ее звеньям (фитопланктон – рыба – человек), вызывая различные мутации и гибель организмов. Прежде всего, интерес представляют металлы, которые в наибольшей степени загрязняют атмосферу из-за использования их в значительных объемах в производственной деятельности (например, такие как сурьма и мышьяк). Мышьяк и сурьма являются одними из приоритетных ЗВ урбанизированных ландшафтов, потому их определение является обязательным при проведении экологических и санитарно-гигиенических оценок уровня загрязнения ДО. Существуют различные инструментальные методы определения этих элементов. Однако большинство из них не могут обеспечить возможность определять фоновые концентрации искомых элементов и отличаются большой трудоемкостью.

В работе выбран метод атомно-эмиссионной спектроскопии с термическими источниками возбуждения атомов, так как это высокочувствительный, многоэлементный, производительный, гибкий метод анализа, позволяющий получать воспроизводимые результаты с малой абсолютной погрешностью при определении как микро-, так и макроконцентраций элементов в самых разных по составу объектах. Несмотря на ряд преимуществ метода атомно-эмиссионного с индуктивно-связанной плазмой (АЭС-ИСП), существует ряд трудностей при определении некоторых элементов, например, таких как мышьяк и сурьма. Так как мышьяк и сурьма слабо возбуждаемые в плазме элементы, то энергии необходимой для полного возбуждения As и Sb в жидкой пробе не достаточно в связи с тем, что большая ее часть расходуется на нагрев и распад воды. Наблюдаются матричные эффекты от других элементов раствора, спектральные помехи, а также потери в распылительной камере. Существует способ, который способен решить перечисленные проблемы. Это генерация гидридов – метод определения элементов, способных образовывать летучие газообразные гидриды (мышьяка, сурьмы). Гидриды образуются при восстановлении пробы боргидридом натрия (NaBH_4) в кислой среде. Использование генератора гидридов совместно с АЭС-ИСП дает ряд преимуществ:

- увеличение чувствительности для гидридообразующих элементов в десятки раз;
- низкий уровень мешающих влияний матрицы, так как мешающие компоненты остаются в жидкой фазе;
- при вводе пробы в пламя в газообразной форме, исключаются ее потери в распылительной камере;
- увеличение селективности;
- снижение фонового сигнала;
- при верном подборе скорости расхода и подачи реагентов, возможно почти полное исключение матричных помех.

Из вышесказанного можно сделать вывод о необходимости совершенствования методов определения ТМ (за счет применения метода АЭС-ИСП совместно с методом генерации гидридов), а также разработки новой методики измерений (МИ) для определения токсичных металлов в ДО, которая позволит. Необходимо проводить постоянный мониторинг ДО (особенно в промышленных зонах города) и очистку от них наиболее загрязненных рек и каналов Петербурга, учитывая многолетние влияния промышленных предприятий и постоянный водооборот.

Экспериментальная часть

При внедрении в практику совместного применения метода генерации гидридов и АЭС-ИСП, был использован генератор гидридов HGX-200 фирмы СЕТАС. Были оценены режимы работы спектрометра напрямую и с подключением генератора гидридов, а также оценена работа комплекса, в зависимости от скорости подачи инертного газа-носителя (аргона-Ar). Подобрана оптимальная скорость расхода газа 0,15 л/мин.

Разработана МИ в точном соответствии с требованиями ГОСТ Р 8.563-2009 «Методики (методы) измерений». Данная МИ предназначена для определения массовой доли мышьяка и сурьмы в пробах (образцах) ДО при содержании от 0,05 до 100 мг/кг. Пробы, анализируемые по настоящей методике, отбираются и подготавливаются к анализу в соответствии с нормативными документами, распространяющимися на ДО ГОСТ 17.1.5.01, ГОСТ 5180 и др. Диапазон измерений массовой доли As и Sb от 0,05 до 100 мг/кг. Погрешность измерений $\pm 25\%$. Длины волн для определения металлов при использовании метода АЭС-ИСП приведены в табл. 1.

Таблица 1. Условия проведения измерений на АЭС-ИСП

Элемент	Длина волны, нм
As	189,042; 193,759
Sb	206,833; 217,581

В ходе работы было изучено состояние ДО рек и каналов Санкт-Петербурга расположение которых представлено на рис. 1.

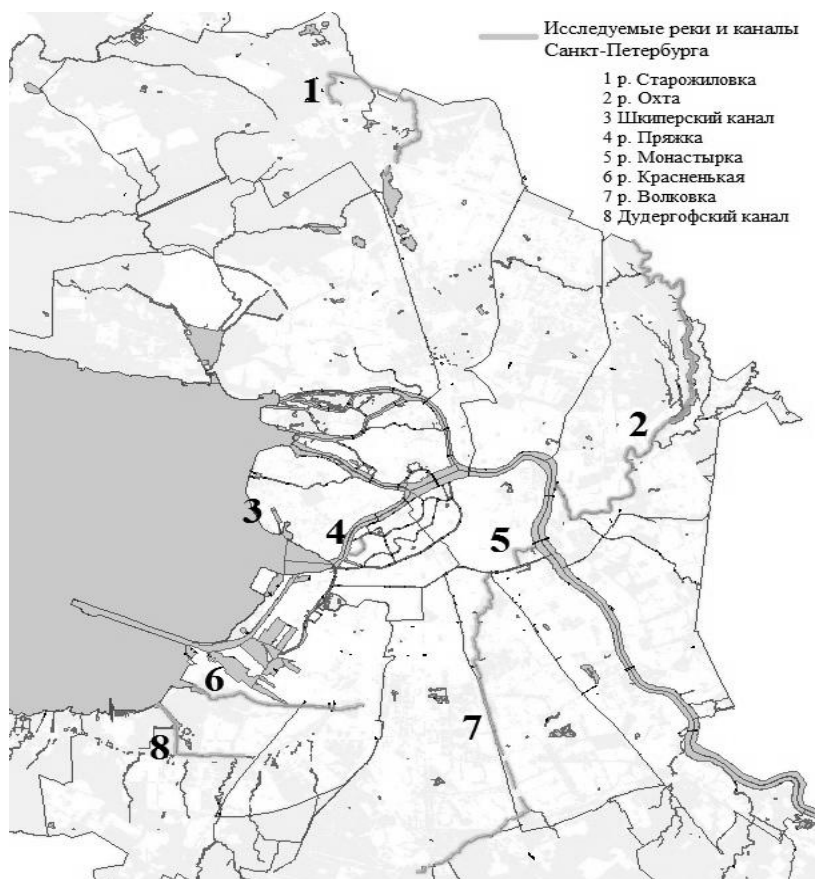


Рис. 1. Исследуемые реки и каналы Санкт-Петербурга

В работе данные, характеризующие содержание ТМ в пробах сравниваются с предельно-допустимыми концентрациями (ПДК) почв, так как для донных отложений ПДК не разработано. Сравнение значения массовой концентрации мышьяка в исследуемых реках и каналах Санкт-Петербурга с ПДК для почв представлено в табл. 2.

Таблица 2. Сравнение значения массовой концентрации мышьяка в исследуемых реках и каналах Санкт-Петербурга с ПДК для почв

Исследуемые реки и каналы Санкт-Петербурга	Массовая концентрация As, мг/кг	ПДК As для почв, мг/кг	Кратность превышения ПДК
Река Старожиловка	6,4	2	3,2
Река Красенькая	8,3		4,1
Река Монастырка	1,5		–
Река Охта	36,8		18,4
Река Пряжка	10,4		5,2
Шкиперский канал	1,5		–
Дудергофский канал	7,5		3,7
Река Волковка	24,7		12,4

Из табл. 2 видно, что для внутригородских водотоков техногенное загрязнение ДО ТМ очень высокое и составляет, например, для р. Волковка 12 ПДК, для р. Охта 18 ПДК. Что легко объяснимо, так как эти водотоки протекают по сильно загруженным промышленным районам.

Кроме того, было отмечено, что на значительные содержания мышьяка в пробах ДО непосредственно влияет расход воды. Чем больше расход воды, тем больше и скорость течения. С уменьшением расхода воды ослабевает стоковое течение в водотоке, расширяются зоны обратных и водоворотных течений. А это ведет к ухудшению санитарного состояния. Так, например, средний многолетний расход воды у р. Охта составляет 7,2 м³/с, а у р. Большая Нева 1370 м³/с. Следовательно, р. Охта относится к слабопроточным водоемам, что непосредственно сказывается на уровне аккумуляции ТМ донными отложениями. Река Охта фактически превратилась в накопитель многообразных городских отходов.

Диаграмма, характеризующая изменение концентрации исследуемого металла в ДО, в зависимости от удаленности от зоны с повышенной антропогенной нагрузкой представлена на рис. 2.

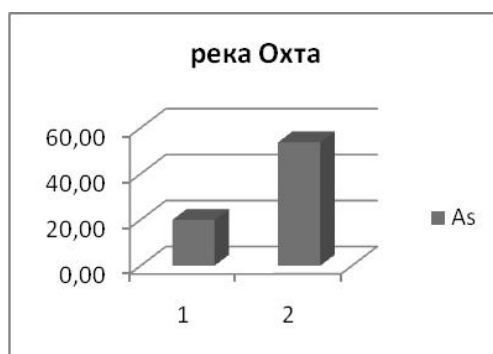


Рис. 2. Распределение концентрации мышьяка в ДО до (1) и после (2) зоны с высокой антропогенной нагрузкой

Из рис. 2 видно, что загрязнение носит четко выраженный характер, обусловленный расположением техногенных объектов. Сильное антропогенное влияние на р. Охта оказывает, расположенная в пос. Янино-1 мусороперерабатывающая станция (СПб ГУП «Завод МПБО-2»), а так же животноводческая ферма в пос. Лаврики. Главными источниками загрязнения рек Охта и Волковка являются природопользователи, осуществляющие сбросы неочищенных сточных вод и не выполняющие требования Федерального Закона «Об отходах производства и потребления», территория таких предприятий находится в захлавленном состоянии, а в

водоохранных зонах складываются промышленные отходы. После попадания в водную среду опасные вещества оседают в ДО. Перечень объектов, оказывающих техногенное воздействие на р. Охта изображен на рис. 3.

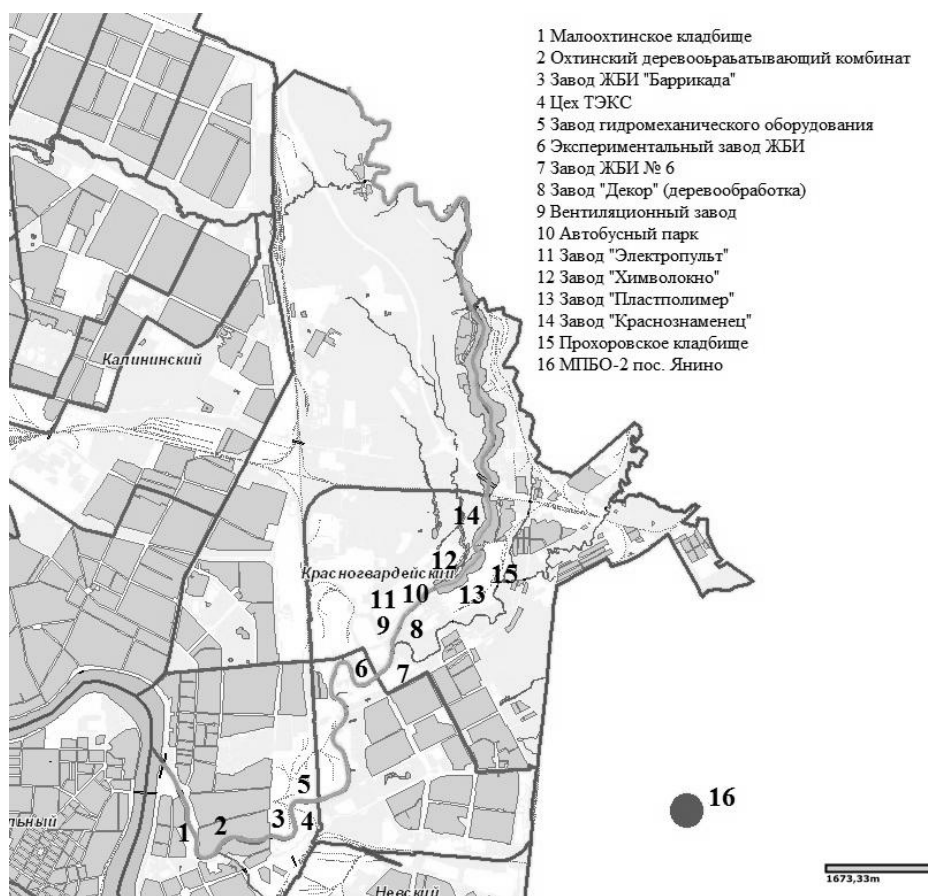


Рис. 3. Схема расположения объектов техногенного воздействия

В настоящее время для большинства водоемов города мониторинг их состояния не проводится, за исключением систематических научно-исследовательских работ, проводимых различными институтами. Например, такими как Институт озерадения Российской академии наук (РАН), кафедра экологической геологии геологического факультета Санкт-Петербургского государственного университета (СПбГУ) и Научно-исследовательского института земной коры (НИИ ЗК) СПбГУ. Анализ содержания ЗВ в ДО проводится в основном только перед проведением дноуглубительных работ. Большинство данных о ДО содержат информацию только об их объемном содержании в водоемах.

Из сказанного выше можно сделать вывод о необходимости расширения количества водотоков, подлежащих постоянному мониторингу. Так же необходимо внедрить в систему мониторинга водных объектов экосистемный мониторинг, который будет направлен на восполнение недостающей информации о структурно-функциональных особенностях водных экосистем с целью обеспечения возможности составления надежных прогнозов изменения качества воды и состояния экосистем. В данном случае возможность прогнозирования вторичного загрязнения водных объектов вследствие вымывания токсичных веществ из ДО и получения оценки состояния водоема по соотношению внешней и внутренней нагрузок.

Заключение

В работе проанализирована необходимость разработки новой МИ массовой концентрации токсичных металлов в пробах воды.

В процессе исследований:

- изучена экологическая обстановка рек и каналов Санкт-Петербурга;
- определены приоритетные загрязнители акватории города;
- разработана МИ массовой концентрации токсичных металлов мышьяка и сурьмы в ДО методом АЭС-ИСП совместно с генерацией гидридов;
- проведен анализ современной системы мониторинга ДО в Санкт-Петербурге, даны рекомендации по ее совершенствованию;
- обоснована необходимость мероприятий по очистке рек и каналов Санкт-Петербурга от ДО.

Литература

1. Линник Р.П., Линник П.Н., Запорожец О.А. Методы исследования сосуществующих форм металлов в природных водах (Обзор). – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.nbu.gov.ua/portal/>, своб. Яз. рус., укр. (дата обращения 25.01.2011).
2. Перевозников М.А., Богданова Е.А. Тяжелые металлы в пресноводных экосистемах. – СПб: ГосНИОРХ, 1999. – 228 с.
3. Нежиховский Р.А. Река Нева и Невская губа. – Л.: Гидрометеиздат, 1981. – 112 с.
4. Водные объекты Санкт-Петербурга / Под ред. С.А. Кондратьева, Г.Т. Фрумина. – СПб: Символ, 2002. – 348 с.
5. Экологическая обстановка в Санкт-Петербурге / Под ред. Д.А. Голубева, Н.Д. Сорокина. – СПб: ФормаТ, 2004. – 784 с.
6. Астрелина И.Н., Байков М.Ю., Березин И.К. и др. Охрана окружающей среды, природопользование и обеспечение экологической безопасности в Санкт-Петербурге в 2010 году / Под ред. Д.А. Голубева, Н.Д. Сорокина. – СПб: Сезам-принт, 2011. – 432 с.
7. Корнеев О.Ю., Рыбалко А.Е., Федорова Н.К. и др. Результаты мониторинга природной среды Финского залива: уровень антропогенного загрязнения природных вод и донных отложений / День Балтийского моря. VI-ой международный экологический форум. Сб. тезисов. – СПб: 2005. – С. 116–117.

УДК 004.056, 004.8

ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ КОНТРОЛЯ УРОВНЯ ВНОСИМЫХ ИСКАЖЕНИЙ В ИЗОБРАЖЕНИЕ ПРИ ВСТРАИВАНИИ ЦИФРОВЫХ ВОДЯНЫХ ЗНАКОВ

Н.Н. Прохожев, М.Л. Зеленина

Научный руководитель – к.т.н., доцент О.В. Михайличенко

В статье исследуется возможность использования искусственных нейронных сетей для определения контентно-зависимого порогового уровня искажений фрагмента изображения, превышение которого будет приводить к визуализации артефактов встраивания цифровых водяных знаков.

Ключевые слова: стеганография, искусственные нейронные сети, уровень вносимых искажений.

Введение

Встраивание цифровых водяных знаков (ЦВЗ) всегда неразрывно связано с искажением мультимедиа-контента (далее в качестве мультимедиа-контента будет рассматриваться изображение). Обязательным условием использования ЦВЗ является их визуальная скрытность, что требует контроля как интенсивности искажающего воздействия ЦВЗ на изображение-контейнер, так и характера воздействия. При этом, используя стеганографию для защиты авторских прав, необходимо обеспечить максимальный уровень устойчивости ЦВЗ к внешним воздействиям, что, в свою очередь, требует внесения значительных изменений в изображение-контейнер.

Повышение визуальной скрытности ЦВЗ для стеганоалгоритмов встраивания в область дискретно-косинусного преобразования. Существует два пути повышения визуальной скрытности ЦВЗ для стеганоалгоритмов встраивания в область дискретно-косинусного преобразования (ДКП). Первый – это качественный выбор областей встраивания, искажение которых не приведет к визуально-заметному искажению изображения-контейнера, и второй – это наложение ограничения на силу встраивания и выбор соответствующих коэффициентов матрицы ДКП. Использование перечисленных двух методов требуют непосредственного участия человека для гарантии требуемого визуального качества «подписанного» изображения, что обусловлено некоторыми особенностями алгоритмов, встраивающих ЦВЗ в изображения путем изменения коэффициентов ДКП.

Зависимость визуализации артефактов встраивания ЦВЗ от коэффициентов матрицы ДКП. Традиционно встраивание ЦВЗ осуществляется в коэффициенты матрицы ДКП области среднечастотных компонент. Поскольку понятие среднечастотных компонент достаточно условно, то это понятие иногда включает в себя как значительную часть низкочастотной области, так и высокочастотные коэффициенты матрицы ДКП. При этом одинаковые изменения коэффициентов ДКП из разных частотных диапазонов по-разному воспринимаются системой человеческого зрения (СЧЗ). На рис. 1 показано разное восприятие СЧЗ визуализации артефактов при изменении на одинаковую величину одного коэффициента матрицы ДКП в разных частотных областях.

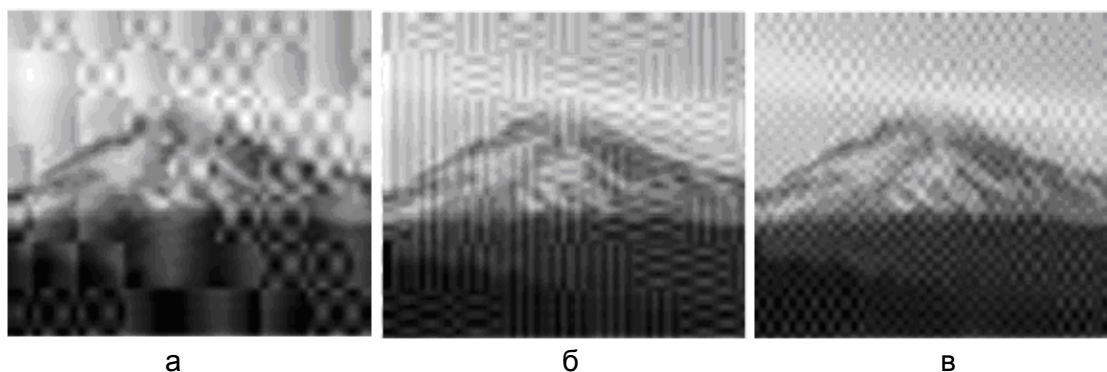


Рис. 1. Визуализация артефактов встраивания при изменении одного коэффициента матрицы ДКП в: низкочастотной области (а); среднечастотной области (б); высокочастотной области (в)

Следует заметить, что при изменении разных коэффициентов ДКП внутри одной частотной полосы визуализация также отличается. На рис. 1, б хорошо видно, что искажения местами носят характер вертикальных линий, а местами вида «шахматная доска».

Зависимость визуализации артефактов встраивания от контента блока изображения. Визуализация артефактов встраивания при изменении коэффициентов матрицы ДКП зависит не только от области встраивания, но и от контента блока изображения, в которое встраивается ЦВЗ. На рис. 2 и 3 показано, что изменение одних и тех же коэффициентов матрицы ДКП с одинаковой силой в блоках с разным контентом по-разному воспринимается СЧЗ.



Рис. 2. Визуализация артефактов встраивания при изменении одного коэффициента матрицы ДКП для блоков с разной яркостью

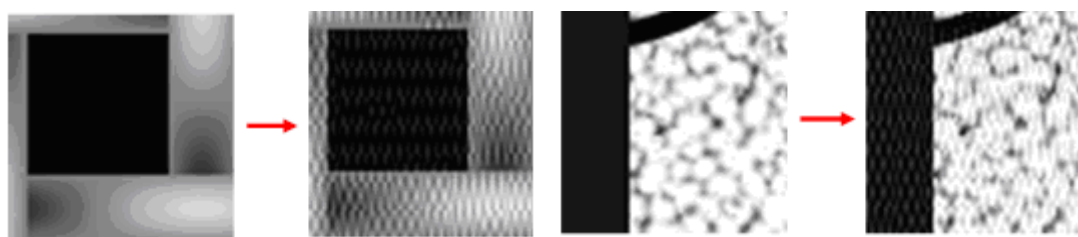


Рис. 3. Визуализация артефактов встраивания при изменении одного коэффициента матрицы ДКП для блоков с разной текстурой

При построении стеганографической системы необходимо учитывать такие особенности СЧЗ, как контрастная чувствительность, световая чувствительность, адаптация зрения. Построение модели СЧЗ повышает вычислительную емкость стеганографической системы, и в тоже время модель будет весьма приближительной. Использование модели СЧЗ требует тщательной настройки параметров, в основе которых лежат субъективные методы оценки [1].

Применение ИНС для вычисления пороговых значений изменения коэффициентов матрицы ДКП. Для гарантированного отсутствия визуализации

артефактов встраивания и максимальной устойчивости ЦВЗ предлагается подход, основанный на вычислении пороговых значений коэффициентов матрицы ДКП конкретного блока изображения. Данный подход реализуется с применением искусственных нейронных сетей (ИНС), который, по сути, моделирует СЧЗ.

В качестве входных данных для ИНС используются значения коэффициентов матрицы ДКП блока; выходными значениями являются пороговые величины изменения коэффициентов, определенные субъективно. Поскольку встраивание ЦВЗ, в подавляющем большинстве стеганоалгоритмов, осуществляется в матрицу размером 8×8 , то требуемое количество нейронов входного слоя будет 64. Как было отмечено выше, встраивание ЦВЗ осуществляется не во все коэффициенты матрицы ДКП, а в ее «среднечастотную» область, соответственно, и пороговые величины изменения коэффициентов матрицы ДКП целесообразно вычислять только для коэффициентов этой области. В данной работе принято, что в «среднечастотную» область входят 22 коэффициента матрицы ДКП, что в дальнейшем определяет количество нейронов в выходном слое. Среднечастотная область коэффициентов матрицы ДКП представлена на рис. 4.

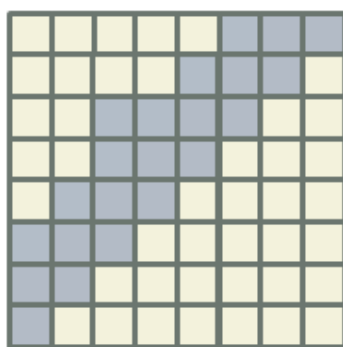


Рис. 4. Среднечастотная область коэффициентов матрицы ДКП

В результате практических экспериментов была получена топология ИНС (рис. 5), которая содержит два скрытых слоя по 20 нейронов в каждом. Функции активации для нейронов обоих скрытых слоев – сигмоидальные; функция активации для нейронов выходного слоя – линейная.

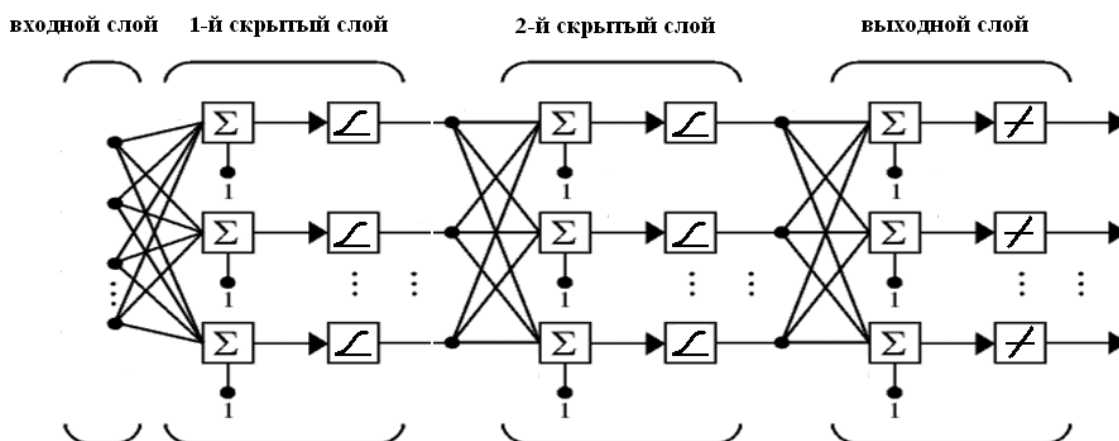


Рис. 5. Топология ИНС

Обучающая и тестовая выборки для ИНС формировались субъективным методом. Выборка включала блоки различной яркости и текстуры. Всего в обучающей и тестовой выборках было использовано 800 блоков.

Поочередно в блоке изменялся один коэффициент матрицы ДКП для всей среднечастотной области. Величина изменения коэффициента матрицы ДКП, при которой изменения в блоке становились заметны для СЧЗ, принималась как пороговая

для изменения конкретного коэффициента в конкретном блоке.

Обучение проводилось при помощи алгоритма Левенберга-Марквардта. Моделирование выполнялось в среде Matlab R2012 [4].

В результате использования ИНС, обученной определять максимальные допустимые изменения коэффициентов матрицы ДКП, при встраивании ЦВЗ алгоритмом Koch-Zhao удалось не только избежать визуализации артефактов встраивания, но и обеспечить повышенную устойчивость ЦВЗ к внешним воздействиям.

Оценка устойчивости ЦВЗ производилась с использованием коэффициента ошибочных бит (Bit Error Rate). Данный коэффициент применялся для оценки искажений битовой последовательности ЦВЗ, возникающей в результате внешних воздействий на изображение-контейнер. Устойчивость ЦВЗ к сжатию изображения-контейнера алгоритмом JPEG показана на рис. 6.

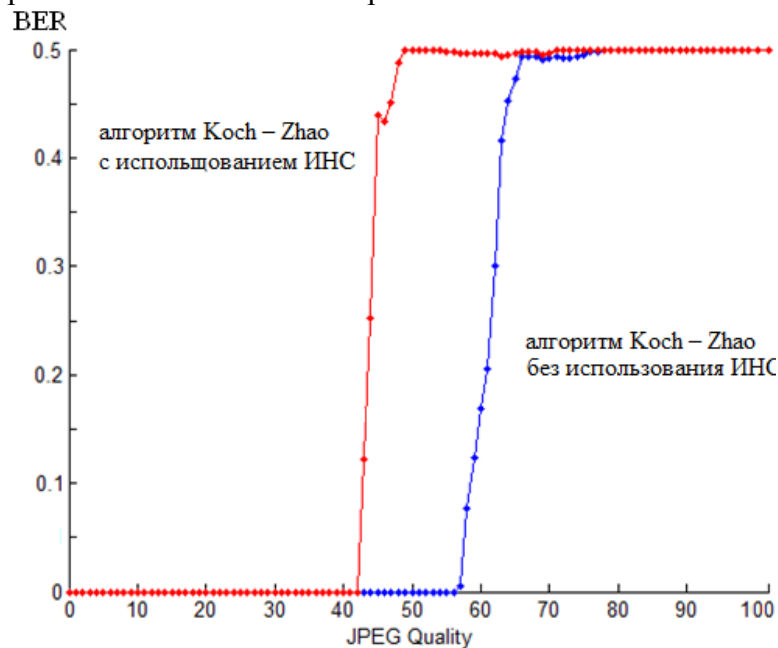


Рис. 6. Устойчивость ЦВЗ к сжатию изображения-контейнера алгоритмом JPEG

Повышение устойчивости ЦВЗ к внешним воздействиям оказалось еще более значительным при использовании той же ИНС с алгоритмом Benkham [2], в основе которого лежит качественный отбор блоков для встраивания ЦВЗ.

Выводы

ИНС позволяет моделировать основные особенности СЧЗ. Использование в стеганографических системах обученной ИНС не требует значительных вычислительных ресурсов в рамках управления визуальным качеством изображения-контейнера при встраивании ЦВЗ.

Применение ИНС в задачах управления уровнем вносимых искажений при встраивании ЦВЗ в цифровые изображения способно существенно повысить визуальное качество «подписанного» изображения и гарантировать отсутствие визуализации артефактов встраивания.

Литература

1. Прохожев Н.Н., Михайличенко О.В., Коробейников А.Г. Методика адаптации параметров встраивания устойчивых цифровых водяных знаков в область дискретно-косинусного преобразования цифровых изображений //

- Информационные технологии в профессиональной деятельности: сб. материалов Всероссийской научно-практической конференции: в 2 ч. – Йошкар-Ола: Марийский государственный университет, 2011. – Ч. 2. – С. 39–44.
2. Конахович Г.Ф., Пузыренко А.Ю. Компьютерная стеганография. Теория и практика. – К.: МК-Пресс, 2006. – С. 288.
 3. Koch E. and Zhao J. Toward robust and hidden image copyright labeling // Proc. of IEEE Work-shop on Nonlinear Signal and Image Processing. – Greece. – 1995. – P. 452–455.
 4. Beale Mark Hudson, Hagan Martin T., Demuth Howard B. Neural Network Toolbox™ User's Guide. – MathWorks, 2012. – 144 p.

УДК 330.131

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ РАЗВИТИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ, ПУТЕМ ПЕРЕРАБОТКИ ВТОРИЧНОГО СЫРЬЯ

П.В. Каминский, И.С. Христофорова

(Владимирский государственный университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых)

Научный руководитель – к.э.н., доцент М.В. Сивякова

(Владимирский государственный университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых)

Сущность рассматриваемого исследования заключается в развитии биоэнергетики во Владимирской области. Главная идея проекта является производство биогазовых установок для переработки органических отходов сельского хозяйства и сточных вод городов и сельских поселений.

Ключевые слова: биогазовая установка, биогаз, отходы.

В ближайшие 5–6 лет Россия по величине цен на энергоресурсы приблизится к уровню европейских стран, что крайне негативно скажется на экономическом положении всех без исключения потребителей электроэнергии и газа.

Цель: организация производства биогазовых установок с различной производительностью по исходному сырью. При этом биогазовые установки производительностью по исходному сырью свыше 25 т. в сутки проектируются и создаются по индивидуальным проектам, а с меньшей производительностью создаются по типовым проектам, согласованным с департаментом сельского хозяйства и продовольствия администрации Владимирской области ассортиментным рядом установок. Сейчас уже началась работа по типизации установок с тем, чтобы в первую очередь начать выпускать наиболее массовые типы установок с целью наиболее полного удовлетворения спроса в кратчайшие сроки.

Ограниченность доступа к электрическим сетям не только сдерживает развитие существующих сельскохозяйственных предприятий, но и ограничивает развитие новых сельскохозяйственных производств.

Внедрение биогазовых установок способно решить эти проблемы как в регионах с энергодефицитом, так и в регионах со слабым развитием сетевой инфраструктуры.

Следующая проблема – проблема утилизации отходов агропромышленного сектора. Количество отходов агропромышленного комплекса России сегодня достигает 600 млн. т. в год (225 млн. т. сухого вещества), причем большая часть этих отходов не утилизируется. Это приводит к проблемам окисления почв, отчуждению сельскохозяйственных земель (более 2 млн. га сельскохозяйственных земель заняты под хранение навоза), загрязнению грунтовых вод и выбросам в атмосферу метана – парникового газа. Переработка отходов агропромышленного комплекса в биогаз и удобрения решает эту проблему.

Биогаз – это газ, вырабатываемый микроорганизмами в процессе метаболизма. По своим характеристикам он очень похож на природный газ, хотя значительно отличается

по составу (50–70% метан / 50–30% углекислый газ) [1]. При дополнительных системах очистки и переработки он может использоваться для различных целей как-то: заправка автомобилей или выработка электроэнергии.

Биогазовая энергетика – источник дешевых, экологически чистых органических удобрений, сопоставимых по органической ценности с комплексными удобрениями. Потенциал производства таких удобрений в России составляет 600 млн. т. Значение этого фактора будет возрастать по мере роста тарифов на газ и связанного с этим удорожанием минеральных удобрений (в первую очередь азотных) [2].

Преимущества биогазовой установки. При переработке отходов на биогазовой установке получают:

- газ;
- электричество;
- тепло;
- топливо для автомобилей;
- биоудобрения.

Срок окупаемости системы по переработке отходов – 1,5–2 года. По некоторым видам сырья данная цифра доходит до полугода.

Идея проекта заключается в развитии биоэнергетики во Владимирской области, флагманским проектом, которой является производство биогазовых установок для переработки органических отходов сельского хозяйства и сточных вод городов и сельских поселений [3].

В среднем 1 корова производит 55 кг навоза в сутки, у нас 2600 коров в сутки, получаем 1 430 000 кг навоза, из тонны навоза крупного рогатого скота образуется 50–65 куб. м биогаза, из различных видов энергетических растений – 100–500 куб. м.

Из произведенного навоза мы получим 7865 куб. м биогаза (в установку можно скидывать не только навоз, но так же и другие все возможные отходы такие как скошенная трава, птичий помет). Из 1 м³ биогаза в когенерационной теплоэлектростанции можно выработать 2,4 кВтч электроэнергии + 2,8 кВтч тепловой. В день мы можем выработать 18876 кВтч электроэнергии и 22022 кВтч тепловой. В сутки ферма потребляет 2949,5 кВтч электричества, 704,6 куб. м. Чтобы выработать 2949,5 кВтч нужно 1229 куб. м. прибавляем к этому значение затрат на газ, получаем – 1933,6 куб. м.

У нас в день остается 5931,4 куб. м. Если дополнить биоустановку системой обогащения биогаза, можно получить биометан – газ, аналогичный природному по стандартам ГОСТ. Его можно использовать для освещения, отопления, заправки машин. Себестоимость производства биогаза составляет всего \$25–30 за 1000 куб, а цена газа в России составляет 80\$ за 1000 куб. м. Подключить газ в деревенской местности – процедура очень дорогая и утомительная. Цена на подключение составляет от 200 000 до 500 000 руб. и плюс к этому придется долго повозиться с оформлением бумаг.

Результаты, ожидаемые от реализации проекта, социальные показатели:

- кардинальное решение экологических проблем на уровне региона и в отдельных сельских поселениях и в городах области;
- создание новых рабочих мест как в сфере производства биогазовых установок, так и в сфере их эксплуатации;
- снижение затрат в сфере производства сельскохозяйственной продукции;
- повышения энергоэффективности сельского хозяйства области;
- повышение продуктивности сельскохозяйственного производства, в первую очередь зерновых и овощных культур;
- повышение культуры сельскохозяйственного производства.

Литература

1. Барбара Эдер Хайнц Шульд. Биогазовые установки практическое пособие. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.zorg-biogas.com>, свобод.
2. Малофеев В.М. Биотехнология и охрана окружающей среды: учебное пособие. – М.: Издательство Арктос, 2009. – 188 с.
3. Стребков Д.С., Ковалев А.А. Биогазовые установки для обработки отходов животноводства // Техника и оборудование для села. – 2011. – № 11. – С. 28–30.

УДК 51

ВОЗРАСТНАЯ СТРУКТУРА ИЗОЛИРОВАННОЙ ПОПУЛЯЦИИ

М.О. Ковалева

Научный руководитель – к.ф.-м.н., доцент А.В. Норин

В данной работе рассматривается конечно-разностная модель, позволяющая описать возрастную структуру изолированной популяции. Эта модель применена для случая нестабильных и стабильных популяций, показана эволюция их возрастной структуры на некоторых примерах численного счета. Для последней, также, проанализированы и показаны основные свойства.

Ключевые слова: возрастная структура, конечно-разностная модель.

Введение

Непрерывные модели возрастной структуры оперируют не с численностями отдельных групп, а с непрерывной функцией распределения организмов по возрастам.

Уравнение для плотности функции распределения было впервые получено МакКендриком в 1926 г., а затем «переоткрыто» Хайнц фон Ферстером в 1959 г.

Это уравнение представляет собой дифференциальную форму закона сохранения числа особей. В уравнении две независимых переменных: t – время и τ – возраст, который отсчитывается с момента рождения особи $n(t, \tau)d\tau$ – число особей, имеющих возраст в интервале $[\tau, \tau+d\tau]$.

Общее число особей всех возрастов в момент времени t определяется интегралом

$$N(t) = \int n(t, \tau) d\tau.$$

Уравнение МакКендрика–фон Ферстера имеет вид:

$$\frac{\partial n(t, \tau)}{\partial t} + \frac{\partial n(t, \tau)}{\partial \tau} = -k(t, \tau)n(t, \tau) \quad (1)$$

с начальным условием

$$n(0, \tau) = g(\tau).$$

Решение уравнения МакКендрика–фон Ферстера и его сопоставление с экспериментом – достаточно сложная задача. Наиболее хорошо изучены стационарные возрастные распределения числа клеток. При этом иногда удается установить однозначную зависимость возрастной структуры от характеристик среды.

Конечно-разностный аналог уравнения (1) удобнее и естественнее для проведения численных экспериментов, чем само уравнение (1).

Основные результаты работы

Пусть t – возраст популяции, τ – возраст индивидов, $y(t, \tau)\Delta\tau$ – количество особей в популяции в момент времени t , имеющих возраст в промежутке $(\tau, \tau+\Delta\tau)\Delta\tau$. Предположим, что концы промежутка лежат в отрезке $[0, \tau^*]$, а $t \in [0, t^*]$, где τ^* –

возраст индивидов, условно принятый за максимальный; t^* – время жизни популяции (первоначально величина неопределенная).

Очевидно, что общая численность популяции в момент времени t равна

$$Y(t) = \sum_0^{t^*} y(t, \tau) \Delta \tau.$$

Исследуем, как меняется возрастная структура популяции, т.е. зависимость функции $y(t, \tau)$ от второго аргумента с изменением возраста популяции t . Требование, чтобы функция $y(t, \tau)$ принимала целочисленные значения, необязательно. Предполагается, что эта функция может принимать любые действительные значения и является непрерывно дифференцируемой в прямоугольнике $[0, t^*] \times [0, \tau^*]$. В этом случае от конечно-разностной модели можно легко перейти к дифференциальной модели.

Пусть отрезок $[0, \tau^*]$ разбит точками $\tau_0, \tau_1, \dots, \tau_n$ ($0 = \tau_0 < \tau_1 < \dots < \tau_n = \tau^*$) на n равных отрезков длиной $\Delta \tau = \tau / \tau^*$. Таким образом, возрастную структуру популяции в момент времени t можно разбить на n категорий с численностями

$$y(t, \tau_i), i = 0, 1, \dots, n-1.$$

Убыль численности i -й категории популяции в момент времени t за счет смертности за время $\Delta \tau$ определяется выражением:

$$-k(\tau_i) y(t, \tau_i) \Delta \tau.$$

Положительную функцию $k(\tau)$ (коэффициент смертности) будем считать не зависящей от возраста популяции t . Ее можно задавать аналитически или брать в качестве ее значений значения статистических наблюдений.

Очевидно, что $k(\tau)$ может принимать значения от 0 до 1. Если функцию $k(\tau)$ моделировать аналитически, то следует наложить естественное ограничение

$$k(\tau^*) = 1. \quad (2)$$

Приращение численности популяции может осуществляться только за счет рождаемости, т.е. приращения численности нулевой категории. Число новорожденных в i -й категории популяции в момент времени t определяется выражением:

$$\alpha(\tau_i) y(t, \tau_i) \Delta \tau.$$

Неотрицательную функцию $\alpha(\tau)$ (коэффициент рождаемости) можно задавать аналитически или ее значения брать из экспериментальных статистических данных.

Очевидно, что если функцию $\alpha(\tau)$ задавать аналитически, то положительной она будет на промежутке $[\tau_{\text{нач}}, \tau_{\text{кон}}]$, где $\tau_{\text{нач}}, \tau_{\text{кон}}$ – соответственно начало и конец репродуктивного периода. На остальной части отрезка $[0, \tau^*]$ положим ее равной нулю. При этом будем считать $\alpha(\tau_{\text{кон}}) = 0$.

В случае конечно-разностной модели $\tau_{\text{нач}}, \tau_{\text{кон}}$ должны совпадать с двумя из значений τ_i .

Общее число новорожденных $y(t, 0)$ в конечно-разностной модели определяется суммой: $\sum_{\tau_{\text{нач}}}^{\tau_{\text{кон}}} \alpha(\tau_i) y(t, \tau_i) \Delta \tau$.

Таким образом, конечно-разностная модель эволюции возрастной структуры популяции будет иметь вид

$$y(t + \Delta\tau, \tau_{i+1}) = y(t, \tau_i) - k(\tau_i) y(t, \tau_i) \Delta\tau; \quad i = 1, 2, \dots, n-1. \quad (3)$$

Когда возраст индивидов увеличивается на $\Delta\tau$, то на тот же промежуток времени увеличивается и возраст популяции. Поэтому количество особей в $i+1$ -й категории в момент $t + \Delta\tau$ времени равно количеству особей в i -й категории популяции в момент t за исключением убыли за счет смертности за промежуток времени $\Delta\tau$. Для $i=0$ количество особей в первой категории в момент $t + \Delta\tau$ равно количеству новорожденных $y(t, 0)$ в момент времени t , т.е.

$$y(t + \Delta\tau, \tau_1) = y(t, 0). \quad (4)$$

Если положить $k(0) = 0$, то формула (3) будет включать в себя формулу (4) как частный случай.

В качестве начального условия для этой конечно-разностной модели выступает возрастное распределение в начальный момент жизни популяции $y(0, \tau)$, а точнее набор значений $y(0, \tau_i)$; $i = 1, 2, \dots, n$.

Приведем теперь дифференциальную модель того же самого явления. Преобразуем соотношение (3) к виду:

$$y(t + \Delta\tau, \tau_{i+1}) - y(t + \Delta\tau, \tau_i) + y(t + \Delta\tau, \tau_i) - y(t, \tau_i) = -k(\tau_i) y(t, \tau_i) \Delta\tau.$$

Разделив это равенство на $\Delta\tau$ и устремив $\Delta\tau$ к нулю, получим

$$\frac{\partial y}{\partial t} + \frac{\partial y}{\partial \tau} = -k(\tau) y(t, \tau). \quad (5)$$

Уравнение (5) – уравнение МакКендрика–фон Ферстера.

Аналитическое решение уравнения было получено как для случая дискретных моделей, так и для случая непрерывных, описывается в работах [2–4].

Предположим, что возрастная структура популяции не меняется со временем, тогда $\frac{\partial y}{\partial t} = 0$, в этом случае получаем обыкновенное дифференциальное уравнение с разделяющимися переменными

$$\frac{\partial y}{\partial \tau} = -k(\tau) y(t, \tau), \text{ решение, которого имеет вид}$$

$$y(\tau) = y(0) \exp\left(-\int_0^{\tau} k(\tau) d\tau\right), \text{ где количество новорожденных } y(0) \text{ определяется}$$

$$\text{формулой } y(0) = \int_{\tau_{\text{нач}}}^{\tau_{\text{кон}}} \alpha(\tau) y(\tau) d\tau.$$

Решение этого уравнения устойчиво по Ляпунову.

В случае, когда $k(\tau)$ является линейной функцией с условиями:

$$k(0) = 0; \quad k(\tau^*) = 1, \text{ т.е. } k(\tau) = \frac{\tau}{\tau^*}.$$

Решение представляет собой функцию Гаусса

$$y(\tau) = y(0) \exp\left(-\frac{\tau^2}{2\tau^*}\right). \quad (6)$$

Это решение также является устойчивым.

Далее, покажем работу конечно-разностной модели, проведя некоторые численные эксперименты.

Рассмотрим два вида популяций.

1. Стабильная популяция, т.е. популяция с уравновешенной суммарной смертностью и рождаемостью.

2. Популяция, в которой нарушена уравновешенность между суммарной смертностью и рождаемостью.

1. Популяции, в которых нарушена уравновешенность между суммарной смертностью и рождаемостью.

Пример 1. Суммарная рождаемость значительно превышает суммарную смертность.

Нас интересует качественная картина изменения структуры популяции с ростом t . Для простоты проведения расчетов примем:

– репродуктивный период: $\tau_{\text{нач}} = 20, \tau_{\text{кон}} = 60$;

– максимальный возраст $\tau^* = 100$.

Коэффициенты $k(\tau)$ и $\alpha(\tau)$ выберем таким образом, чтобы суммарная рождаемость значительно превысила суммарную смертность:

$$k(\tau) = 10^{-4} \tau^2,$$

$$\alpha(\tau) = 2 \left(\left(\frac{\tau - 20}{40} \right)^4 - 2 \left(\frac{\tau - 20}{40} \right)^2 + 1 \right).$$

Возрастное распределение в начальный момент жизни популяции y_{0, τ_i} будет иметь вид, представленный на рисунке (определяется гауссовым устойчивым решением (6)), где $y_{0, \tau_i}, i = 1, 2, \dots, (n-1)$ – набор значений.

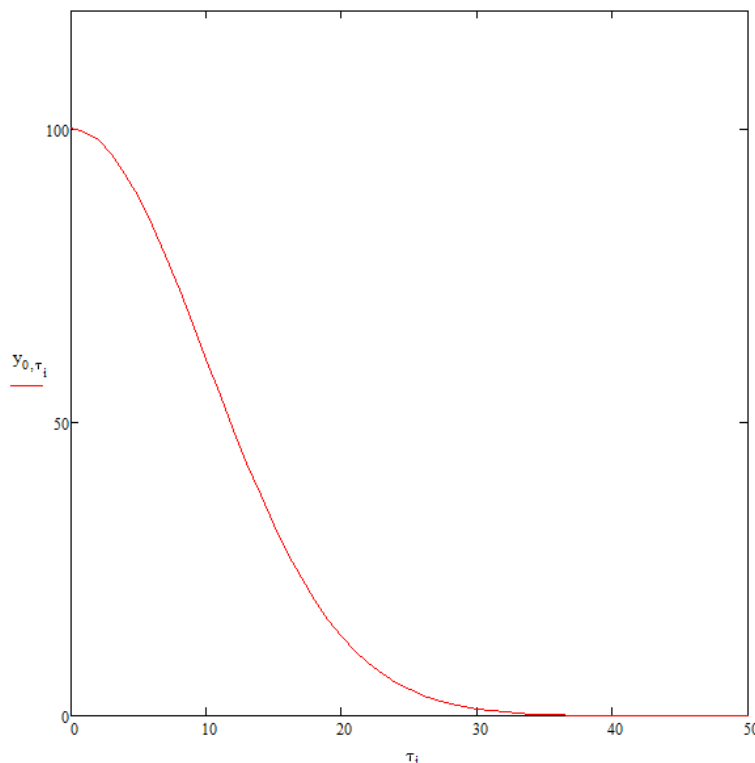


Рисунок. Возрастная структура изолированной популяции в момент времени $t = 0$

Тогда решение будет следующим.

В $t=1$ году наблюдается резкое увеличение числа новорожденных у особей репродуктивного возраста. Этот всплеск смещается по кривой.

В каждый последующий год наблюдается резкое увеличение числа новорожденных особей.

Так как суммарная смертность практически не влияет на суммарную рождаемость, число особей в популяции неограниченно растет, возрастная структура приобретает

значительные различия по сравнению с начальным распределением.

Аналогичным образом можно рассмотреть случай, когда суммарная смертность значительно превышает суммарную рождаемость.

Решение будет аналогично решению в примере 1 с разницей в том, что там наблюдались всплески новорожденных, а в данном случае – провалы.

Так как суммарная рождаемость практически не влияет на суммарную смертность, число особей в популяции резко сокращается, но возрастная структура принимает вид, аналогичный начальному распределению.

2. Стабильная популяция.

Пример 2. Линейные коэффициенты смертности и рождаемости.

Для проведения расчетов примем те же условия, что и в примере 1.

$$k(\tau) = \frac{\tau}{100}, \quad \alpha(\tau) = \frac{1}{\int_{20}^{60} e^{-\frac{\tau^2}{200} \left(-\frac{\tau}{40} + \frac{3}{2}\right)} \left(-\frac{1}{40}\tau + \frac{3}{2}\right)}.$$

Предполагаем, что коэффициент рождаемости изменяется по линейному закону и удовлетворяет условию (2). Числовой коэффициент перед скобкой с линейной функцией подбирается так, чтобы суммарная смертность в популяции в начальный момент уравнивалась рождаемостью.

Тогда решение будет выглядеть так.

В $t=1$ году наблюдается изменение графика относительно распределения в начальный момент времени. Появившийся пик связан с появлением новорожденных у особей репродуктивного возраста.

С течением времени этот пик смещается и сглаживается.

В $t=21$ году снова появляется всплеск новорожденных, вызванный увеличением числа особей репродуктивного возраста, привнесенных пиком, появившимся в $t=1$ году, который также с течением времени начинает смещаться и сглаживаться.

Эти изменения будут повторяться с периодом $T = \tau_{\text{нач}}$ (время, необходимое для того, чтобы новорожденная особь достигла репродуктивного возраста).

В рассматриваемом примере $T = 20$ лет.

Важно отметить, что каждый новый пик будет меньше предыдущего. Впоследствии, эти изменения станут незначительными, и график возрастного распределения будет иметь вид, близкий к начальному распределению.

3. Далее покажем, что решение является устойчивым относительно вносимых изменений в коэффициент рождаемости.

Пример 3. Всплески рождаемости.

В рассмотренном примере 1, только для $t=5$ года увеличим рождаемость в полтора раза:

$$\alpha(\tau) = \frac{1,5}{\int_{20}^{60} e^{-\frac{\tau^2}{200} \left(-\frac{\tau}{40} + \frac{3}{2}\right)} \left(-\frac{1}{40}\tau + \frac{3}{2}\right)}.$$

Аналогично решению примера 1, в $t=1$ году наблюдается изменение графика относительно начального распределения.

Но в $t=5$ году, благодаря внесенному всплеску рождаемости, появляется еще один пик.

В $t=21$ году снова появляется всплеск новорожденных, вызванный увеличением числа особей репродуктивного возраста. Увеличение числа особей происходит благодаря пику, возникшему в $t=1$ году.

В $t=25$ году появляется пик, вызванный изменением числа новорожденных в

$t = 5$ году.

Эти изменения будут повторяться с периодом $T = \tau_{\text{нач}}$.

В рассматриваемом примере $T = 20$ лет.

Отметим, что в промежутки времени между появлением новых всплесков, предыдущие начинают сглаживаться, это приводит к тому, что каждый новый пик будет меньше предыдущего. Впоследствии, эти изменения станут незначительными, и график возрастного распределения будет иметь вид, близкий к начальному распределению.

4. Аналогичным образом, можно продемонстрировать, как исчезают провалы на возрастной кривой (демографические ямы).

Пример 4. Демографические ямы.

При тех же условиях, что и в примере 1, для $t = 5$ года вдвое уменьшим рождаемость

$$\alpha(\tau) = \frac{0,5}{\int_{20}^{60} e^{-\frac{\tau^2}{200}} \left(-\frac{\tau}{40} + \frac{3}{2}\right)} \left(-\frac{1}{40}\tau + \frac{3}{2}\right).$$

На графике, представляющем возрастную структуру данной популяции, в $t = 1$ году появится пик, который с течением времени будет смещаться по кривой и сглаживаться.

При этом остальные возникшие изменения будут аналогичны изменениям, вызванным краткосрочным увеличением рождаемости. Разница будет заключаться в том, что в примере 3 наблюдались пики рождаемости, а в данном случае – демографические ямы.

Заключение

Таким образом, данная конечно-разностная модель, позволяет описать возрастную структуру изолированной популяции, проанализировать и показать основные свойства стабильных и нестабильных популяций.

Введенная конечно-разностная модель для случая стабильной популяции и устойчивого гауссова начального распределения действительно дает устойчивые решения, и в случае, когда нет существенных изменений в суммарных смертности или рождаемости, количество особей в популяции сохраняется, т.е. популяция является стационарной.

В дальнейшем, данную модель планируется обобщить для случая двух взаимодействующих популяций, и, с помощью нее, описать и проанализировать возрастную структуру двух конкурирующих популяций.

Литература

1. Ковалева М.О. Модель возрастной структуры изолированной популяции // Труды студенческого центра прикладных математических исследований. Сборник статей / Под ред. И.Ю. Попова. – СПб: НИУ ИТМО. – 2011. – С. 23–35.
2. Таба Леон. Взаимосвязи между возрастной структурой, плодовитостью, смертностью и миграцией. Воспроизводство и обновление населения. Демографические модели // Сборник статей под ред. и с предисл. Андреева Е.М., Волкова А.Г. – М.: Статистика. – 1977. – С. 182.
3. Trucco E. Mathematical Models for Cellular Systems. The von Foerster Equation. Part I // Bulletin of Mathematical Biophysics. – 1965(a). – V. 27. – № 3. – P. 285–304.
4. Trucco E. Mathematical Models for Cellular Systems. The von Foerster Equation. Part II // Bulletin of Mathematical Biophysics. – 1965(b). – V. 27. – № 3. – P. 449–472.

УДК 681.51

ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЙ АЛГОРИТМ ОЦЕНИВАНИЯ ЧАСТОТ МУЛЬТИГАРМОНИЧЕСКОГО СИГНАЛА

А.А. Лосенков, Л.В. Никифорова

Научный руководитель – к.т.н., доцент А.А. Пыркин

Статья посвящена разработке дифференциального алгоритма оценивания частоты мультигармонического сигнала, представляющего собой сумму нескольких синусоидальных функций времени. В работе рассматривается алгоритм идентификации частот, позволяющий оценить частоту каждой гармоники.

Ключевые слова: идентификация, мультигармонический сигнал.

Введение

Задача идентификации параметров неизвестных гармонических сигналов является важной задачей теории управления, во многих инженерных задачах [1] встречаются возмущающие воздействия, имеющие подобную структуру. Определив параметры этих гармоник, можно построить алгоритм их компенсации. Актуальность подобных исследований подтверждается большим числом работ, посвященных идентификации неизвестной частоты синусоидальной функции [1–8]. Во многих работах (например, [1–6]) исследуются сигналы, состоящие из одной гармоники. Так же активно исследуются мультигармонические сигналы (например, [7, 8]).

В данной работе предложен алгоритм, позволяющий идентифицировать частоты мультигармонического сигнала. В отличие от [2, 7, 8], используется подход, позволяющий проводить идентификацию большого числа гармоник без заметного усложнения алгоритма.

Постановка задачи

Рассмотрим сигнал вида

$$y(t) = \sum_{i=1}^k \mu_i \sin(\omega_i t + \phi_i) \quad (1)$$

представляющий собой сумму k гармоник с частотами ω_i , амплитудами μ_i и начальными фазами ϕ_i , которые являются неизвестными; $i = \overline{1, k}$ – номер гармоники.

Ставится задача определения частот ω_i сигнала (1).

Синтез алгоритма

Введем в рассмотрение фильтр вида

$$\xi(s) = \frac{ks}{T^2 s^2 + 2\nu Ts + 1} y(s), \quad (2)$$

где k – коэффициент усиления; T – постоянная времени; $\nu \in (0; 1)$ – коэффициент затухания.

Фильтр (2) имеет определенную полосу пропускания, которая может быть охарактеризована логарифмической амплитудной характеристикой. Пример такой характеристики представлен на рис. 1. Как видно из рисунка, логарифмическая амплитудно-частотная характеристика фильтра (2) имеет явный максимум, соответствующий точке на оси частот, определяемой выражением

$$\omega_p = \frac{1}{T}. \quad (3)$$

Таким образом, амплитуды гармоник с частотам ω_i , близкими к ω_p , будут усиливаться, в то время как амплитуды гармоник с частотами ω_i , лежащими далеко от резонансной частоты, будут подавляться.

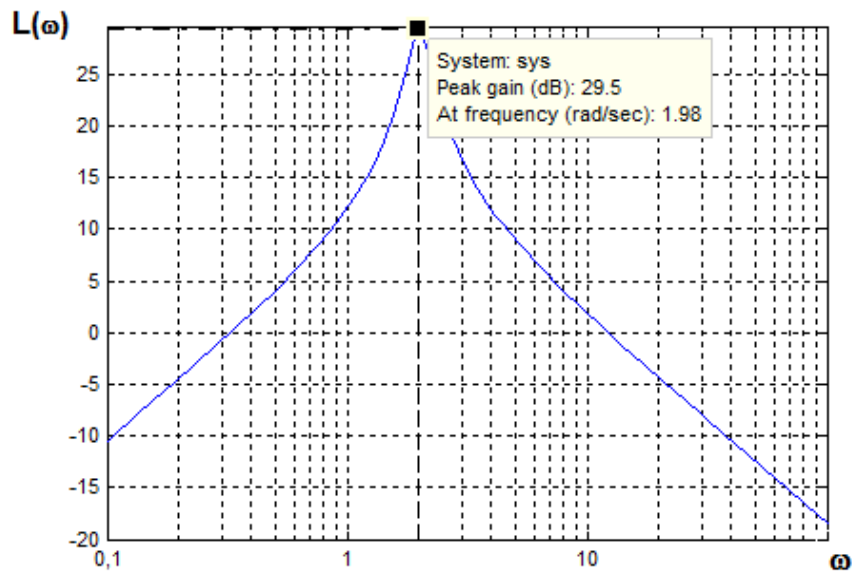


Рис. 1. Логарифмическая амплитудная характеристика фильтра при $T=0,5$ с, $k=3$, $\nu=0,1$

Это означает, что, задавая значение постоянной времени T такой, чтобы $\omega_p = \omega_i$, мы сможем выделить соответствующую этой частоте гармонику сигнала (1), так как ее амплитуда вследствие резонанса заметно вырастает, в то время, как амплитуды других гармоник, подавленные фильтром, оказывают незначительное влияние на сигнал и могут трактоваться как шум.

Рассмотрим входной сигнал вида

$$y(t) = y_1(t) + y_2(t), \quad (4)$$

где

$$y_1(t) = 5 \sin(1,2t + 2) \quad (5)$$

$$y_2(t) = 6 \sin(3,1t + 4) \quad (6)$$

гармоникам (5) соответствуют частоты

$$\omega_1 = 1,2 \text{ рад/с} \quad (6)$$

$$\omega_2 = 3,1 \text{ рад/с.}$$

Будем подавать сигнал (4) на вход фильтра (2) при разных значениях постоянной времени $T = [0,1; 0,25; 0,32; 0,5]$. Результаты моделирования представлены на рис. 2.

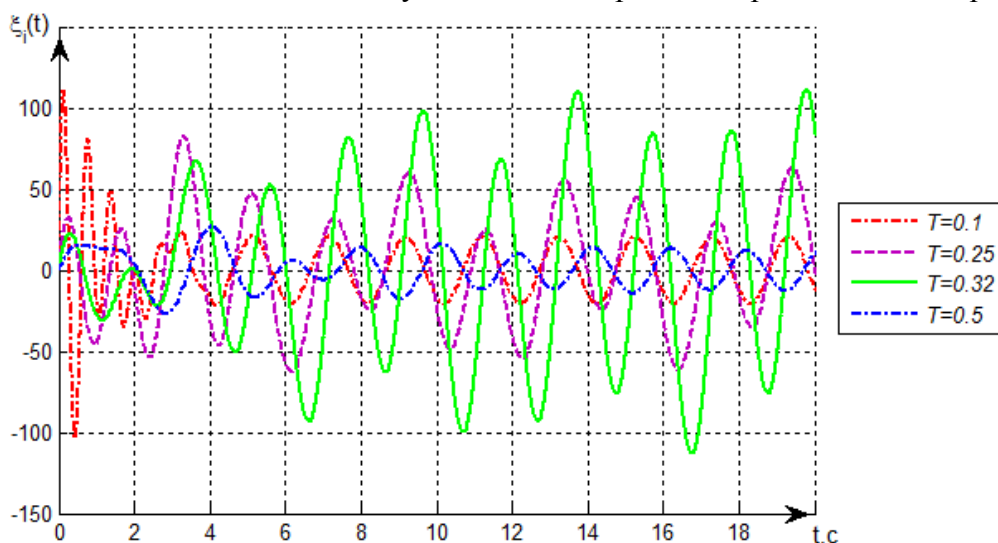


Рис. 2. Фрагменты временных диаграмм выходных сигналов фильтра (2) при различных значениях постоянной времени T

Поначалу, при увеличении значения T , амплитуда выходного сигнала так же увеличивается. После прохождения значения $T = 0,32$ с, амплитуда выходного сигнала уменьшилась. Следовательно, вблизи соответствующей данной T частоты (в соответствии с (3)) расположена частота одной из гармоник.

$$\omega_p = \frac{1}{0,32} = 3,12 \text{ рад/с}. \quad (7)$$

Сравнивая полученное значение частоты с (6) обнаруживаем, что максимальная амплитуда была достигнута при близости к частоте второй гармоники ω_2 .

Для более точного определения частот гармоник проведем моделирование, изменяя постоянную времени $T \in (0, 4)$ с шагом $\Delta T = 0,01$ с.

Результаты моделирования, представлены на рис. 3.

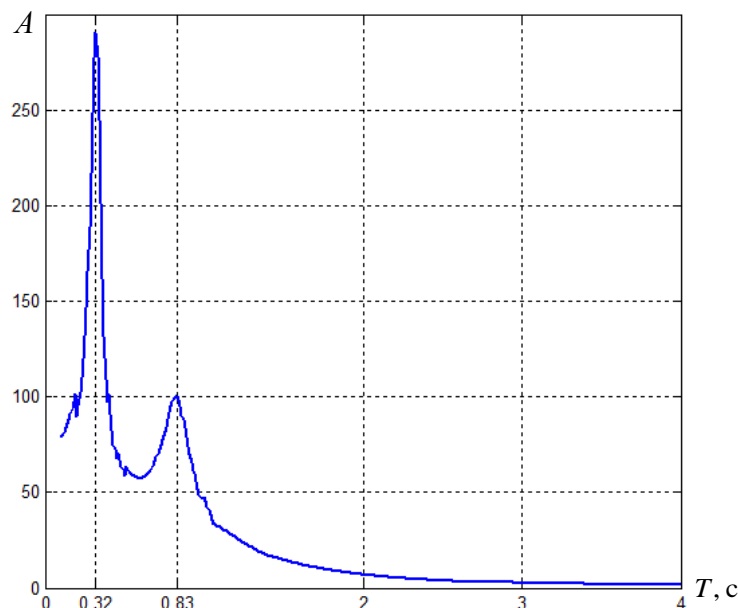


Рис. 3. Зависимость максимальной амплитуды выходного сигнала фильтра (2) от постоянной времени T при двух гармониках

Изображенный на этом рисунке график представляет собой совокупность точек, каждая из которых является максимальным значением выходного сигнала (2) при своем значении T_i , т.е. в каждой итерации определяется максимальное значение $\xi(t)$, откладываемое на рис. 3 по оси ординат (по оси абсцисс – T_i).

Таким образом, анализируя рис. 3, определяем значения T_i , при которых наблюдались наибольшие скачки

$$T_1 = 0,32 \text{ с} \rightarrow \frac{1}{T_1} = 1,2 \text{ рад/с} = \omega_1 \quad (8)$$

$$T_2 = 0,83 \text{ с} \rightarrow \frac{1}{T_2} = 3,1 \text{ рад/с} = \omega_2.$$

При сравнении (8) и (6) видно, что частоты обеих гармоник определены довольно точно.

Данный алгоритм так же способен идентифицировать и большее число гармоник. Выберем в качестве входного сигнала

$$y(t) = 8 \sin(0,5t + 2) + 1 + 2 \sin(3t + 1) + 3 + 4,5 \sin(1,33t) + 15 \sin(0,28t) + 4 \sin(1,33t). \quad (9)$$

Проведя аналогичную процедуру, получим следующие результаты моделирования

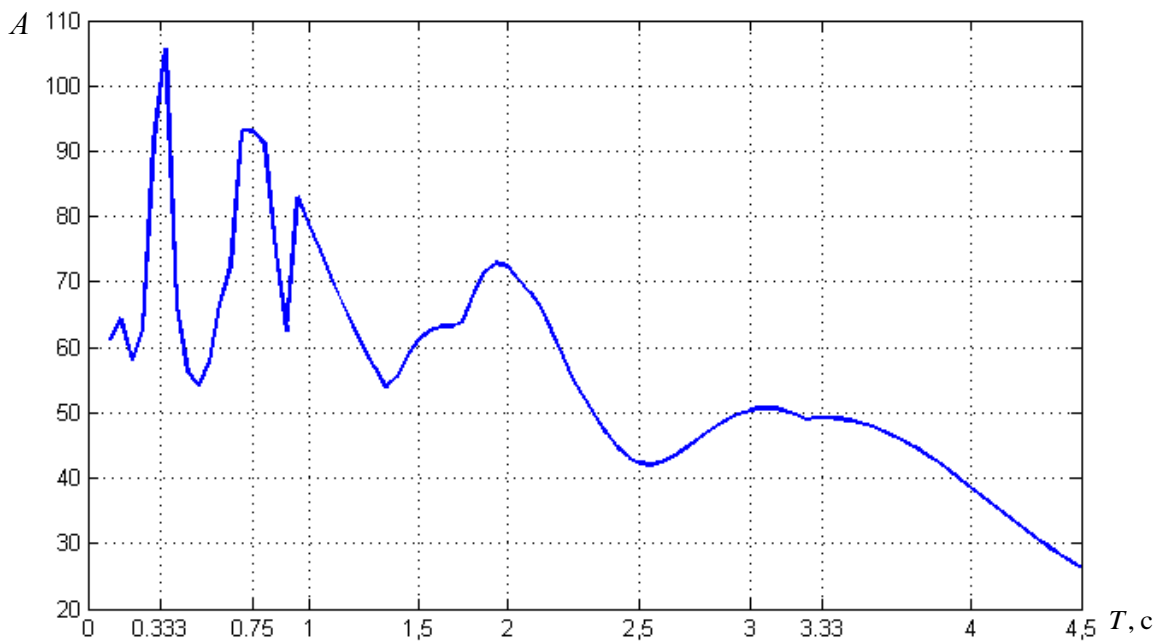


Рис. 4. Зависимость максимальной амплитуды выходного сигнала фильтра (2) от постоянной времени T при пяти гармониках

Из рис. 4 видно, что всплески максимальной амплитуды соответствуют значениям постоянной времени

$$T_1 = 2 \text{ с} \rightarrow \omega_1 = 1/2 = 0,5 \text{ рад/с}$$

$$T_2 = 0,33 \text{ с} \rightarrow \omega_2 = 1/0,33 = 3 \text{ рад/с}$$

$$T_3 = 0,75 \text{ с} \rightarrow \omega_3 = 1/0,75 = 1,33 \text{ рад/с} \quad (10)$$

$$T_4 = 3,33 \text{ с} \rightarrow \omega_4 = 1/3,33 = 0,3 \text{ рад/с}$$

$$T_5 = 1,33 \text{ с} \rightarrow \omega_5 = 1/1,33 = 0,75 \text{ рад/с.}$$

Таким образом, при помощи дифференциального алгоритма удалось определить число гармоник и их частоты.

Заключение

В данной работе предложен дифференциальный алгоритм оценивания частот мультигармонического сигнала, представляющего собой сумму гармоник с неизвестными параметрами. Установлено, что алгоритм позволяет выделять из выходного спектра гармоники и определять их частоту.

Литература

1. Никифоров В.О., Гутнер И.Е., Сергачев И.В. Система активной виброзащиты: разработка, результаты испытаний и перспективы развития // Мехатроника, автоматизация и управление. – 2004. – № 2. – С. 13–22.
2. Пыркин А.А. Методы адаптивного и робастного управления в условиях запаздывания и возмущающих воздействий: дис. канд. техн. наук: 05.13.01: защищена 19.10.10. – СПб, 2010. – 151 с.: ил. РГБ ОД, 61 10-5/3222.
3. Бобцов А.А., Кремлев А.С. Адаптивная идентификация частоты смещенного синусоидального сигнала // Изв. вузов. Приборостроение. – 2005. – № 4. – С. 22–26.
4. Marino R. and Tomei R. Global Estimation of Unknown Frequencies // IEEE Transactions on Automatic Control. – 2002. – V. 47. – P. 1324–1328.

5. Xia X. Global Frequency Estimation Using Adaptive Identifiers // IEEE Transactions on Automatic Control. – 2002. – V. 47. – P. 1188–1193.
6. Hou M. Amplitude and frequency estimator of a sinusoid // IEEE Transactions on Automatic Control. – 2005. – V. 50. – P. 855–858.
7. Bobtsov A., Lyamin A., Romasheva D. Algorithm of parameter's identification of polyharmonic function // 15 th IFAC World Congress on Automatic Control. Barcelona, Spain. – 2002.
8. Бобцов А.А., Колюбин С.А., Пыркин А.А. Компенсация неизвестного мультигармонического возмущения для нелинейного объекта с запаздыванием по управлению // АиТ. – 2010. – № 11. – С. 136–148.

УДК 330.131

МЕХАНИЗМ ПОСТОЯННОГО УЛУЧШЕНИЯ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ

А.И. Мидянка

(Владимирский государственный университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых)

Научный руководитель – к.э.н., доцент М.В. Сивякова

(Владимирский государственный университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых)

В данном исследовании рассмотрен японский метод калькулирования «кайдзен-костинг», с помощью которого достигается целевой уровень затрат. Представлен алгоритм функционирования исследуемой системы на предприятии.

Ключевые слова: «кайдзен-костинг», «кайдзен», целевая себестоимость.

В течение длительного периода времени мы наблюдаем, как последовательно японская экономика выходит на мировой уровень и начинает предоставлять потребителю продукцию, не имеющую аналогов по качеству и при этом с невысокими издержками. Все это результат внедрения метода калькулирования «кайдзен-костинг».

Актуальность данного исследования заключается в снижении затрат без влияния на качество продукции с помощью метода «кайдзен-костинг».

Цель – введение «кайдзен-костинг» в России.

В соответствии с этим ставятся следующие задачи:

- раскрытие понятия кайдзен-костинг;
- построение алгоритма рассматриваемой системы.

Объектом является метод «кайдзен-костинг».

В основе метода «кайдзен-костинг» лежит система «кайдзен». Слово «кайдзен» в переводе с японского языка означает «улучшение, усовершенствование маленькими шагами» [3]. Целью «кайдзен» является усовершенствование деятельности компании или ее отдельных подразделений с помощью внутренних резервов, без привлечения крупных инвестиций извне. Согласно данной философии сотрудники компании должны осознать необходимость снижения затрат и повышение эффективности работы так же хорошо, как и ее руководство, и действовать исходя из этого. Как говорил опытный «убийца расходов» Карлос Гон: «Нужно прислушиваться к тому, что говорят люди, причем не только когда они докладывают тебе о текущих делах. Нужно действовать быстро: поставил диагноз – сразу принимай меры. Нужно наделять, как можно больше людей правом принимать решения. Нужно поощрять людей. Наконец, нужно руководить ими».

В основе процесса «кайдзен» лежит цикл «планируй-делай-проверяй-воздействуй», который обеспечивает непрерывность системы в достижении поддержания и совершенствования стандартов.

Планируй, предполагает, что должны быть установлены цели для

совершенствования и намечены планы действий для их достижения. Делай – относится к реализации плана. Проверь – относится к определению того, оставило ли внедрение след и привело ли к запланированному улучшению. Воздействуй – относится к построению и стандартизации новых процедур, призванных предотвратить повторение первоначальной проблемы или установить цели для новых улучшений. Данный цикл постоянно возобновляется: как только происходит улучшение, результат процесса превращается в объект дальнейшего совершенствования [5].

Из вышесказанного можно сказать, что «кайдзен» – процесс решения проблем. Подобное понимание «кайдзен» доминировало до середины 1990-х годов, в последующем Ясухиро Монден ввел понятие «кайдзен-костинг» как подхода. В изложении Мондена «кайдзен-костинг» впервые приобретает форму инструмента, способствующего снижению себестоимости продукции и тесно связанного с системой управления затратами в компании. Таким образом, «кайдзен» – это философия постепенного усовершенствования качества и бизнес-процессов, а «кайдзен-костинг» – инструмент снижения затрат, который используют менеджеры для эффективного достижения целевой себестоимости и обеспечения прибыльности производства.

«Кайдзен-костинг» является системой управленческого учета, олицетворяющей японский подход к управлению и планированию. Он нацелен на решение задачи минимизации издержек и решает эту задачу на производственной стадии [1].

Часто «кайдзен-костинг» принимают за систему, основанную на учете нормативных затрат, однако он не имеет к ней никакого отношения. Главное в «кайдзен-костинге» – не поддержание производства в стабильном состоянии в соответствии со стандартами, а постоянное усовершенствование ключевых процессов так, чтобы издержки на этих процессах непрерывно снижались. «Кайдзен-костинг» сокращает затраты, требуя изменение методов производства уже существующей продукции.

«Кайдзен-костинг» можно разделить на две основные категории. Первая включает действия направленные на совершенствование направленной работы (если после трехмесячного выпуска нового товара разница между сметной и целевой себестоимостью все еще остаются существенными). Вторая включает непрерывные действия, направленные на уменьшение любого разрыва между целевыми и ожидаемыми затратами и таким образом можно достичь величины «допустимых затрат» [4].

При снижении себестоимости выделяется «кайдзен-задача». «Кайдзен-задача» – это сокращение разницы между сметной и целевой себестоимостью.

«Кайдзен-задача» определяется на этапе планирования производства на следующий финансовый год, как на уровне каждого изделия, так и для организации в целом по отдельным статьям переменных затрат.

Постоянные затраты подсчитываются по отдельным подразделениям и группируются в специальные бюджеты.

Используя данные «кайдзен-задачи» и бюджеты постоянных затрат, специалисты составляют годовой бюджет организации.

«Кайдзен-задача» касается всего персонала организации, и ее выполнение должным образом поощряется [2].

Основную роль в применении данной системы играет ее эффективность. Эффект может оказаться как положительным, если результат приближается к идеальному состоянию, т.е. к нашим целевым затратам и соответствует системе ограничений, так и отрицательным, если не удастся выбранными средствами достичь цели или удастся, но невозможно при этом соблюсти систему ограничений. Положительный эффект от данного метода будет в любом случае, но на это потребуется значительное время (рисунок).

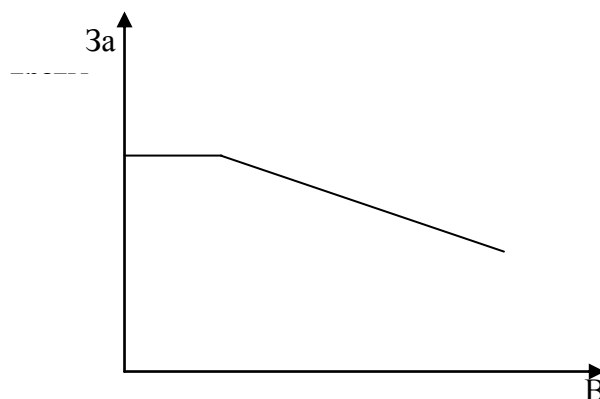


Рисунок. Эффект от внедрения «кайдзен-костинг»

Из построенной схемы видно, что со временем достигаются минимальные затраты, которые стандартизируются и затем снова изменяются в сторону понижения.

Отсюда можно сказать, что в основе идеологии «кайдзен-костинг» лежит методичное, постепенное и долгосрочное совершенствование всех составляющих бизнес-элементов. Внедрение этой системы может дать видимый эффект только через несколько лет. Поэтому предприятиям, которые стремятся внедрить данную систему нужно набраться терпения и эффект оправдает все ожидания.

Литература

1. Троян И. Target Costing и Kaizen Costing. – [Электронный режим]. – Режим доступа: <http://www.quality.eur.ru>, своб.
2. Герасимова Л. Управленческий учет: теория и практика / Под ред. В.П. Кузнецова. – М.: Феникс, 2011 – 512 с.
3. Редченко К. Маленькими шагами к большому успеху: Кайдзен-костинг. – 2011. – [Электронный режим]. – Режим доступа: <http://www.management.com>, своб.
4. Монден Я. Система менеджмента Тойоты / Пер. с англ. – М.: Институт комплексных стратегических исследований, 2007. – 216 с.
5. Масааки Имаи. Кайдзен: Ключ к успеху японских компаний. – М.: Альпина Паблишер, 2011. – 274 с.

УДК 608.2

МЕТОДЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ КОНТРОЛЯ СОДЕРЖАНИЯ ДИОКСИДА СЕРЫ В ПРИЗЕМНОМ СЛОЕ АТМОСФЕРЫ ГОРОДОВ

Ю.М. Никифорова

Научный руководитель – к.т.н., профессор Л.А. Конопелько

Рассмотрена необходимость уменьшения погрешности газоанализаторов для контроля одного из приоритетных загрязнителей атмосферы – диоксида серы. Проведен анализ структуры погрешности газоанализатора и определены способы ее уменьшения. Также проведен анализ структуры погрешности средств метрологического обеспечения. Расчетным методом установлена возможность изготовления средств поверки газоанализаторов с улучшенными метрологическими характеристиками.

Ключевые слова: диоксид серы, точность измерений, погрешность, метрологическое обеспечение.

Введение

Газоаналитические измерения играют важную роль во многих областях национальной экономики: в энергетической, нефтегазовой, химической промышленности, а также в социальных: здравоохранение, техносферная безопасность и т.д.

За последнее время увеличилась потребность в газоаналитических приборах для контроля загрязняющих веществ, в т.ч. для одного из приоритетных загрязнителей – диоксида серы, в атмосферном воздухе городов.

В настоящее время контроль содержания диоксида серы – одного из приоритетных загрязнителей атмосферного воздуха осуществляется при помощи газоанализаторов, основанных на флуоресцентном методе.

Проблема исследования заключается в осуществлении выполнения требований ГОСТ 17.2.4.02-81 «Охрана природы. Атмосфера. Общие требования к методам определения загрязняющих веществ» при контроле диоксида серы в атмосферном воздухе предельно допустимая концентрация в пределах от 0,8 до 10 с суммарной погрешностью не более 25% во всем диапазоне измеряемых концентраций (в условиях эксплуатации) [1].

Актуальность решения проблемы для науки и практики измерений состоит в повышении достоверности данных, получаемых при контроле диоксида серы в атмосферном воздухе.

Цель исследования состоит в обосновании возможности повышения точности измерений при контроле одного из приоритетных загрязнителей атмосферы – диоксида серы.

Постановка задачи

Для газоанализаторов диоксида серы, допущенных в настоящее время к применению, в соответствии с ГОСТ 50760-95 «Анализаторы газов и аэрозолей для контроля атмосферного воздуха» нормированы отдельно пределы допускаемой основной погрешности в нормальных условиях эксплуатации (20°C и 760 мм рт. ст.) и пределы допускаемых дополнительных погрешностей, вызванных изменением влияющей величины (температуры, неизмеряемых компонентов) от влияющих факторов в пределах условий эксплуатации.

Нормы влияния других влияющих величин (изменение относительной влажности, атмосферного давления, напряжения и частоты переменного тока и т.д.) в соответствии с ГОСТ 50760-95 не устанавливаются, так как дополнительная погрешность в пределах условий эксплуатации не превышает 0,2 долей от пределов допускаемой основной

погрешности.

Расчет суммарной относительной погрешности газоанализатора в условиях эксплуатации приводится с учетом нормированных основной и дополнительных погрешностей.

Пределы суммарной относительной погрешности результата измерения газоанализатора в условиях эксплуатации (без учета знака) δ^{py} , %, находят по формуле

$$\delta^{py} = 1,1 \cdot \sqrt{(\delta_o)^2 + (\delta_T^{py})^2 + (\delta_{нк}^{py})^2}, \quad (1)$$

где δ_o – пределы допускаемой основной относительной погрешности, нормированные по результатам испытаний в целях утверждения типа газоанализаторов, %; δ_T^{py} – пределы допускаемой дополнительной погрешности, вызванной изменением температуры на каждые 10°C в пределах условий эксплуатации $10\text{--}35^\circ\text{C}$, %; $\delta_{нк}^{py}$ – пределы допускаемой суммарной дополнительной погрешности, вызванной изменением неизмеряемых компонентов в пределах условий эксплуатации, %.

Рассчитанные по формуле (1) пределы суммарной относительной погрешности результата измерения газоанализатора в условиях эксплуатации составили 41%, что не соответствует требованиям ГОСТ 17.2.4.02-81.

Уменьшение указанной суммарной погрешности в условиях эксплуатации до 25% можно осуществить путем уменьшения основной погрешности газоанализатора, в которую входит погрешность средств метрологического обеспечения.

Расчетным методом установлено новое значение основной относительной погрешности, которое составило 16,3%. Таким образом, для выполнения требований по погрешности в условиях эксплуатации 25% пределы допускаемой основной относительной погрешности должны быть 15–16%. Далее принимаем значение норматива равным 15%.

Анализ структуры погрешности средств метрологического обеспечения

Для проведения поверки газоанализаторов диоксида серы могут быть использованы: стандартные образцы состава – газовые смеси диоксида серы в баллонах под давлением, динамические и термодиффузионные генераторы газовых смесей, при помощи которых получают поверочные газовые смеси (ПГС).

В соответствии с ГОСТ 50760-95 запас по точности, определяемый отношением погрешности, с которой установлено содержание компонентов в ПГС, к пределу допускаемой основной погрешности газоанализатора, должен быть не менее $1/3$ [2]. В обоснованных случаях допускается увеличение этого отношения до $1/2$.

1. Раньше для газоанализаторов диоксида серы указанное соотношение составляло $25/(2\text{--}2,5\text{--}3) \rightarrow 12\%$ (максимальное значение погрешности средств поверки).
2. Для уменьшения основной погрешности газоанализатора соотношение должно составлять $16,3/(2\text{--}2,5\text{--}3) \rightarrow 8\%$ (максимальное значение погрешности средств поверки).

Таким образом, погрешность средств поверки, соответствующая требованиям ГОСТ 50760-95 и нормативу 15% в диапазоне измерений газоанализаторов от $0,02$ до 2 млн^{-1} , должна удовлетворять новым требованиям и составлять 7–5%.

В соответствии с поверочной схемой, приведенной в ГОСТ 8.578-2008, передача единицы молярной доли SO_2 осуществляется от первичной эталонной газовой смеси (ПЭГС) к ГС – эталону сравнения (ЭС) и далее к ГС – рабочему эталону (РЭ) 1-го разряда [3]. На рисунке представлена локальная поверочная схема для метрологического обеспечения измерительных задач на SO_2 в атмосфере на основе государственной поверочной схемы для средств измерений содержания компонентов в газовых средах [5].

В соответствии с поверочной схемой, приведенной в ГОСТ 8.578-2008, передача единицы молярной доли SO_2 осуществляется от ПЭГС к ГС – ЭС и далее к ГС – РЭ 1-го разряда [3]. На рисунке представлена локальная поверочная схема для метрологического обеспечения измерительных задач на SO_2 в атмосфере на основе государственной поверочной схемы для средств измерений содержания компонентов в газовых средах [5].

В соответствии с указанной схемой уменьшение погрешности газоанализаторов возможно при использовании ГС SO_2 в воздухе в баллоне с содержанием от $0,02$ до 2 млн^{-1} – РЭ 1-го разряда с погрешностью не более 6%.

Указанную погрешность можно получить, используя при аттестации ГС в баллоне – ЭС с погрешностью 5,5%, для аттестации которого в свою очередь необходима ГС в баллоне – ПЭГС с погрешностью 3,5%.

Приготовление ГС с новыми характеристиками было подтверждено расчетным методом.

Таким образом, осуществится прослеживаемость при передаче единицы молярной доли и массовой концентрации в соответствии с новыми требованиями к средствам поверки.

Для поверки газоанализаторов помимо стандартных образцов состава (ГСО) – ПГС в баллонах под давлением могут быть использованы динамические и термодиффузионные генераторы газовых смесей.

Уменьшение погрешности динамического генератора до 7–5%, вместо существующих на данный момент 12–5%, возможно за счет уменьшения составляющих погрешности, т.е. при использовании:

- в качестве газа-разбавителя – нулевого газа (воздуха) с содержанием SO_2 $0,0005 \text{ млн}^{-1}$ ($\sim 0,001 \text{ мг/м}^3$), вместо существующих на сегодняшний день $0,001 \text{ млн}^{-1}$ ($\sim 0,005 \text{ мг/м}^3$) по ТУ 6-21-5-82 [6];
- в качестве исходного газа – стандартного образца – ГС SO_2/N_2 с объемной долей 10 млн^{-1} и меньшей погрешностью аттестации – 2%, которая позволяет путем разбавления на генераторе получать ГС в диапазоне измерений газоанализатора ($0,02$ – 2) млн^{-1} ($0,1$ – 5 мг/м^3).

Аттестацию указанной ГС в баллоне – РЭ 0-го разряда, которая в настоящее время в ТУ 6-16-2956-92 отсутствует, нужно проводить с погрешностью 2% [7].

Для этого необходимо использовать ГС в баллоне – ЭС с погрешностью 1,5%, эту погрешность можно достигнуть при условии использования при ее аттестации ГС в баллоне – ПЭГС с погрешностью 0,8%.

Расчетным методом подтверждена возможность приготовления данных смесей.

При использовании термодиффузионного генератора в комплекте с источниками микропотоков (ИМ) SO_2 , в соответствии с поверочной схемой, приведенной в ГОСТ 8.578-2008, передача единицы молярной доли SO_2 осуществляется от первичного эталонного источника микропотоков (ПЭИМ) к ИМ – ЭС и далее к ИМ – РЭ 1-го разряда [3].

Уменьшение погрешности термодиффузионного генератора до 7–5%, вместо существующих на данный момент 12–6%, возможно за счет уменьшения составляющих погрешности, т.е. при использовании:

- в качестве газа-разбавителя – нулевого газа (воздуха) с содержанием SO_2 $0,0005 \text{ млн}^{-1}$ ($\sim 0,001 \text{ мг/м}^3$), вместо существующих на сегодняшний день $0,001 \text{ млн}^{-1}$ ($\sim 0,005 \text{ мг/м}^3$) по ТУ 6-21-5-82 [6];
- в качестве источников микропотоков – ИМ диоксида серы с производительностью ($0,1$ – 5) мкг/мин и относительной погрешностью аттестации (5–3)%, которые в настоящее время в технических условиях ИБЯЛ.418319.013 ТУ отсутствуют [4].

В соответствии с новыми требованиями погрешность аттестации ИМ РЭ 1-го

разряда с производительностью (0,1–5) мкг/мин должна быть 5–3%. Указанная погрешность может быть достигнута путем использования ИМ – ЭС с погрешностью не более 3–2%, при аттестации которого используется ПЭИМ с погрешностью не более 1,5–1%. Изготовление таких ИМ также было подтверждено расчетным методом.

Выполнение вышеуказанных условий позволит уменьшить погрешность средств поверки в соответствии с новыми требованиями к ним.

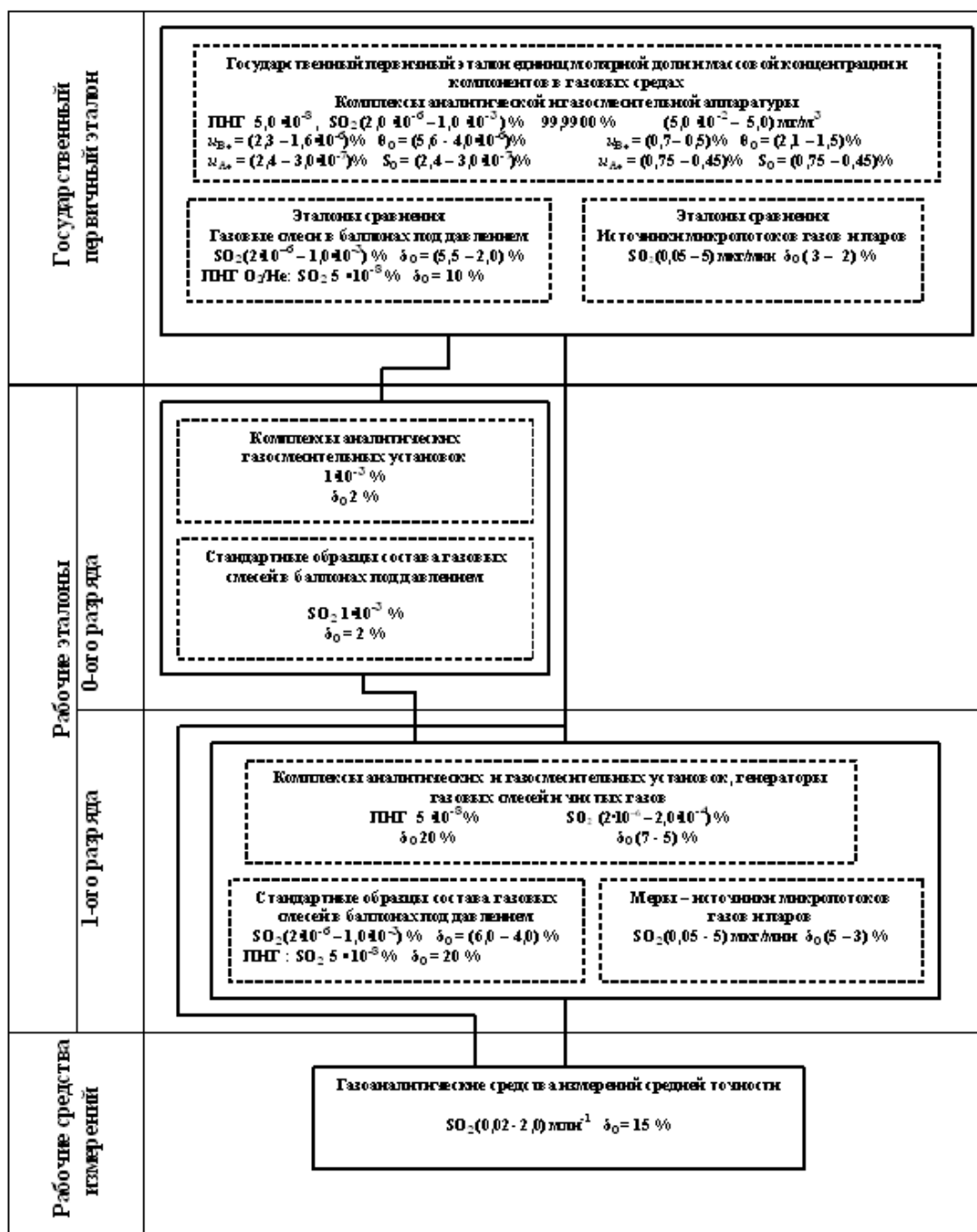


Рисунок. Локальная поверочная схема для газоанализаторов диоксида серы в атмосферном воздухе

Заключение

В результате исследований и расчетов, проведенных в данной работе с целью обоснования возможности выполнения требований ГОСТ 17.2.4.02-81 по нормированию суммарной относительной погрешности газоанализаторов контроля диоксида серы в

атмосферном воздухе в условиях эксплуатации, было установлено следующее.

1. Для выполнения требований по погрешности газоанализаторов в условиях эксплуатации 25%, пределы допускаемой основной относительной погрешности должны быть 15%.
2. Для повышения точности газоанализаторов (уменьшение основной погрешности с 25% до 15% в диапазоне измерений от 0,02 до 2 млн⁻¹) необходимо уменьшение погрешности средств поверки, которые в соответствии с требованиями ГОСТ 50760-95 должны составлять (7–5)%.
3. Расчетным методом установлена возможность изготовления средств поверки газоанализаторов с улучшенными метрологическими характеристиками.
 - 3.1. Для реализации поставленной задачи должны быть изготовлены новые ГСО – ГС SO₂ в воздухе в баллоне – РЭ 1-го разряда в диапазоне от 0,02 до 2 млн⁻¹, с относительной погрешностью 6%.

Для аттестации новых ГСО в соответствии с ГОСТ 8.578-2008 должны быть разработаны ЭС и ПЭГС с погрешностью 5,5% и 3,5%, соответственно.
 - 3.2. Существующий в настоящее время динамический генератор газовых смесей должен применяться в комплекте со стандартными образцами состава: новая газовая смесь SO₂/N₂ в баллоне – РЭ 0-го разряда 10 млн⁻¹ с относительной погрешностью 2%.

В соответствии с ГОСТ 8.578-2008 для аттестации нового ГСО должны быть изготовлены ЭС и ПЭГС с погрешностью 1,5% и 0,8%, соответственно.
 - 3.3. В термодиффузионном генераторе газовых смесей должны быть использованы ИМ – РЭ 1-го разряда с производительностью 0,1–5 мкг/мин с меньшей относительной погрешностью 5–3%.

Для аттестации указанных ИМ должны быть изготовлены ИМ ЭС и ПЭИМ с погрешностью 3–2% и 1,5–1%, соответственно.
 - 3.4. В качестве газа-разбавителя для приготовления ГС должен использоваться воздух с меньшим содержанием SO₂ (0,0005 млн⁻¹).

Таким образом, выполненная работа позволит путем внедрения:

 - новых стандартных образцов – газовых смесей SO₂ в баллоне;
 - источников микропотоков SO₂ с меньшей погрешностью;
 - поверочного нулевого газа с меньшим содержанием SO₂,обеспечить измерение содержания диоксида серы в атмосферном воздухе в диапазоне от 0,02 до 2 млн⁻¹ с суммарной погрешностью в условиях эксплуатации не более 25%.

Литература

1. ГОСТ 17.2.4.02-81. Охрана природы. Атмосфера. Общие требования к методам определения загрязняющих веществ.
2. ГОСТ Р 50760-95. Анализаторы газов и аэрозолей для контроля атмосферного воздуха.
3. ГОСТ 8.578-2008. Государственная поверочная схема для средств измерений содержания компонентов в газовых средах.
4. ТУ ИБЯЛ.418319.013. Источники микропотоков газов и паров (ИМ).
5. Метрология физико-химических измерений / Под ред. Л.А. Конопелько, М.С. Рожнова. – СПб, 2011. – 579 с.
6. ТУ 6-21-5-82. Газы поверочные нулевые. Воздух.
7. ТУ 6-16-2956-92. Смеси газовые поверочные – стандартные образцы состава.

УДК 681.2

РАЗРАБОТКА СТЕНДА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ ПОЗИЦИОННО-ЧУВСТВИТЕЛЬНОГО ДАТЧИКА МУЛЬТИСКАНА

А.Г. Оболенсков

Научный руководитель – д.ф.-м.н. Б.Г. Подласкин
(Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН)

В процессе исследования временной стабильности датчика мультискана решалась задача разработки стенда для автоматической регистрации значений выходного напряжения мультискана с последующей записью полученного массива данных на персональный компьютер. Приведены основные этапы разработки измерительного стенда для контроля параметров датчика. Рассмотрены типичные схемы включения мультискана в режиме координатоуказания, разработана программа для исследования временной нестабильности датчика.

Ключевые слова: мультискан, аналого-цифровой преобразователь, измерительный стенд.

Введение

В настоящее время актуальной является задача проведения автоматизированных измерений регистрируемых параметров оптических распределений пространственно-непрерывным методом формирования координаты. Наиболее известными датчиками координатоуказания, работающими в данном режиме являются PSD-линейка Hamamatsu и PSD-мультискан. Первый датчик формирует координату входного распределения оптического сигнала путем деления разности фототоков на противоположных концах датчика на их сумму, что приводит к значительной ошибке координатоуказания в 15% на краю [1], в центральной же области нелинейность датчика не превышает 1% [2]. Существенно иной принцип работы у PSD-мультискан [3], координата медианы светового пятна которая формируется путем сравнения равновеликих значений фототоков слева и справа от центра пятна.

Позиционно-чувствительный датчик мультискан обладает рядом преимуществ, перед своим аналогом. Нелинейность координатной характеристики мультискана составляет величину в 0,1%. Мультискан позволяет реализовать использование интегрально-адаптивного режим самосканирования [4] и представляет потенциальную возможность формирования сложной синтезированной апертуры [5]. Кроме того, работа датчика не требует программных методов обработки входного распределения сигнала, что обуславливает его высокое быстродействие (величина порядка 10 мкс) и возможность работы в режиме прямого детектирования. Существенным преимуществом мультискана также является возможность апертурной коррекции медианы искаженного оптического сигнала [6]. Рассмотрим основные этапы разработки измерительного стенда для контроля параметров датчика мультискан отечественного производства.

Основные режимы включения датчика

Основой для данной работы послужили две схемы работы мультискана в режиме координатоуказания, а именно: потенциальная и токовая схемы включения датчика.

Схема включения мультискана через эмиттерный повторитель (в классическом варианте – операционный усилитель со 100%-й обратной связью) является простейшей из представленных, поскольку предоставляет возможность производить измерения непосредственно с сигнальной шины мультискана. Напряжение U_0 , формируемое на выходной емкости датчика (рис. 1), связано с медианой входного распределения X_0 линейной зависимостью (прямая 1, рис. 1).

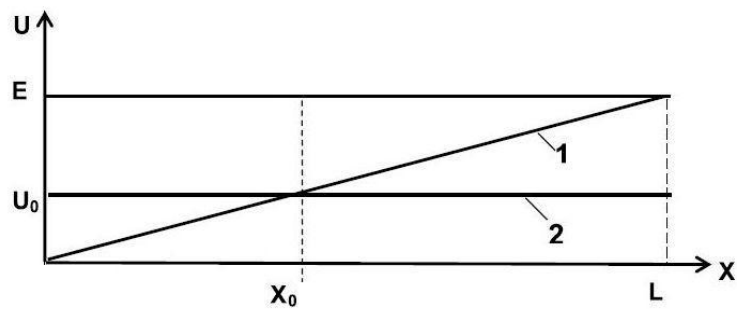


Рис. 1. Процесс формирования координаты в потенциальном режиме включения мультискана: 1 – координатная характеристика мультискана; 2 – значение напряжения, накопленное на выходной емкости датчика

На рис. 1 представлен процесс формирования положения координаты X_0 медианы входного распределения светового сигнала. Перемещение светового пятна вдоль фоточувствительной поверхности датчика приводит к накоплению потенциала U_0 на выходной емкости мультискана за счет суммарного фототока, текущего через низкоомную сигнальную шину датчика. Данный процесс приводит к смещению вольтамперной характеристики датчика и тем самым уменьшает суммарный фототок на сигнальной шине. В момент установления нулевого значения тока режим накопления напряжения завершается и тем самым датчик входит в режим ожидания. Время установления координаты 10 мкс.

Принципиально иным методом формирования координаты обладает токовый режим включения мультискана. Существенным преимуществом данного режима является возможность реализации схемы модуляция-демодуляция. Модулированный ток с сигнальной шины мультискана является источником добавочного напряжения, которое вызывает смещение напряжения питания мультискана. Полученное напряжение усиливается, а затем интегрируется во времени и подается на источник питания мультискана, замыкая тем самым схему с отрицательной обратной связью. Принцип формирования координатного отсчета для подобной схемы включения мультискана представлен на рис. 2.

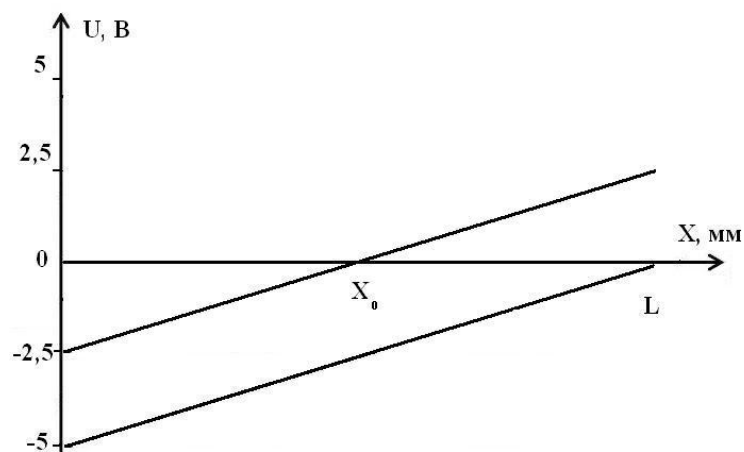


Рис. 2. Процесс формирования координаты в токовом режиме включения мультискана

На рис. 2 представлены координатные характеристики мультискана в зависимости от позиции светового пятна. Процесс формирования координатного отсчета X_0 производится в результате смещения координатной характеристики датчика управляемым напряжением питания.

Координата светового пятна, освещающего фоточувствительную площадку мультискана линейно зависит от напряжения смещения, вносимого в опорное

напряжения питания мультискана. Известно, что оценка координаты медианы входного распределения датчика может производиться непосредственно снятием данных с цифрового вольтметра, однако операция подобного рода непродуктивна. Поскольку, процесс исследования временной стабильности мультискана может занимать часы, а порой даже и дни, для автоматизации измерений с мультискана было предложено ввести в схему аналого-цифровой преобразователь (АЦП) и производить запись данных непосредственно на персональный компьютер (ПК).

Этап макетирования

На этапе макетирования производился анализ гармоничного расположения электронных компонентов на печатной плате, также было разработано съемное устройство позиционирования мультискана, обеспечивающее взаимозаменяемость позиционно-чувствительных датчиков мультискан и высокую скорость при их установке на монтажную плату (рис. 3).

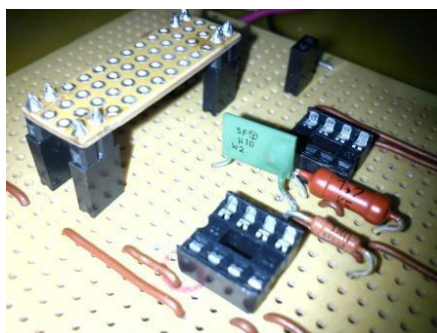


Рис. 3. Выбор оптимального размещения компонентов

Измерительный стенд

Разработка измерительного стенда началась с выбора источников напряжения питания, источника тока, разрядности цифрового вольтметра. Основой стенда послужил стабильный источник питания +5 В, и источник постоянного тока светодиода в 350 мА. Предварительно, стабильность источников была проверена на соответствие паспортным данным. Цифровой вольтметр выбирался для прецизионных измерений с ценой деления 1 мкВ. Для исследования модулированного сигнала был выбран генератор синусоидальных сигналов, а также в состав стенда был включен осциллограф.

Собранный в ходе работы измерительный стенд, представлен на рис. 4.

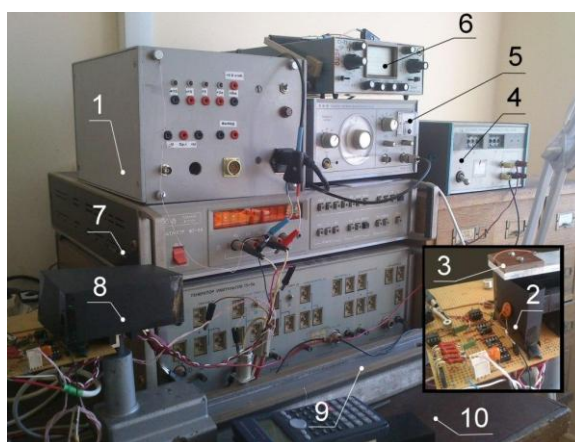


Рис. 4. Внешний вид стенда

На рис. 4 представлен собранный макет стенда, а также измерительное оборудование. Источник питания 1, основанный на работе сверхпрецизионных

операционных усилителей питает мультискан 2, закрытый щелью из черной фотобумаги. Мультискан освещается светодиодом 3, питание которого производится постоянным источником тока 4. Модуляция напряжения питания производится генератором сигналов 5. Для исследований режима с модуляцией служит осциллограф 6 и цифровой вольтметр 7. Мультискан помещен в светозащитную коробку 8, стенд позиционирован на рельсе 9, закрепленном жестко на столе 10.

В электрической схеме измерительного стенда реализованы как потенциальный, так и токовый режимы включения мультискана, переключение между ними производится соответствующим включением контактов клеммы.

Результаты измерений

Измерения напряжения с мультискана в данных режимах работы производились при помощи 24-х разрядного АЦП. Согласно программному обеспечению АЦП, запись массивов измеренных данных на ПК велась в 16-ричной системе.

Поскольку программное обеспечение АЦП включало в себя целый набор программ по обработке измеренных данных и выводу полученных результатов на экран, но каждая конкретная функция была вынесена в отдельную программу, для увеличения скорости работы исследователя была написана программа на языке C++, включающая в себя как перевод данных из 16-ричной системы в десятичную, так и вывод графиков, объединенные в один программный блок. Результат работы данной программы представлен на рис. 5.

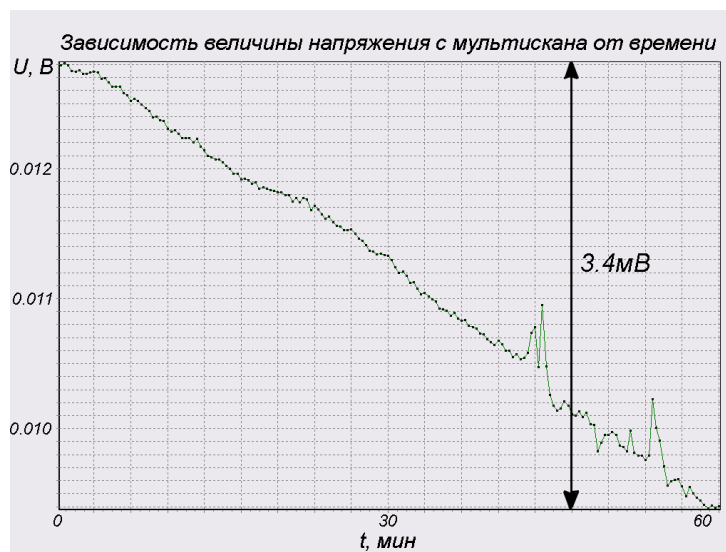


Рис. 5. Исследование зависимости выходного напряжения с мультискана от времени наблюдения в потенциальном режиме включения датчика

На рис. 5 представлен пример измерения показаний напряжения с мультискана при освещении световым пятном центра датчика в потенциальном режиме включения. Как видно из графика, временная нестабильность мультискана за 1 час составила величину в 3,4 мВ.

Заключение

В ходе данной работы был разработан стенд для контроля параметров позиционно-чувствительного датчика мультискан. Автоматизация измерений, полученная в результате введения в схему АЦП, а также составленное программное обеспечение, привела к увеличению быстродействия исследований в разы; запись массивов данных на ПК позволила произвести систематизацию измерений с

возможностью их дальнейшего математического анализа.

В дальнейшем, планируется использование стенда для исследования временной и температурной неустойчивости мультискана, координатной характеристики мультискана и пр. Будет производиться работа по совершенствованию программного обеспечения полученного измерительного комплекса.

Литература

1. Воронина С.А. Некоторые результаты исследования точности позиционно-чувствительного приемника фирмы «Hamamatsu» // Тезисы докладов II межвузовской конференции молодых ученых СПбГУ ИТМО. – 2005. – С. 153–156.
2. Воронин А.А., Митрофанов С.С. Исследование нелинейности позиционно-чувствительного приемника фирмы «Hamamatsu» // Изв. вузов. Приборостроение. – 2007. – Т. 50. – Вып. 4. – С. 47–50.
3. Подласкин Б.Г., Гук Е.Г. Позиционно-чувствительный фотодетектор Мультискан // Измерительная техника. – 2005. – Т. 48. – Вып. 8. – С. 779–783.
4. Подласкин Б.Г., Чекулаев Е.А. К вопросу об информативности интегрально-адаптивного режима самосканирования фотоприемника Мультискан // ЖТФ. – 1993. – Т. 64. – Вып. 11. – С. 95–102.
5. Подласкин Б.Г., Васильев А.В., Гук Е.Г., Токранова Н.А. Построение синтезированной апертуры на фотоприемниках Мультискан // ЖТФ. – 2000. – Т. 70. – Вып. 10. – С. 110–116.
6. Подласкин Б.Г., Е.Г. Гук. Аналоговый процессор на основе фотоприемника мультискан для апертурной коррекции медианы искаженного оптического сигнала // ЖТФ. – 2006. – Т. 76. – Вып. 8. – С. 94–99.

УДК 681.51

БЕЛЛМАНОВСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ УПРАВЛЯЕМЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ С ПОСЛЕДЕЙСТВИЕМ НА КОНЕЧНОМ ПРОМЕЖУТКЕ ВРЕМЕНИ

Р.О. Пещеров, Д.А. Музыка

Научный руководитель – д.ф.-м.н., профессор В.Ю. Тертычный-Даури

Введение

В настоящее время широкое распространение в теории управления и, в частности, оптимального и адаптивного управления получают конструктивные алгоритмы. Конструктивность алгоритма подразумевает не только обоснование вполне конкретной схемы работы алгоритма с указанием всех его функциональных элементов, что само по себе может считаться достаточно очевидным, но и главное – ориентацию на максимально приближенную к реальной; практическую направленность предлагаемых алгоритмов: их запаздывание по времени и ограничение по измерениям. В теории управления применяются, как правило, два оптимизационных метода – принцип максимума Понтрягина и метод динамического программирования Беллмана. Первый довольно сложен для применения в практических целях. Стандартные оптимизационные процедуры второго до настоящего времени использовались только для систем без запаздывания.

Постановка задачи

Для решения реальных проблем управления требуется доказать возможность использования метода динамического программирования к системам с запаздыванием.

Пусть в начале система управления описывается вполне детерминированным векторным дифференциальным уравнением:

$$\dot{x} = f[x(t), u(t-h), t] \quad (1)$$

где $x(t_0) = x_0$, $h = \text{const} > 0$ – запаздывание в управлении (так называемое инерционное запаздывание); при этом предполагается, что в самом объекте (1) запаздывания нет, но оно есть в регуляторе.

Интегрируя уравнение (1), получим равносильное ему векторное интегральное уравнение Вольтерра:

$$x(t) = x_0 + \int_{t_0}^t f[x(s), u(s-h), s] ds. \quad (2)$$

В уравнениях (1), (2) $x(t) \in R^n$ – состояние, когда время t пробегает заданный интервал $t \in [t_0, t_1]$. Уравнение (2) показывает, что $x(t)$ – состояние системы в момент времени t – зависит от значений управления $u(s-h)$ в предыдущие моменты времени $s-h$, где $t_0 < s < t$ ($t_0 \geq 0, h > 0$).

Далее, управление $u(\theta) \in R^n$ входит в уравнения (1), (2) в виде значения $u(\theta)$ в запаздывающий момент времени $\theta = s-h$, где $h > 0$. При малых $s > t_0$ запаздывающий момент $\theta = s-h$ может оказаться отрицательным. Поэтому, чтобы подынтегральное выражение в уравнении (2) имело смысл, управление $u(t)$ следует задавать и при отрицательных t , а именно при $t \in [t_0-h, 0]$, когда $t_0 < h$. Таким образом, управление $u(t)$ надо задавать на более широком интервале времени $t \in [t_0-h, t_1]$, причем состояние $x(t)$ должно быть определено на более узком интервале времени $t \in [t_0, t_1]$.

Принцип оптимальности при наличии запаздывания в уравнении. Будем считать, что на управляющие силы $u \in R^n$ наложены некоторые ограничения: $u \in U \subset R^n$, где U – некоторое заданное множество допустимых управлений. Требуется выбором управления $u(t), t \in [t_0-h, t_1]$ обеспечить минимум функционала качества:

$$I = V(x(t_1), t_1) + \int_{t_0}^{t_1} F[x(s), u(s-h), s] ds \rightarrow \min_{u \in U}. \quad (3)$$

Полагаем, что в системе (1) с функционалом (3) вектор-функция f и скалярные функции V, F – непрерывно дифференцируемы по всем своим аргументам.

Напомним, что принцип оптимальности Беллмана, лежащий в основе метода динамического программирования, применим для систем, последующее движение которых полностью определяется состоянием этих систем в любой текущий момент времени.

Согласно Беллману, оптимальная стратегия определяется только начальным условием и конечной целью, т.е. принцип оптимальности утверждает, что для любого первоначального состояния и стратегии (управления) в начальный момент, последующие стратегии должны составлять оптимальное движение относительно состояния, полученного в результате применения начальной стратегии.

Указанная формулировка принципа оптимальности останется справедливой и для систем с последствием, если в понятие состояния системы в текущий момент

времени t' включить и предысторию изменения фазовых координат системы на промежутке времени последствия: $t' - h < t < t'$.

Таким образом, для управляемых систем принцип оптимальности Беллмана утверждает, что закон оптимальной стратегии (оптимального управления) определяется лишь состоянием системы в текущий момент времени.

Отметим также, что отличительной особенностью метода динамического программирования, использующего принцип оптимальности, является то, что отрезки оптимальной траектории определяются в обратной последовательности, начиная с заданного конечного (целевого) состояния $x(t_1)$.

Сведение функционала с запаздыванием в управлении к функционалу обычного вида. Покажем, что функционал качества (3) с запаздыванием по времени в управлении можно подходящим функциональным преобразованием свести к функционалу с управлением без запаздывания по времени. Тем самым будет доказана возможность использовать стандартные оптимизационные процедуры метода динамического программирования к системам с запаздыванием.

Сделаем обратимую замену управляющей функции $u(\cdot)$ на новую функцию $\tilde{u}(\cdot)$ (и наоборот). После такой замены функционал I (3), зависящий от u , станет функционалом I , зависящим от \tilde{u} .

Идея преобразования состоит в дроблении промежутка $[t_0 - h, t_1]$, на котором определено управление $u(t)$ на подынтервалы: $[t_0 - h, t_1] = \Delta_0 \cup \Delta_1 \cup \dots \cup \Delta_m$, т.е. рисунок.

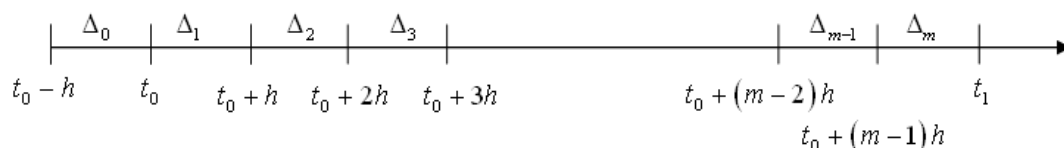


Рисунок. Дробление промежутка, на котором определено управление

На рисунке $\Delta_i = ((t_0 + (i-1)h, t_0 + ih], i < m$; при $i = m$ имеем $\Delta_m = ((t_0 + (m-1)h, t_1]$, причем $\Delta_m \leq h$. Если же $\Delta_m < h$, продолжим вектор-функцию управления $u(t) \in U$ на отрезок $\tilde{\Delta}_m = ((t_0 + (m-1)h, t_0 + mh]$ с длиной $|\tilde{\Delta}_m| = h$.

Отсюда сделаем замену времени по следующей формуле $t = ih + s, s \in \Delta_0, i = \overline{0, m}$, которая переходит в вектор-функцию:

$$\tilde{u}_i(s) = u(ih + s) = u(t), s \in \Delta_0, i = \overline{0, m}. \quad (4)$$

В результате такой замены вектор-функция $u(t)$ переменной $t \in [t_0 - h, t_1]$ будет разделена на $m + 1$ векторных частей $\tilde{u}_0(s), \tilde{u}_1(s), \dots, \tilde{u}_m(s)$, каждая из которых задана на интервале $s \in \Delta_0$. Итогом процедуры замены вектор-функции $u(\cdot)$ на вектор-функцию $\tilde{u}(\cdot)$ будет служить объединение всех этих частей в столбец:

$$\tilde{u}(s) = \text{col}[\tilde{u}_0(s), \tilde{u}_1(s), \dots, \tilde{u}_m(s)], s \in \Delta_0.$$

Выясним, как при данной замене будет меняться функционал (3). Интеграл (3) запишем в виде суммы интегралов по интервалам $\Delta_0 \cup \Delta_1 \cup \dots \cup \Delta_m = [t_0, t_1]$. Как уже отмечалось выше, если интервал Δ_m укороченный (т.е. $|\Delta_m| < h$), то берем полный интервал $\tilde{\Delta}_m = ((t_0 + (m-1)h, t_0 + mh]$, где $\Delta_m \subset \tilde{\Delta}_m$. Саму же подынтегральную функцию $F(\cdot)$ продолжим нулем при $s > t_1$. Таким образом, можем написать:

$$I = V_{t_1} + \int_{t_0}^{t_1} F[x(s), u(s-h), s] ds = V_{t_1} + \sum_{i=1}^m \int_{t_0+(i-1)h}^{t_0+ih} \tilde{F}[u(t-h), t] dt. \quad (5)$$

где $V_{t_1} = V(x(t_1), t_1)$ – заданная величина, характеризующая меру отклонения состояния системы (1) от целевого (номинального) состояния системы в конечный момент времени t_1 . Здесь с помощью подстановки $x(\cdot) = x^o(\cdot)$ – оптимальная траектория процесса (1), введена новая подынтегральная функция

$$\tilde{F}[u(t-h), t] = F[x^o(t), u(t-h), t] = F[x(t), u(t-h), t] \Big|_{x(t)=x^o(t)}. \quad (6)$$

Зависит только от управления и времени.

В соотношениях (5), (6) считается, что оптимальная траектория $x^o(\cdot)$ системы (1), проходящая через заданное начальное состояние $x(t_0)$ и минимизирующая при $u \in U$ функционал (3), уже найдена.

Затем в каждом i -ом интеграле (5) сделаем замену переменной $t = ih + s, s \in \Delta_0$, с учетом обозначения (4). Тогда, очевидно, получим:

$$I = V_{t_1} + \sum_{i+1}^m \int_{t_0-h}^{t_0} \tilde{F}\{u[(i-1)h+s], ih+s\} ds = V_{t_1} + \sum_{i+1}^m \int_{\Delta_0} \tilde{F}[\tilde{u}_{i-1}(s), ih+s] ds, \quad (7)$$

т.е. видим, что запаздывание по времени $s - h$ из функционала (3) преобразовалось в запаздывание по индексу $i - 1$.

Наконец, если ввести функцию

$$F_*(\tilde{u}, s) = \sum_{i+1}^m \tilde{F}[\tilde{u}_{i-1}(s), ih+s]$$

управления $\tilde{u}(s) = \text{col}[\tilde{u}_0(s), \tilde{u}_1(s), \dots, \tilde{u}_m(s)]$, где $\tilde{u}_i \in R^r$, и времени $s \in \Delta_0$, то тогда функционал качества (3), или (7), можно записать в обычном виде

$$I[\tilde{u}(\cdot)] = \text{const} + \int F_*[\tilde{u}(s), s] ds, \quad (8)$$

а это значит, что требуемая замена найдена.

Замена (4) обратима. Действительно, пусть задана вектор-функция $\tilde{u}(s), s \in \Delta_0$. Тогда однозначно по этой вектор-функции в силу замены (4) можно восстановить функцию $u(t)$:

$$u(t) = \tilde{u}_i(t-ih), t \in \Delta_i, i = \overline{0, m}, \quad (9)$$

причем ограничениям $u(t) \in U$ соответствуют ограничения на $\tilde{u}(s)$:

$$\tilde{u}(s) \in \tilde{U} = \underbrace{U * \dots * U}_{m+1}, s \in \Delta_0,$$

где включение $\tilde{u} = \text{col}(\tilde{u}_0, \dots, \tilde{u}_m) \in \tilde{U}$ равносильно системе включений $\tilde{u}_i \in U, i = \overline{0, m}$.

Необходимое условие оптимальности. Принцип оптимальности Беллмана позволяет сформулировать необходимое условие оптимальности для динамических систем с последствием вида (1) с функционалом качества (3).

Допустим, что $x^o(t)$ – оптимальная траектория системы (1) с заданными начальным $x(t_0)$ и конечным $x(t_1)$ состояниями. Требуется перевести систему (1) из векторной точки $x(t_0)$ в векторную точку $x(t_1)$ по траектории $x^o(t)$, выбрав оптимальное управление $u(t-h)$, минимизирующее функционал (3).

Будем исходить из задачи минимизации функционала (8) (или (7)):

$$J[\tilde{u}^o(\cdot)] = \min \{J[\tilde{u}(\cdot)] : \tilde{u} \in \tilde{U}\},$$

где $\tilde{u}^0(s) = \text{col}(\tilde{u}_0^0(s), \dots, \tilde{u}_m^0(s))$, $\tilde{u}_i^0(s) = u^0(ih + s)$, $s \in [t_0 - h, t_0] = \Delta_0$ – оптимальное управление.

Здесь \min берется по всевозможным конечным наборам векторов $\tilde{u}_0^0(s), \dots, \tilde{u}_m^0(s) \in U \subset \mathbb{R}^n$.

Ввиду обратимости замены $u(\cdot)$ на $\tilde{u}(\cdot)$ можно возвратиться к первоначальной управляющей вектор-функции $u(\cdot)$ и записать

$$\begin{aligned} J[x^0(\cdot), u^0(\cdot)] &= V_{t_1} + \int_{t_0}^{t_1} F[x^0(s), u^0(s-h), s] ds = \\ &= V_{t_1} + \min_{u(\cdot) \in U} \int_{t_0}^{t_1} F[x^0(s), u(s-h), s] ds, \end{aligned} \quad (10)$$

где $u^0(\cdot)$ – оптимальное управление u_{\min} берется по всевозможным непрерывным вектор-функциям $u(t) \in U$ переменной $t \in [t_0 - h, t_1]$. Видно, что запаздывание в управлении должно сказаться лишь на формулировке утверждения о необходимом условии оптимальности и не повлиять на схему доказательства самого утверждения. Сказанное закрепим с помощью следующей теоремы.

Теорема. Пусть выполнены соотношения (4)–(10) для задачи синтеза оптимального управления системы (1) с функционалом (3) и оговоренными выше требованиями непрерывности и гладкости для всех входящих функций и вектор-функций.

Тогда, если $x^0(t)$ – оптимальная траектория системы (1) с заданными значениями $x(t_0)$ и $x(t_1)$, оптимальное управление $u^0(t-h)$ удовлетворяет уравнению Беллмана (уравнение Гамильтона-Якоби-Беллмана) вида

$$\min_{u \in U} \left\{ \frac{dS(x^0(t), t)}{dt} + F[x^0(t), u(t-h), t] \right\} = 0, \quad (11)$$

$$\text{либо } \frac{dS(x^0(t), t)}{dt} + F[x^0(t), u^0(t-h), t] = 0, \quad (12)$$

где обозначено

$$S(x^0(t), t) = V_{t_1} + \min_{u \in U} \int_t^{t_1} F[x^0(s), u(s-h), s] ds, \quad (13)$$

причем

$$S(x^0(t_1), t_1) = V_{t_1} = V(x(t_1), t_1), \quad (14)$$

а для подынтегральной функции $F(\cdot)$ имеет место равенство (5), (6).

Доказательство.

Доказательство этой теоремы проводится в рамках традиционной схемы вывода уравнения Беллмана как необходимого условия оптимальности в метод динамического программирования.

Остановимся на этой схеме с учетом того, что старая $u(\cdot)$ и новая $\tilde{u}(\cdot)$ управляющие вектор-функции связаны между собой однозначными преобразованиями (4) и (9). Важно при этом иметь в виду, что в соотношениях (8) и (10) справедливо равенство

$$\min_{\tilde{u} \in \tilde{U}} Y[\tilde{u}(\cdot)] = \min_{u \in U} J[x^0(\cdot), u(\cdot)].$$

Поскольку, когда $\tilde{u}(\cdot)$ переменной $s \in [t_0 - h, t_0]$ пробегает множество \tilde{U} , управление $u(\cdot)$ переменной $t-h, t \in [t_0, t_1]$, пробегает множество U . Если для

построения вектор-функции $\tilde{u}(s)$ вектор-функцию $u(t-h)$ необходимо продолжить на $t > t_1$, то полагают, что $u(t-h) \equiv u(t_1-h)$, где $t > t_1$.

Обозначим через $S(x^0(t_0), t_0)$ минимум функционала $J(3)$ (при (5), (7), (8)). Из принципа оптимальности следует, что часть траектории с концами $x^0(t)$ (в начале при $t = t$) и $x^0(t_1)$ (в конце при $t = t_1$), удовлетворяющая уравнению (1), также оптимальна. Значит, минимальное значение порождаемого этой частью траектории функционала равно $S(x^0(t), t)$ (13) с граничным значением $S(x^0(t_1), t_1) = V_{t_1}$ (14). Приходим тем самым, к так называемому функциональному уравнению Беллмана (13).

Пусть $t' = t + \Delta t$, где Δt – достаточно малый интервал времени. Тогда минимальное значение функционала по части оптимальной траектории с начальным состоянием $x^0(t') = x^0(t + \Delta t)$ и конечным состоянием $x^0(t_1)$ определяется равенством

$$S(x^0(t'), t') = V_{t_1} + \min_{u \in U} \int_{t'}^{t_1} F[x^0(s), u(s-h), s] ds. \quad (15)$$

Разобьем интервал интегрирования на два: от t до $t' = t + \Delta t$ и от t' до t_1 . Тогда сравнивая интегралы (13) и (15), получим, что

$$S(x^0(t), t) = V_{t_1} + \min_{u \in U} \left(\int_t^{t+\Delta t} F[x^0(s), u(s-h), s] ds + \int_{t+\Delta t}^{t_1} F[x^0(s), u(s-h), s] ds \right). \quad (16)$$

Или с точностью до малых $\alpha_1(\Delta t)$ более высокого порядка чем Δt , можно написать (с учетом оптимальности на втором интервале):

$$S(x^0(t), t) = V_{t_1} + \min_{u \in U} \left(F[x^0(t), u(t-h), t] \Delta t + \min_{u \in U} \int_{t'}^{t_1} F[x^0(s), u(s-h), s] ds \right) + \alpha_1(\Delta t),$$

где с точностью до $\alpha_1(\Delta t)$ имеем в соотношении (16) для первого интеграла справа:

$$\int F[x^0(s), u(s-h), s] ds = F[x^0(t), u(t-h), t] \Delta t + \alpha_1(\Delta t)$$

$$\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\alpha_1(\Delta t)}{\Delta t} = 0.$$

Таким образом, имеем запись

$$S(x^0(t), t) = \min_{u \in U} \left\{ F[x^0(t), u(t-h), t] \Delta t + S(x^0(t'), t') \right\} + \alpha_1(\Delta t). \quad (17)$$

Пусть, ради простоты записи, $x(t) = x^0(t)$. Тогда разлагая $x(t')$ в ряд Тейлора, получим

$$\begin{aligned} x(t') &= x(t + \Delta t) = x(t) + \dot{x}(t) \Delta t + \alpha_2(\Delta t) = \\ &= x(t) + f[x(t), u(t-h), t] \Delta t + \alpha_2(\Delta t), \end{aligned} \quad (18)$$

где $\alpha_2(\Delta t)$ – остаточный член выше первого порядка малости от Δt . Подставим это разложение $x(t')$ (18) в выражение для $S(x(t'), t')$. При соответствующем разложении

в ряд Тейлора, полагая при этом, что существуют частные производные $\frac{\partial S}{\partial x_i}$, $i = \overline{1, n}$, и

$\frac{\partial S}{\partial t}$, получим

$$\begin{aligned}
S(x(t'), t') &= S[x(t + \Delta t), t + \Delta t] = \\
&= S\{x(t) + f[x(t), u(t-h), t] \Delta t + \alpha_2(\Delta t), t + \Delta t\} = \\
&= S(x(t), t) + \sum_{i=1}^n \frac{\partial S(x(t), t)}{\partial x_i} f_i[x(t), u(t-h), t] \Delta t + \frac{\partial S(x(t), t)}{\partial t} \Delta t + \alpha_3(\Delta t),
\end{aligned} \tag{19}$$

где $\alpha_3(\Delta t)$ – это остаточный член выше первого порядка малости по Δt , причем здесь

$$\begin{aligned}
\sum_{i=1}^n \frac{\partial S(x(t), t)}{\partial x_i} f_i[x(t), u(t-h), t] + \frac{\partial S(x(t), t)}{\partial t} &= \frac{dS(x(t), t)}{dt}, \\
\frac{\partial S}{\partial x} &= \left(\frac{\partial S}{\partial x_1}, \frac{\partial S}{\partial x_2}, \dots, \frac{\partial S}{\partial x_n} \right)^* = \text{grad} S,
\end{aligned}$$

а, * сверху означает операцию транспонирования.

Следовательно, для $S(x(t'), t')$ (19) имеем

$$\begin{aligned}
S(x(t'), t') &= S(x(t), t) + \left(\frac{\partial S(x(t), t)}{\partial x} \right)^* f[x(t), u(t-h), t] \Delta t + \\
&+ \frac{\partial S(x(t), t)}{\partial t} \Delta t + \alpha_3(\Delta t).
\end{aligned} \tag{20}$$

Подставим затем выражение (20) в правую часть соотношения (17), полагая $x(t) = x^0(t)$. Поскольку выражения $S(x(t), t)$ и $\frac{\partial S}{\partial t}$ не зависят от $u(\cdot) = u(t-h)$, то их можно вынести за знак $\min_{u \in U}$. После сокращения и деления обеих частей на Δt получим

$$\begin{aligned}
-\frac{\partial S(x^0(t), t)}{\partial t} &= \\
&= \min_{u \in U} \left\{ \left(\frac{\partial S(x^0(t), t)}{\partial x^0} \right)^* f[x^0(t), u(t-h), t] + F[x^0(t), u(t-h), t] \right\} + \frac{\alpha_4(\Delta t)}{\Delta t},
\end{aligned} \tag{21}$$

где $\alpha_4(\Delta t)$ – остаточный член выше первого порядка малости по Δt , т.е. $\frac{\alpha_4(\Delta t)}{\Delta t} \rightarrow 0$ при $\Delta t \rightarrow 0$.

При $\Delta t \rightarrow 0$ из уравнения (21) получим уравнение Беллмана, называемое иногда уравнением Гамильтона-Якоби-Беллмана, для управляемых систем с запаздыванием в управлении:

$$\begin{aligned}
-\frac{\partial S(x^0(t), t)}{\partial t} &= \\
&= \min_{u \in U} \left\{ \left(\frac{\partial S(x^0(t), t)}{\partial x^0} \right)^* f[x^0(t), u(t-h), t] + F[x^0(t), u(t-h), t] \right\}
\end{aligned} \tag{22}$$

либо

$$\begin{aligned}
& -\frac{\partial S(x^0(t), t)}{\partial t} = \\
& = \min_{u \in U} \left\{ \left(\frac{\partial S(x^0(t), t)}{\partial x^0} \right)^* f[x^0(t), u^0(t-h), t] + F[x^0(t), u^0(t-h), t] \right\}. \quad (23)
\end{aligned}$$

С помощью полной производной $\frac{dS}{dt}$ последние два уравнения можно записать в виде соотношений (11) и (12) соответственно из формулировки теоремы. Тем самым утверждение полностью доказано.

Замечания

1. Полученные уравнения (22), (23) или (11), (12) можно считать основными в методе динамического программирования для непрерывных систем с запаздыванием в управлении. Видно, что соотношения (23) и (12) выполняются только для оптимального вектора управления $u^0(t-h)$. заключаем отсюда, что с помощью уравнения Беллмана могут быть получены оптимальные управления и траектории.
2. Уравнение Беллмана обосновано в той степени, в которой имеют место требования гладкости функции Беллмана, т.е. в той мере, в которой справедливо допущение о существовании частных производных $\frac{\partial S}{\partial x}$, $\frac{\partial S}{\partial t}$ функции $S(x(t), t)$.
3. Уравнение Беллмана позволяет выразить оптимальное управление $u^0(t-h)$ в момент времени $t-h$ в функции вектора состояния $x(t)$ в момент времени t и самого времени t .

Таким образом, в результате исследования была доказана возможность использования стандартных оптимизационных процедур метода динамического программирования Беллмана к системам управления с последствием на конечном промежутке времени.

УДК 330.43:338.27:330.322.21

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ИНВЕСТИЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ РЕГИОНА (НА ПРИМЕРЕ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ)

Т.К. Платонова

(Ростовский государственный экономический университет (РИНХ))

Научный руководитель – к.э.н., доцент Т.В. Алексейчик

(Ростовский государственный экономический университет (РИНХ))

Анализ инвестиций позволяет разработать эффективную инвестиционную политику, направленную на улучшение инвестиционного климата в регионе. Инвестиционный климат можно рассматривать как условия инвестирования, влияющие на предпочтения инвестора в выборе того или иного объекта инвестирования. На макроуровне это понятие включает в себя показатели политического, экономического и социального состояния государства или региона. При выборе стратегии экономического развития страны государство обязательно должно прогнозировать результаты принимаемых решений, в том числе и в сфере инвестиционной политики. Именно поэтому изучение инвестиционных процессов и их прогнозирование приобретает особую актуальность в настоящих условиях, когда Российская Федерация нуждается в притоке капитала в экономику.

Ключевые слова: инвестиции, эконометрическая модель, прогнозирование.

Введение

Инвестиции играют существенную роль в функционировании и развитии экономики. Изменения в количественных соотношениях инвестиций оказывают воздействие на объем общественного производства и занятости, структурные сдвиги в экономике, развитие отраслей и сфер хозяйства. Инвестиционные процессы являются немаловажным фактором, определяющим уровень экономического роста и развития региона и страны в целом [1].

Планирование инвестиционных процессов в регионе должно опираться на научно-обоснованные модели и методы. Одним из таких методов может стать эконометрическое моделирование.

Цель данного исследования состоит в решении теоретических и практических вопросов повышения объемов инвестирования на основе эконометрического моделирования инвестиционных процессов, на уровне отдельно взятого субъекта Российской Федерации, а именно Ростовской области. Теоретические положения и практические рекомендации проведенного исследования могут быть использованы при разработке региональной инвестиционной политики.

Научная новизна проведенного исследования заключается в построении математических моделей, отражающих взаимосвязь инвестиций с другими показателями развития экономики, на уровне отдельного региона России – Ростовской области.

Анализ инвестиций в Ростовской области

Анализ поступления инвестиций в российскую экономику показывает неравномерность их размещения по округам и регионам. Так, по итогам 2011 года в экономику Южного федерального округа поступило 10% от общего объема инвестиций в Российской Федерации. И лишь 15% инвестиций, поступивших в Южный федеральный округ, были направлены в экономику Ростовской области.

Несомненно, существуют резервы повышения инвестиционной активности Ростовской области. Она обладает рядом конкурентных преимуществ, которые создают базу для привлечения инвестиций и успешного поступательного развития, например, выгодное географическое положение, развитая транспортная инфраструктура, высокий природно-ресурсный потенциал, достаточно высокоразвитая промышленность, высокий потребительский спрос.

Моделирование инвестиционных процессов Ростовской области

В разных литературных источниках рассматривается широкий спектр факторов, взаимосвязанных с величиной инвестиций [1]. После проведения анализа были отобраны 15 показателей:

1. показатели, характеризующие величину инвестиций:
 - инвестиции в основной капитал, млн. руб. – INV;
 - инвестиции в основной капитал на душу населения, руб. – INV_D;
 - внутренние инвестиции, млн. руб. – VN_INV;
 - иностранные инвестиции, тыс. долл. США – IN_INV;
2. показатели инвестиционного потенциала региона:
 - валовой региональный продукт (ВРП), млн. руб. – VRP;
 - индекс промышленного производства к соответствующему периоду предыдущего года, % – PROM;
 - сальдированный финансовый результат деятельности предприятий, млн. руб. – FIN_REZ;
 - торговый оборот, млн. руб. – TORG;
 - среднедушевые денежные доходы населения в месяц, руб. – DOHOD;
 - поступление налогов, сборов и иных обязательных платежей в бюджетную систему Российской Федерации, млн. руб. – NALOGY;
3. показатели инвестиционного риска региона:
 - кредиторская задолженность за период крупных и средних организаций, млн. руб. – KRED_ZADOLG;
 - просроченная кредиторская задолженность за период крупных и средних организаций, млн. руб. – PROS_KRED_ZADOLG;
 - число убыточных организаций в общем числе, % – UBYT_ORG;
4. показатели инновационного развития региона:
 - число организаций, выполнявших научные исследования и разработки – KOL_ORG;
 - внутренние затраты на научные исследования и разработки, млн. руб. – ZATR_ISSL;
 - затраты на технологические инновации, млн. руб. – ZATR_INNOV;
5. данные показатели были подвергнуты корреляционному анализу (табл. 1 и табл. 2).

Таблица 1. Корреляционная матрица показателей за 2003–2011 гг. по квартальным данным

	INV	VN_INV	IN_INV	F_REZ	KR_ZA DOLG	PR_KR_ Z	TORG	PROM	NALOG Y	UBYT_ ORG
INV	1,000									
VN_INV	0,999	1,000								
IN_INV	0,629	0,624	1,000							
F_REZ	0,632	0,633	0,54	1,000						
KR_ZADOL G	-0,101	-0,103	0,065	-0,064	1,000					
PR_KR_Z	-0,076	0,078	-0,086	0,099	0,353	1,000				
TORG	0,874	0,871	0,849	0,734	0,050	-0,074	1,000			
PROM	-0,306	0,309	0,060	-0,068	-0,09	0,136	-0,106	1,000		
NALOGY	0,835	0,833	0,857	0,682	0,081	-0,138	0,965	-0,19	1,000	
UBYT_ORG	-0,697	0,698	-0,297	-0,506	0,252	-0,013	-0,531	0,014	-0,411	1,000

Таблица 2. Корреляционная матрица показателей за 2001–2010 гг. по ежегодным данным

	INV	INV_D	VRP	DOHOD	PROM	ZATR_ ISSL	ZATR_ INNOV	KOL_ ORG
INV	1,000							
INV_D	0,915	1,000						
VRP	0,945	0,970	1,000					
DOHOD	0,958	0,949	0,995	1,000				
PROM	-0,520	-0,4	-0,343	-0,369	1,000			
ZATR_ISSL	0,936	0,974	0,99	0,987	-0,359	1,000		
ZATR_INNOV	0,814	0,844	0,784	0,787	-0,582	0,841	1,000	
KOL_ORG	0,318	-0,313	-0,382	-0,426	0,082	-0,439	-0,346	1,000

В результате с использованием 11 экономических показателей были построены эконометрические модели, отражающие различные аспекты инвестиционной деятельности региона.

Статистические данные взяты из статистических сборников Госкомстата России и из отчетов Администрации Ростовской области [2–5]. При построении эконометрических моделей использовались пакеты программ MS Excel и EViews.

Модели, описывающие влияние различных показателей инвестиционного риска и потенциала региона на величину инвестиций в основной капитал. Одним из важнейших факторов, влияющих на размер инвестиций, является ВРП – комплексный показатель, отражающий уровень развития региона.

Модель (1) отображает влияние на инвестиции в основной капитал ВРП, полученного в прошлом периоде:

$$INV_t = -22673,07 + 0,355 \cdot VRP_{t-1} + \varepsilon_t, \quad (1)$$

$$R^2 = 0,98.$$

Не менее важным фактором, оказывающим влияние на размер инвестиций, являются среднедушевые денежные доходы населения. Это один из показателей, отражающих уровень потребления и качества жизни населения региона. Модель (2) показывает эту взаимосвязь:

$$INV_D_t = -2525,697 + 3,193 \cdot DOHOD_t + \varepsilon_t, \quad (2)$$

$$R^2 = 0,90.$$

Модель (3) отражает взаимосвязь инвестиций в основной капитал с показателями экономического потенциала, эффективности производства и инвестиционного риска.

Показателем, отражающим экономический потенциал региона, является величина торгового товарооборота розничных и оптовых организаций. Ключевым показателем эффективности регионального производства выступает индекс промышленного производства товаров и услуг к предыдущему году. В качестве показателя инвестиционного риска региона выбран удельный вес убыточных организаций в их общем числе.

$$INV_t = 49074,21 + 0,1526 \cdot TORG_t - 313,5345 \cdot PROM_t - 626,139 \cdot UBYT_ORG_t + \varepsilon_t, \quad (3)$$

$$R^2 = 0,90.$$

Несомненно, на желание инвесторов вкладывать деньги в развитие региона влияет его инновационная активность. Модель (4) отражает взаимосвязь величины затрат на технологические инновации с инвестициями:

$$INV_t = -5833,3 + 27,12 \cdot ZATR_INNOV_{t-1} + 20,5 \cdot ZATR_INNOV_t + \varepsilon_t, \quad (4)$$

$$R^2 = 0,89.$$

Согласно модели (4), увеличение затрат на технологические инновации на 1 млн. руб. вызывает в текущем периоде рост инвестиций в основной капитал на 20,5 млн. руб. и в следующем периоде на 27,12 млн. руб., т.е. в общей сложности на 47,62 млн. руб., что говорит о весомом вкладе инноваций в рост объема инвестиций.

Построенные модели позволяют ранжировать различные факторы, влияющие на величину инвестиций, в зависимости от эластичности инвестиций по этим показателям (табл. 3).

Таблица 3. Ранжирование факторов, влияющих на величину инвестиций

№	Фактор	Коэффициент эластичности
1	ВРП	1,49
2	Индекс промышленного производства товаров и услуг	-1,27
3	Торговый товарооборот розничных и оптовых предприятий	1,04
4	Удельный вес убыточных организаций в общем числе организаций	-0,59
5	Затраты на технологические инновации	0,48
6	Среднедушевые денежные доходы населения	0,3

Наибольшее влияние на величину инвестиций оказывает ВРП: при его увеличении на 1% наблюдается рост объема инвестиций на 1,5%. Данное ранжирование позволяет расставить приоритеты при проведении инвестиционной политики.

Модели, отражающие влияние величины инвестиций на различные показатели экономической деятельности региона. Взаимосвязь инвестиций в основной капитал и ВРП является двусторонней. ВРП как комплексный показатель развития региона является одним из основополагающих критериев оценки инвестиционного климата. В свою очередь, инвестиции в основной капитал являются одной из важнейших компонент ВРП.

Для моделирования влияния инвестиций на величину ВРП была построена модель (5):

$$VRP_t = 106458,3 + 2,913 \cdot INV_t + \varepsilon_t, \quad (5)$$

$$R^2 = 0,89.$$

Из модели (5) видно, что увеличение инвестиций в основной капитал на 1 млн. руб. вызывает увеличение ВРП на 2,9 млн. руб.

Еще один значимый показатель, на который влияет объем инвестиций – это налоговые поступления. Модель (6) отражает эту зависимость:

$$NALOGY_t = 5887,327 + 0,22 \cdot VN_INV_t + 0,023 \cdot IN_INV_t + \varepsilon_t, \quad (6)$$

$$R^2 = 0,88.$$

Как видно из модели (6), внутренние инвестиции обуславливают относительно меньший прирост величины налоговых поступлений в бюджет, чем инвестиции иностранные, поскольку на 1 млн. руб. внутренних инвестиций приходится 220 тыс. руб. прироста налоговых поступлений, а на 1 тыс. долл. США инвестиций иностранных (около 33 тыс. руб.) – 22,9 тыс. руб. Это говорит о том, что надо стимулировать иностранных инвесторов к вложению денежных средств в развитие экономики региона.

Как и взаимосвязь инвестиций и ВРП, взаимосвязь инвестиций и инноваций также является двусторонней. Инвестиции в основной капитал оказывают сильное влияние на инновационную деятельность, в частности, на затраты на научные

исследования и разработки.

$$ZATR_ISSL_t = 1144,86 + 0,029 \cdot INV_{t-1} + \varepsilon_t, \quad (7)$$

$$R^2 = 0,87.$$

Модель (7) показывает, что инвестиции в исследования очень малы, а без научных разработок невозможно внедрение новых технологий и совершенствование процесса производства.

Таким образом, в общей сложности было построено 7 эконометрических моделей. С помощью встроенных средств программного пакета EViews проведен анализ полученных уравнений. Он показывает, что коэффициенты регрессии статистически значимы, уравнения в целом значимы, автокорреляция в остатках и гетероскедастичность отсутствуют. Значения коэффициентов детерминации, характеризующие долю объясненной уравнением регрессии вариации результативного показателя, высокие. Знаки коэффициентов регрессии соответствуют экономическому смыслу. Все это говорит о высоком качестве построенных моделей.

Прогнозирование на основе построенных моделей

Для анализа пригодности моделей для прогнозирования расчетные значения показателей по исходным уровням рядов были сопоставлены с фактическими значениями соответствующих показателей (табл. 4).

Таблица 4. Фактические и расчетные значения результативных показателей по моделям (1), (2), (4)

	Инвестиции в основной капитал, млн. руб.	Модель (1)	Модель (4)	Инвестиции в основной капитал на душу населения, руб.	Модель (2)
2009	193713	181944	195300,0	39209	38632,07
2010	166077	172102,1	152692,5	35548	44007,49

Таблица 4. Фактические и расчетные значения результативных показателей по моделям (5) и (7)

	ВРП, млн. руб.	Модель (5)	Внутренние затраты на научные исследования и разработки, млн. руб.	Модель (7)
2009	548662,5	670744,269	5846,0	5064,21
2010	629499,3	590240,601	6012,1	6762,537

Таблица 4. Фактические и расчетные значения результативных показателей по моделям (3) и (6)

Год	Квартал	Инвестиции в основной капитал, млн. руб.	Модель (3)	Поступление налогов в бюджетную систему РФ, млн. руб.	Модель (6)
2010	1	23649,9	24196,12	21204,1	15123,4
	2	37069,3	33302,45	24334,2	24616,6
	3	41947,3	39040,2	24416,2	24385,1
	4	49449,7	46062,28	27786,5	25547,2
2011	1	21382,6	24007,08	24 023,5	22969,2
	2	32875,3	35704,93	29088,2	24469,9
	3	39017,1	37608,71	28 848,6	29175,4
	4	61625	62065,97	31908	33165,8

В результате было установлено, что расчетные данные хорошо аппроксимируют

наблюдаемые значения по всем показателям, а значит, построенные модели можно использовать для прогнозирования инвестиционных процессов.

Заключение

В результате проведенного исследования сделаны следующие выводы:

- установлены количественные взаимосвязи между различными показателями экономической жизни Ростовской области и основными показателями инвестиционной активности;
- проведено ранжирование факторов, оказывающих влияние на величину инвестиций, с целью выявления наиболее важных. Установлено, что наибольшее воздействие оказывает величина ВРП, как комплексный показатель уровня экономического развития региона. Также немаловажное значение имеют степень развития промышленности и торговли. Влияние затрат на технологические инновации, к сожалению, не является столь весомым, что говорит о недостаточности финансирования инновационной деятельности в регионе;
- установлено, что столь важный для государства показатель, каким является величина налоговых поступлений в бюджетную систему, растет под влиянием иностранных инвестиций больше, чем под влиянием внутренних. Это говорит о том, что для государства первоочередной задачей является привлечение иностранных инвесторов;
- сделан вывод, что инвестирование в научные исследования и разработки, а также на их внедрение в производство в Ростовской области проводится в недостаточном объеме;
- построенные эконометрические модели позволяют строить достаточно точные прогнозы и могут быть использованы при разработке инвестиционной политики Ростовской области.

Литература

1. Батищева Г.А. Инвестиционная привлекательность как основа формирования эффективной инвестиционной политики в Южном федеральном округе: монография. – Ростов-на-Дону: Ростовский государственный экономический университет «РИНХ», 2008. – 138 с.
2. Федеральная служба государственной статистики. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.gks.ru>, своб.
3. Федеральная служба государственной статистики Ростовской области. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://rostov.gks.ru>, своб.
4. Официальный портал правительства Ростовской области. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.donland.ru>, своб.
5. УФНС по Ростовской области. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.r61.nalog.ru>, своб.

УДК 004.414.2

УЧЕБНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ПОДСИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО АНАЛИЗА ХАРАКТЕРИСТИК СЕТИ КОМПЬЮТЕРНЫХ КЛАССОВ

С.М. Платунова

Научный руководитель – к.т.н., доцент В.И. Поляков

Рассмотрена задача анализа проектных характеристик сети компьютерных классов включая характеристики доступности и стоимости, реализованных в составе учебно-исследовательской системы автоматизированного проектирования сети компьютерных классов.

Ключевые слова: компьютерная сеть, проектирование, анализ, доступность, характеристики.

Введение

Бюджетные системы автоматизации проектирования компьютерной сети являются актуальными для применения в организациях дополнительного профессионального образования.

Существуют солидные инструменты анализа и оптимизации проектируемых сетей, но для использования в организациях дополнительного профессионального образования являются нецелесообразными из-за своей сложности и дороговизны. Это обуславливает необходимость создания новых инструментов для качественной подготовки специалистов, а также анализа результатов проектирования.

В работе требуется разработать учебно-исследовательскую подсистему автоматизированного анализа характеристик сети компьютерных классов (УИ САПР КС) как инструмента качественной подготовки специалистов, а также анализа результатов проектирования КС.

В рамках данной работы также предложена методика проектирования КС для формализации учебного процесса и исследования проектов КС путем анализа характеристик функционирования, доступности и стоимости.

Структурная схема УИ САПР

Ядро системы представляет собой набор системных и пользовательских модулей, взаимодействующих друг с другом через единый интерфейс. Взаимодействие с Менеджером ресурсов (системой управления базами данных (СУБД)) ведется через отдельный (общий для системы автоматизированного проектирования (САПР)) интерфейс, что позволяет унифицировать способ хранения и доступа к данным и применить любой доступный Менеджер ресурсов (СУБД). Исходя из цели и решаемых задач, предлагается структура УИ САПР КС.

Система для выполнения своей учебной функции и безопасности данных предоставляет три типа пользовательского интерфейса («Студент», «Преподаватель», «Администратор»).

Под внешними интерфейсами для более полной интеграции УИ САПР КС в учебный процесс реализуются различные способы обмена данными с информационными системами образовательной организации.

Модульность системы обусловлена требованиями к параллельному использованию разработанной методики УИ САПР КС в учебном процессе и разработке и исследованию новых методов и алгоритмов с целью последующего расширения САПР для выполнения более широких функций в учебном и исследовательском процессах. Ядро системы с разработанными модулями показаны на рис. 1. Система разрабатывается как универсальная учебно-исследовательская среда, и используется при проектировании и реализации соответствующих модулей, приведенных в правой части рис. 1.

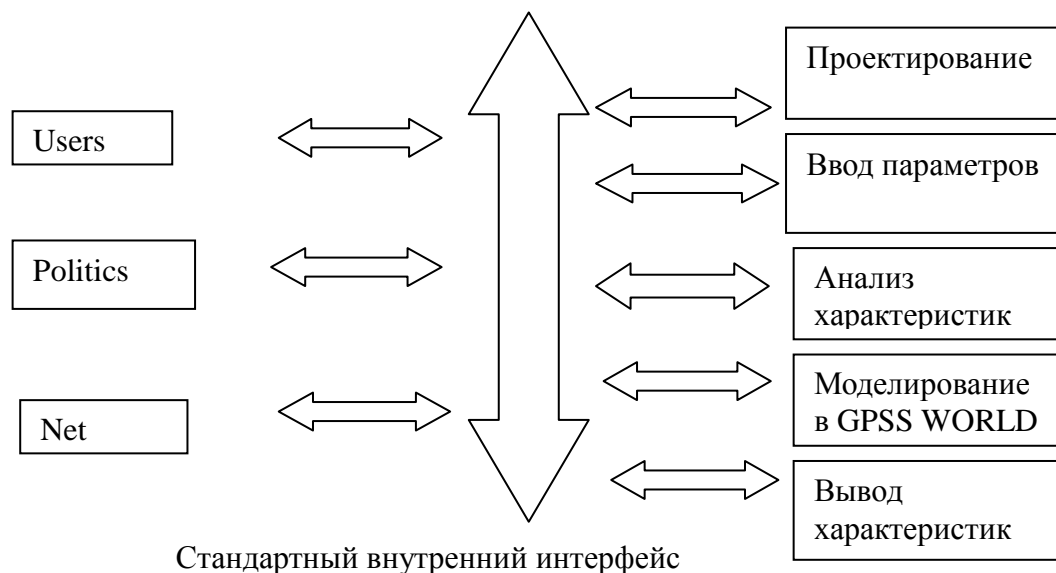


Рис. 1. Ядро системы и основные модули

Основные функции УИ САПР

Специфичность УИ САПР КС заключается в анализе характеристик функционирования КС, стоимости сети, реализации требований к доступности ресурсов и услуг (рис. 2). В процессе разработки определены основные функции УИ САПР КС:

- ввод структурных параметров КС: количества узлов; числа обслуживающих приборов в узлах (серверов); средних времен обслуживания в узлах коммутации; интенсивностей входных потоков в узлы; матрицы интенсивностей потоков в узлы;
- анализ узловых и сетевых характеристик функционирования КС в терминах разомкнутых сетей массового обслуживания: времени пребывания; времени ожидания; длин очередей в узлы; числа заявок в узлах; загрузки;
- ввод параметров доступности КС: числа основных элементов; интенсивностей отказов элементов; вероятностей безотказной работы элементов; времени восстановления; требуемого коэффициента оперативной готовности КС;
- анализ характеристик доступности КС: определение числа резервных элементов и достигнутого коэффициента оперативной готовности КС;
- анализ стоимости КС;
- сохранение отчета;
- вывод проектировщику множества значений характеристик КС.

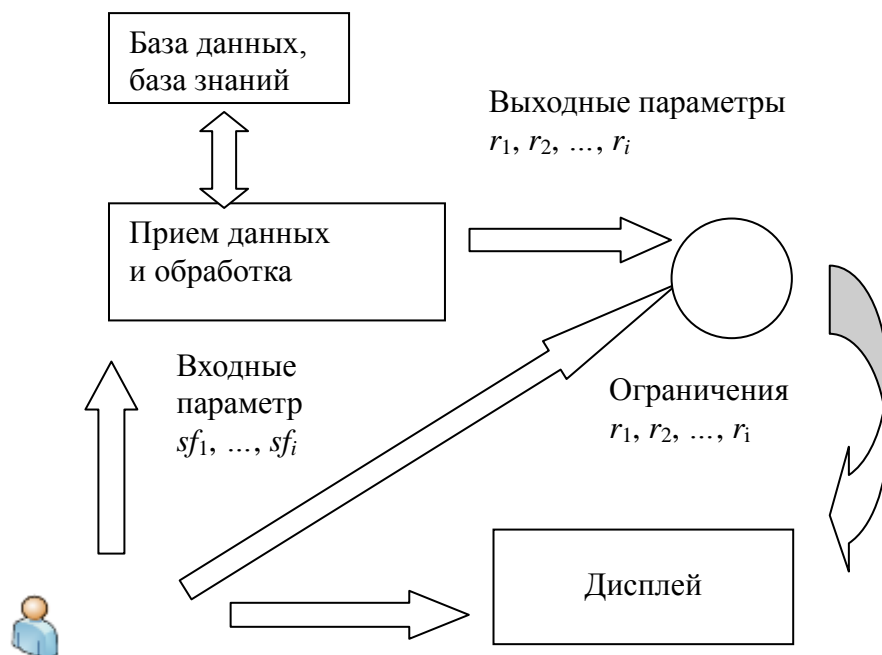


Рис. 2. Схема УИ подсистемы автоматизированного анализа проектных характеристик КС

Разработанная методика анализа КС может быть использована при проектировании учебных САПР.

Основными задачами при автоматизации анализа качества проекта сети являются:

- разработка структуры и функций обучающей САПР КС;
- разработка методики автоматизированного анализа проектных характеристик сети компьютерных классов, в том числе и доступности;
- разработка программного обеспечения подсистемы автоматизированного анализа характеристик функционирования и надежности сети на стадии проектирования.

Взаимодействие с Менеджером ресурсов (СУБД) ведется через отдельный общий для САПР интерфейс, что позволяет унифицировать способ хранения и доступа к данным и применить любой доступный Менеджер ресурсов (СУБД).

Целесообразно в роли менеджера ресурсов использовать операционную систему. Операционная система рассматривается как механизм для управления организованного и контролируемого распределения дисков, файлов и пр. между пользователями и модулями программ. Также задача операционной системы заключается в отслеживании того, какой пользователь, какой ресурс использует, в обработке запросов на ресурсы и разрешении проблем конфликтующих запросов от модулей программ и пользователей.

Под внешними интерфейсами для более полной интеграции УИ САПР КС в учебный процесс реализуются различные способы обмена данными с информационными системами образовательной организации. Для взаимодействия с большим количеством различных систем управления базами данных целесообразно использовать инструменты интернет-технологий, в частности – PHP, скриптовый язык программирования общего назначения, интенсивно применяемый для разработки веб-приложений.

Для взаимодействия с базой данных может быть использовано phpMyAdmin – веб-приложение с открытым кодом, написанное на языке PHP и представляющее собой веб-интерфейс для администрирования СУБД MySQL. phpMyAdmin позволяет через браузер осуществлять администрирование сервера MySQL, запускать команды SQL и просматривать содержимое таблиц и баз данных. Приложение позволяет управлять СУБД MySQL без непосредственного ввода SQL команд, предоставляя дружественный интерфейс. PhpMyAdmin используется в качестве панели управления для того, чтобы предоставить возможность администрирования выделенных им баз данных.

Приложение распространяется под лицензией GNU General Public License и поэтому многие другие разработчики интегрируют его в свои разработки, например, Denwer.

Предлагаемая подсистема автоматизированного анализа проектных характеристик КС базируется на web-технологиях, способна работать на любой платформе и позволяет выполнять сложную локальную обработку данных

Основной результат

Разработана УИ САПР КС, как инструмент качественной подготовки специалистов и анализа результатов проектирования КС. Построение и эксплуатация УИ САПР КС позволит повысить качество обучения, интеллектуализировать труд преподавателей, а также автоматизировать исследование проектов КС для поиска оптимального варианта.

Литература

1. Зыков А.Г., Немолочнов О.Ф., Поляков В.И., Безруков А.В., Кузьмин В.В. Графо-аналитические модели как средство верификации вычислительных процессов // Труды международного конгресса по интеллектуальным системам и информационным технологиям. – М.: Физматлит. – 2010. – Т. 2. – С. 140–145.
2. Платунова С.М. Алгоритмы и методы автоматизированного анализа качества проектных характеристик компьютерной сети / Тезисы докладов Всероссийской четырнадцатой конференции молодых ученых «ИНТЕРНЕТ: инновационные технологии и инженерные разработки». – СПб: ООО «МультиПроджектСистемСервис» (МПСС). – 2011. – С. 22–23.

УДК 621.3.049.77+534.08+ 681.787

РАСШИРЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ СХЕМЫ ЭЛЕКТРОННОЙ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ ВОЛОКОННО- ОПТИЧЕСКОГО АКУСТИЧЕСКОГО ДАТЧИКА ИНТЕРФЕРОМЕТРИЧЕСКОГО ТИПА

М.Ю. Плотников, И.Г. Дейнека

Научный руководитель – д.т.н., профессор И.К. Мешковский

В статье представлены результаты разработки блока работы с аналого-цифровым преобразователем (АЦП) волоконно-оптического акустического датчика интерферометрического типа с использованием программируемых логических интегральных схем и программной среды разработки Xilinx ISE.

Ключевые слова: волоконно-оптический датчик, цифровая обработка, программируемые логические интегральные схемы, АЦП.

Введение

Одним из активно развиваемых направлений современного оптико-электронного приборостроения является создание волоконно-оптических датчиков (ВОД) [1, 2]. Они обладают существенными преимуществами по сравнению с традиционными пьезоэлектрическими датчиками – высокой чувствительностью, большим динамическим диапазоном, устойчивостью к электромагнитным помехам, а также пригодны к эксплуатации в условиях повышенной температуры и радиации.

В большинстве современных ВОД используются цифровые методы приема и обработки сигналов, позволяющие значительно расширить их функциональные

возможности и увеличить производительность операций приема и обработки данных по сравнению с традиционными аналоговыми схемами обработки.

В качестве основного элемента схемы обработки все чаще используются программируемые логические интегральные схемы (ПЛИС) [3, 4]. Эта тенденция обусловлена тем, что изменения в функциональности и производительности схемы обработки могут быть обеспечены за счет изменений в конфигурации ПЛИС, что гораздо проще, быстрее и дешевле, чем замена компонент в электрической схеме или разработка новой платы.

Поскольку в процессе разработки ВОД может возникнуть необходимость в изменении конфигурации ПЛИС, схема обработки сигналов должна быть не только высокоэффективной, но и легко масштабируемой. Как правило, для этого в процессе разработки в схему обработки сигналов изначально закладываются возможности для ее модификации.

В данной работе представлены результаты разработки высокоэффективного масштабируемого блока работы с аналого-цифровым преобразователем (АЦП) схемы электронной обработки сигналов волоконно-оптического акустического датчика (ВОАД) интерферометрического типа с использованием ПЛИС и программной среды разработки Xilinx ISE.

Принцип работы волоконно-оптического акустического датчика

Структурная схема фазового ВОАД интерферометрического типа представлена на рис. 1 [5].

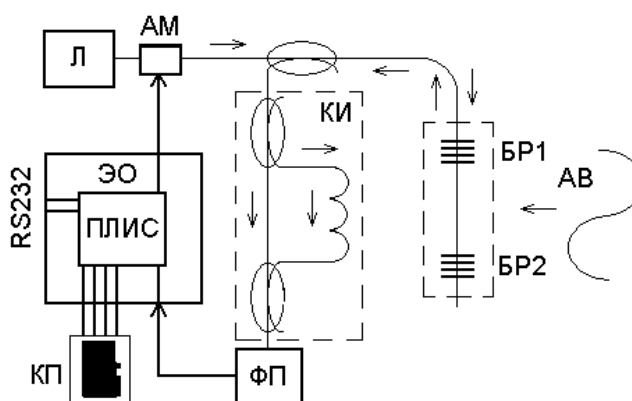


Рис. 1. Структурная схема ВОАД интерферометрического типа: ФП – фотоприемник; КИ – компенсирующий интерферометр; БР – брэгговская решетка; ЭО – блок электронной обработки; КП – карта памяти; Л – лазер; АВ – акустическая волна; АМ – амплитудный модулятор

Электронный блок обработки является функциональной частью макета волоконно-оптического фазового акустического датчика интерферометрического типа и осуществляет функции приема, обработки и передачи информации на персональном компьютере (ПК) для ее последующего анализа и отображения. Чувствительным элементом датчика служит двулучепреломляющее оптическое волокно с записанными в него брэгговскими решетками.

Принцип работы ВОАД заключается в следующем: световое излучение лазера проходит через амплитудный модулятор (АМ), формирующий световые импульсы, которые, последовательно отражаясь от брэгговских решеток (БР) БР1 и БР2, попадают в компенсирующий интерферометр (КИ). В КИ разность фаз между отраженными импульсами компенсируется за счет разной длины плеч интерферометра, тем самым формируя интерференционную картину на фотоприемнике (ФП). Под действием

акустического давления чувствительный элемент датчика деформируется, что вызывает изменение разности фаз интерферирующих импульсов. Эта разность фаз преобразуется ФП в изменение величины тока. Таким образом, обрабатывая сигнал с ФП, можно судить о характере акустического воздействия.

Функцию обработки сигнала с ФП выполняет ПЛИС. Отличием ПЛИС от специализированных микросхем различных типов является ее внутренняя архитектура – она задается не в процессе изготовления, а посредством программирования. Поскольку программирование ПЛИС может производиться многократно, электронные схемы обработки на их основе имеют очень гибкую архитектуру, что позволяет существенным образом изменять и расширять функциональные возможности схемы без ее повторного проектирования.

В процессе разработки ВОАД интерферометрического типа возникла необходимость в модификации блока работы с АЦП ввиду того:

- электронный блок обработки сигналов должен быть легко модифицируемым и настраиваемым на работу с чувствительными волоконно-оптическими элементами разной длины – т.е. с разной длиной оптического волокна от АМ до БР;
- необходима дополнительная подстройка временного положения импульса выборки АЦП относительно импульса синхронизации.

Кроме того, существующая схема была спроектирована для обработки информации с одного ВОД, но для дальнейшего увеличения эффективности датчика необходимо увеличение количества чувствительных элементов на БР.

Описание работы блока управления АЦП

В схеме электронной обработки сигналов используется быстродействующее 16-ти разрядное АЦП AD7625 фирмы Analog Devices [6]. Разработка электронного блока взаимодействия с АЦП велась с использованием среды разработки Xilinx ISE 13.4.

Данная среда позволяет осуществлять весь цикл разработки проекта, от описания логической архитектуры и его моделирования до конфигурирования любой из существующих ПЛИС фирмы Xilinx. В данной работе была использована ПЛИС XC3S 1000 5FPG256С семейства Spartan 3 [7].

Представленная схема включает в себя набор функциональных блоков, логика работы которых описывается на языке VHDL (Very high speed integrated circuits Hardware Description Language) [8].

Результатом разработки модифицируемого блока работы с АЦП стала схема, представленная на рис. 2.

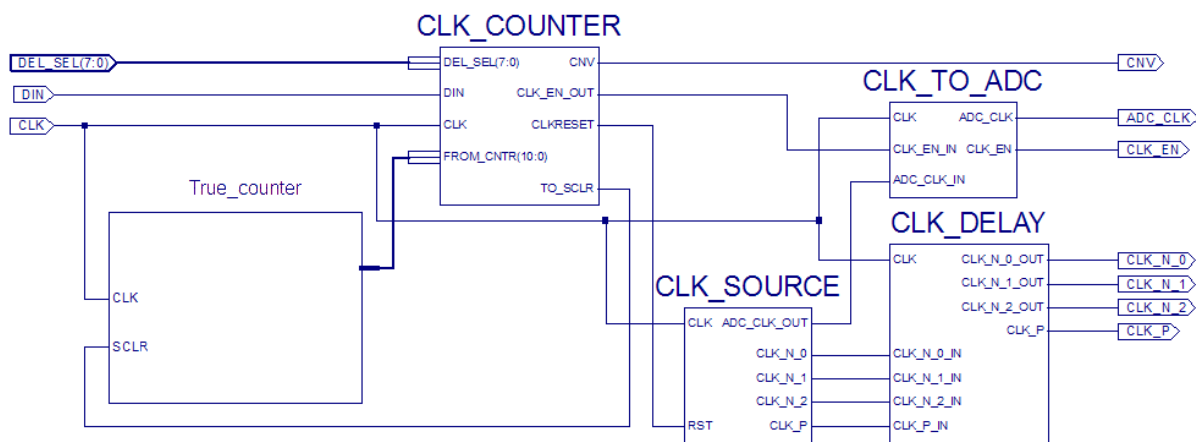


Рис. 2. Блок работы с АЦП

Блок работы с АЦП осуществляет генерацию 3-х управляющих сигналов:

- CNV – импульс выборки АЦП, передний фронт импульса запускает процесс защелкивания информации АЦП;
- ADC_CLK – последовательность из 16-ти тактирующих импульсов с периодом 40 нс, тактирующих выходную информацию с АЦП. Период импульсов в 40 нс обусловлен тактовой частотой схемы обработки сигналов в 25 МГц.
- CLK_EN – во время приема 16-ти информационных импульсов с АЦП сигнал устанавливается в логический 0 на время 640 нс и запускает преобразование последовательного кода (из 16-ти информационных импульсов) в параллельный.

Схема блока взаимодействия с АЦП представлена на рис. 2. На вход схемы подаются три управляющих сигнала: DEL_SEL(7:0), DIN и CLK.

1. Сигнал DEL_SEL(7:0) предназначен для подстройки временного положения импульса выборки АЦП относительно импульса синхронизации. Подается на схему электронной обработки с ПК по интерфейсу RS232 (рис. 1) и представляет собой 8 информационных бит, 2 старших из которых отвечают за выбор внутренних блоков схемы обработки, которым предназначается управляющая информация, а оставшиеся 6 бит регулируют параметры выбранного функционального блока.
2. Сигнал DIN – это сигнал синхронизации, который также подается и на АМ – его частота составляет 100 кГц, что соответствует частоте импульса выборки АЦП.
3. CLK является тактирующим сигналом с частотой 250 МГц, который подается на ПЛИС с внешнего высокоточного задающего кварцевого генератора.

Представленная схема блока взаимодействия с АЦП работает следующим образом: сигнал синхронизации DIN, поступая на вход схемы, запускает процесс генерации управляющих сигналов для АЦП. При этом блок CLK_COUNTER генерирует сигнал запуска счетчика (TO_SCLR) True_counter, который изменяет свое значение с приходом каждого переднего фронта тактового сигнала CLK. На каждый фронт тактового сигнала CLK значение счетчика сравнивается со значением, равным сумме значений 6-ти младших бит входного сигнала DEL_SEL и постоянной величины, определяемой длиной оптического волокна до БР и записанной в блоке CLK_COUNTER.

При достижении равенства блоком CLK_COUNTER генерируется сигнал обнуления счетчика, а также генерируются сигналы CNV, CLK_EN_OUT и CLKRESET, которые подаются непосредственно на АЦП, а также к блокам CLK_TO_ADC, и CLK_SOURCE.

Блок CLK_SOURCE является делителем частоты и формирует сигнал частотой 25 МГц из сигнала 250 МГц. Сигнал CLKRESET, поступающий на его вход RST, обнуляет текущие значения счетчиков внутри этого блока, синхронизируя, таким образом, тактирующие сигналы контроля и управления ADC_CLK_OUT, CLK_N_0, CLK_N_1, CLK_N_2, CLK_P с сигналом CLK_EN_OUT блока CLK_COUNTER.

Сигналы, поступающие на вход блока CLK_TO_ADC, дополнительно синхронизируются – это необходимо для правильной работы АЦП и приема информации от него схемой обработки, а затем подаются непосредственно на АЦП и в схему обработки, запуская процесс приема информации. Остальные сигналы, поступающие на вход блока CLK_DELAY, задерживаются во времени на один такт, с тем, чтобы значения считанной с АЦП информации окончательно установились перед ее обработкой.

В реализованной схеме 6 информационных бит сигнала DEL_SEL позволяют сдвинуть импульс выборки АЦП на $63 \cdot 4 \text{ нс} = 252 \text{ нс}$, где $63 = 2^6 - 1$; 4 нс – период сигнала CLK 250 МГц, а 252 нс соответствует по времени расстоянию в 50,4 м, которое успеет пройти световой импульс в оптическом волокне.

Отличительной особенностью предложенной схемы, является то, что любой из ее функциональных блоков легко модифицируется. Таким образом, можно программным методом поменять тактовую частоту схемы обработки, увеличить частоту генерации импульсов выборки АЦП или изменить его временной сдвиг. Кроме того, относительно

простой является настройка предложенной схемы на работу с ВОД с различной длиной ведущего к чувствительному элементу оптического волокна.

Заключение

В результате работы была разработана и программно реализована блок работы с АЦП, обладающий следующими возможностями:

- осуществлена синхронизация подаваемого в схему обработки тактового сигнала 25 МГц с управляющими сигналами АЦП;
- реализован диапазон возможной перестройки для импульса выборки АЦП в 252 нс;
- в предложенную схему заложены возможности по изменению тактовой частоты схемы обработки, увеличения частоты генерации импульса выборки АЦП и его подстройки.

В настоящее время разработанный блок используется в электронной схеме обработки ВОАД интерферометрического типа. В дальнейшем планируются модификация представленного блока для работы с несколькими датчиками.

Литература

1. Yin Shizhuo, Ruffin Paul B., Yu Francis T.S. Fiber Optic Sensors, 2nd ed. – Pennsylvania State University: CRC Press Taylor & Francis Group, 2008. – 477 p.
2. Волоконно-оптические датчики. Вводный курс для инженеров и научных работников / Под ред. Э. Уда. – М.: Техносфера, 2008. – 520 с.
3. Максфилд К. Проектирование на ПЛИС. Курс молодого бойца. – М.: Издательский дом «Додэка-XXI», 2007. – 408 с.
4. Соловьев В.В. Проектирование цифровых систем на основе программируемых логических интегральных схем. – М.: Горячая линия–Телеком, 2001. – 636 с.
5. Куликов А.В. Волоконно-оптические акустические сенсоры на брэгговских решетках. Кандидатская диссертация. – СПб: НИУ ИТМО, 2012. – С. 49.
6. AD7625. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/AD7625.pdf, своб. – Яз. англ. (дата обращения 20.05.2012).
7. Spartan 3 FPGA Family Data Sheet. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.xilinx.com/support/documentation/data_sheets/ds099.pdf, своб. – Яз. англ. (дата обращения 20.05.2012).
8. Тарасов И.Е. Разработка цифровых устройств на основе ПЛИС Xilinx с применением языка VHDL. – М.: Горячая линия–Телеком, 2005. – 252 с.

УДК 004.056, 004.8

ПРИМЕНЕНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ В ЗАДАЧАХ ОПТИМИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ ВСТРАИВАНИЯ ЦИФРОВЫХ ВОДЯНЫХ ЗНАКОВ В ОБЛАСТЬ ДИСКРЕТНО-КОСИНУСНОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЯ

Е.С. Прилепин, Н.Н. Прохожев

Научный руководитель – к.т.н., доцент О.В. Михайличенко

Основной целью данной работы является исследование возможностей генетических алгоритмов (ГА) в задачах нахождения оптимальных значений параметров встраивания цифровых водяных знаков в область коэффициентов дискретно-косинусного преобразования неподвижных изображений. Так же производится оценка целесообразности применения ГА взамен классических алгоритмов оптимизации.

Ключевые слова: стеганография, генетические алгоритмы, оптимизация параметров встраивания.

Введение

Задача маркирования изображения устойчивыми цифровыми водяными знаками (ЦВЗ) всегда является компромиссом между стремлением обеспечить максимальную устойчивость ЦВЗ и необходимостью высокого визуального качества подписанного изображения. В большинстве случаев при встраивании ЦВЗ, особенно при использовании стеганоалгоритмов со случайным выбором областей встраивания, параметры встраивания не всегда являются оптимальными, что значительно снижает устойчивость ЦВЗ к внешним воздействиям или не гарантирует отсутствие визуализации артефактов встраивания.

Выбор оптимальных параметров встраивания ЦВЗ во многом определяется контентом самого изображения-контейнера [2]. В силу большого количества стеганоалгоритмов и их значительных различий на данный момент не существует специализированных алгоритмов подбора оптимальных значений встраивания ЦВЗ.

Условия проведения экспериментов

В работе все экспериментальные данные получены на основе тестовой выборки из 10 естественных полутоновых изображений, имеющих разрешение 1920×1080 пикселей.

В качестве ЦВЗ использовалась битовая последовательность, сгенерированная псевдослучайным образом. Длина ЦВЗ соответствовала максимальной пропускной способности стеганоканала.

Встраивание ЦВЗ производилось в область дискретно-косинусного преобразования (ДКП) коэффициентов изображений с использованием 2-х коэффициентного метода встраивания (Koch-Zhao) [6].

Влияние параметров встраивания на уровень искажений изображения-контейнера. Оценка уровня искажений, вносимых в изображение-контейнер при встраивании ЦВЗ, производилась с использованием пикового соотношения «сигнал/шум» или PSNR (Peak Signal Noise Range) [1]. На рис. 1 показаны результаты экспериментов по оценке зависимости уровня искажений от таких параметров встраивания как: коэффициент силы встраивания и выбор коэффициентов ДКП.

На графиках видно, что для обеспечения минимальных искажений изображения-контейнера предпочтительно выбирать высокочастотные коэффициенты области ДКП и небольшие значения силы встраивания ЦВЗ.

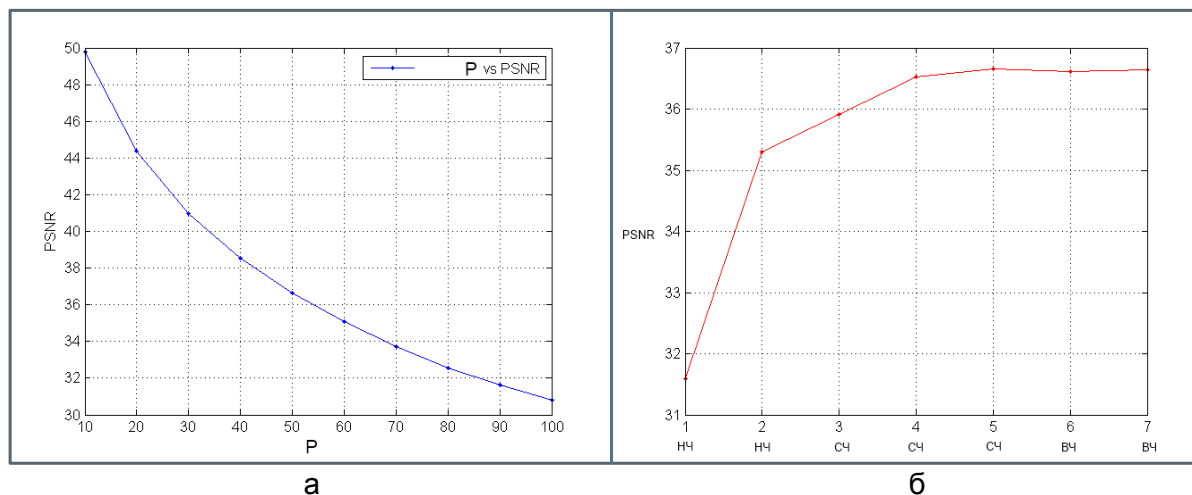


Рис. 1. Зависимость уровня искажений изображения-контейнера от: величины силы встраивания (а); выбора коэффициентов ДКП (б)

Оценка влияния параметров встраивания на устойчивость ЦВЗ к внешним воздействиям на изображение-контейнер. Оценка устойчивости ЦВЗ производилась с использованием коэффициента ошибочных бит (Bit Error Rate). Данный коэффициент применялся для оценки искажений битовой последовательности ЦВЗ, возникающей в результате внешних воздействий на изображение-контейнер.

На рис. 2 показаны результаты экспериментов по оценке зависимости устойчивости ЦВЗ от таких параметров встраивания как: коэффициент силы встраивания и коэффициентов области ДКП.

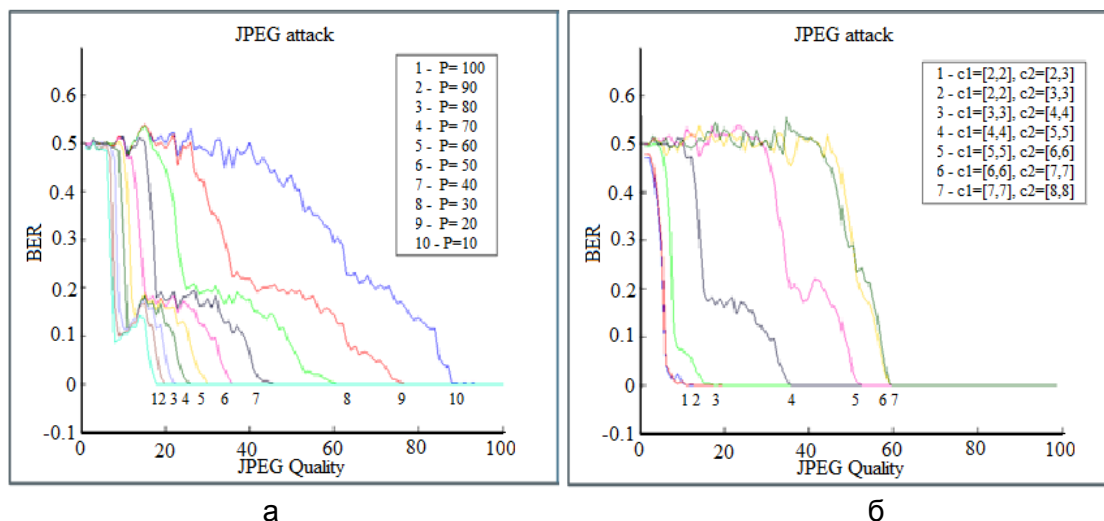


Рис. 2. Зависимость устойчивости ЦВЗ от: величины коэффициента силы встраивания (а); коэффициентов области ДКП (б)

На графиках видно, что для обеспечения максимальной устойчивости ЦВЗ, к такому внешнему воздействию как сжатие JPEG, предпочтительно выбирать низкочастотные коэффициенты области ДКП и большие значения силы встраивания. Таким образом, рекомендации по выбору параметров встраивания для повышения устойчивости ЦВЗ диаметрально противоположны аналогичным рекомендациям для улучшения визуальной скрытности. Для разрешения вышеописанного противоречия необходимо найти некоторый оптимум, обеспечивающий максимальную устойчивость ЦВЗ и, одновременно, отсутствие визуализации артефактов встраивания ЦВЗ.

Применение генетических алгоритмов (ГА) в задаче оптимизации параметров встраивания ЦВЗ в коэффициенты области ДКП изображения. В основе решения задачи оптимизации параметров встраивания ЦВЗ в область коэффициентов ДКП изображения предлагается использовать подход, основанный на использовании ГА [4, 5].

На рис. 3 представлена схема использования ГА в процессе встраивания ЦВЗ в изображение-контейнер. Задача оптимизации сводится к выбору значения коэффициента силы встраивания и координат двух коэффициентов матрицы ДКП, в которые будет производиться встраивание ЦВЗ. Критерием оценки приспособленности являются устойчивость ЦВЗ к внешним воздействиям и уровень искажений изображения-контейнера. Таким образом, функция приспособленности (фитнесс-функция) имеет вид:

$$F(cf_1, cf_2, P) = \alpha \cdot f(SSIM) \cdot \beta f(BER),$$

где cf_1, cf_2 – координаты коэффициентов ДКП, в которые производится встраивание ЦВЗ; P – коэффициент силы встраивания; α и β – весовые коэффициенты, имеющие значение 0,5, поскольку в работе не отдается предпочтения ни скрытности внедрения, ни устойчивости ЦВЗ; $f(SSIM)$ – функция от уровня искажений, измеряемого метрикой SSIM [3]; $f(BER)$ – функция от уровня потерь ЦВЗ.

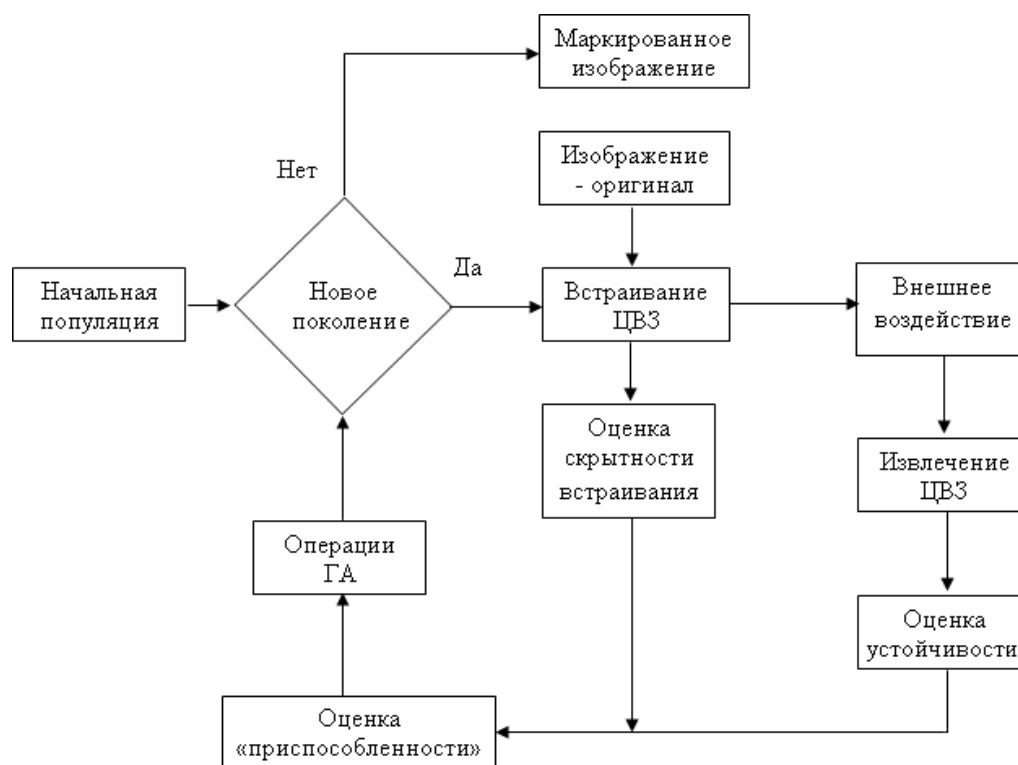


Рис. 3. Алгоритм использования ГА в задаче оптимизации параметров встраивания ЦВЗ

$f(SSIM)$ имеет вид пороговой функции, поскольку отражает факт визуализации артефактов внедрения ЦВЗ. Несмотря на достаточно удачную метрику SSIM визуализация артефактов наступает не при каком-то конкретном пороговом значении, а, скорее, в пределах некоторого интервала. Поэтому $f(SSIM)$ принята в виде сигмоидальной функции.

$f(BER)$ – по своей сути тоже пороговая функция, определяющая потери ЦВЗ с линейным участком, определяющим интервал начала потерь угрожающим целостности ЦВЗ и уровнем, когда ЦВЗ можно считать полностью уничтоженным. Для оценки целесообразности применения ГА были построены пространства поиска фитнесс-функции для различных внешних воздействий (рис. 4). Пространства поиска фитнесс-функции, обладающие сложным рельефом и имеющие значительное количество

локальных минимумов и максимумов (или несколько глобальных) свидетельствуют о целесообразности применения как ГА, что подтверждается результатами практических экспериментов.

Для определения оптимальных параметров встраивания ЦВЗ необходимо осуществить полный перебор для 2-х коэффициентов в блоке 8×8 и в диапазоне значений силы встраивания от 10 до 100, что требует 362880 вычислений фитнес-функции. Одноточечный ГА с размером популяции 10–15 позволяет находить оптимальные или околооптимальные решения за 300–2500 вычислений.

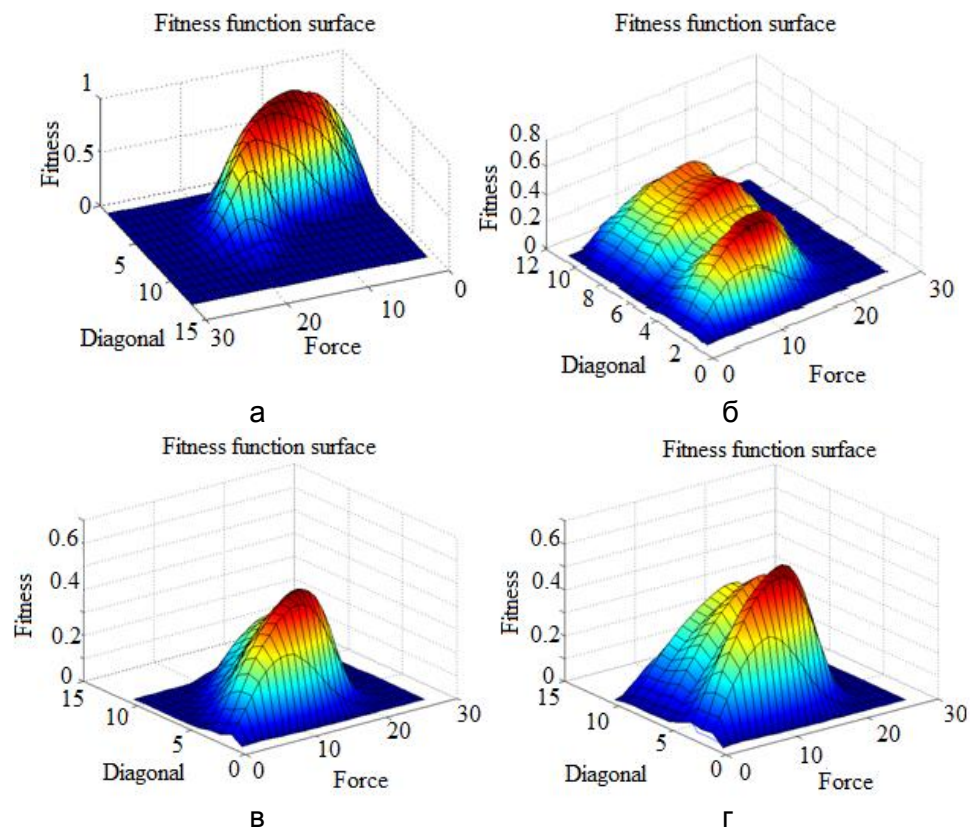


Рис. 4. Пространства поиска фитнес-функции для внешних воздействий, таких как: сжатия JPEG (а); усредняющей фильтрации (б); масштабирования (в); фильтра Винера (г)

Выводы

Для нахождения оптимальных значений параметров встраивания ЦВЗ, обеспечивающих устойчивость к JPEG-сжатию целесообразнее использовать традиционные методы оптимизации, например метод градиентного спуска.

Для нахождения оптимальных значений параметров ЦВЗ для стеганографического алгоритма встраивания ЦВЗ в коэффициенты области ДКП, обеспечивающих высокое визуальное качество и повышенную устойчивость к внешним воздействиям, для целого ряда внешних воздействий (масштабирование, усредняющая фильтрация, фильтр Винера) применение ГА практически оправдано.

Литература

1. Михайличенко О.В., Прохожев Н.Н., Коробейников А.Г. Оценка устойчивости ЦВЗ внедренных с помощью алгоритмов пространственной области встраивания к внешним воздействиям // Научно-технический вестник СПбГУ ИТМО. – 2008. – Вып. 51. – С. 168–172.

2. Прохожев Н.Н., Михайличенко О.В., Коробейников А.Г. Методика адаптации параметров встраивания устойчивых цифровых водяных знаков в область дискретно-косинусного преобразования цифровых изображений // Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции: в 2 ч. – Ч. 2. – Йошкар-Ола: Марийский государственный университет, 2011. – С. 39–44.
3. Wang Z., Bovik A., Sheikh H., Simoncelli E. Image quality assessment: from error visibility to structural similarity // IEEE Transactions on Image Processing. – 2004. – V. 13. – P. 600–612.
4. Goldberg D.E. Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning // Addison-Wesley. – 1989. – P. 41.
5. Mitchell M. An Introduction to Genetic Algorithms. – MIT Press, Cambridge, MA, 1996. – 205 p.
6. Koch E. and Zhao J. Towards robust and hidden image copyright labeling // In Proceedings of the IEEE Workshop on Nonlinear Signal and Image Processing. – 1995. – P. 452–455.

УДК 681.7.022.2

ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ОПТИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

В.П. Савченко

Научный руководитель – к.т.н., доцент Е.И. Яблочников

Данная работа посвящена разработке методики применения систем виртуального моделирования литейных процессов при технологической подготовке производства полимерных оптических изделий методом литья под давлением. Рассмотрены вопросы взаимодействия на разных этапах разработки. А также ключевые вопросы, которые приводят к пересмотру традиционных взглядов на процесс подготовки производства.

Ключевые слова: полимерные оптические материалы, литье под давлением, инженерный анализ, моделирование литья под давлением.

В настоящее время все больше и больше изделий оснащается оптическими линзами. Растет число фотоаппаратов, бытовых видеокамер, проекторов, а так же устройств оснащенных функциями фото и видео: ноутбуки, телефоны и т.д. Помимо устройств захвата изображений, оптические системы применяются так же в устройствах хранения данных, светодиодном освещении и других продуктах. Распространение оптоэлектронных устройств и стремительный рост их производительности, а так же миниатюризация этих устройств значительно повысило требования к их оптической части. Вместе с тем наблюдается тенденция перехода все к большему применению изделий из полимерных оптических материалов.

Полимерная оптика имеет ряд преимуществ над стеклянной. Главными из них являются: высокая ударопрочность, низкий вес и самое главное, более широкие возможности по выбору конструкции полимерного оптического элемента и лучшая технологичность [1]. Гибкость при выборе конструктивных решений особенно полезна в системах, которые могут использовать асферические линзы, что позволяет упростить конструкцию и уменьшить количество оптических элементов системы, тем самым снизить вес и стоимость. Оптические характеристики современных полимерных материалов сопоставимы с оптическими свойствами стекла. Однако полимерная оптика имеет и ряд недостатков. Наиболее существенными из них являются относительно низкая температурная стойкость и низкая стойкость к царапинам.

Процесс создания оптического изделия начинается с проектирования и оптимизации параметров оптического элемента. Особенностью процесса на данном этапе является то, что при конструировании предполагаются равномерные показатели

материала (показатель преломления, параметры светопропускания), на данном этапе невозможно спрогнозировать локализацию и распространение производственных дефектов, поэтому принимаются усредненные характеристики, что зачастую приводит к расширению поля допуска, либо к дополнительным сложностям на этапе производства. Классическая линейная схема функционально-ориентированного производственного процесса показана на рис. 1.

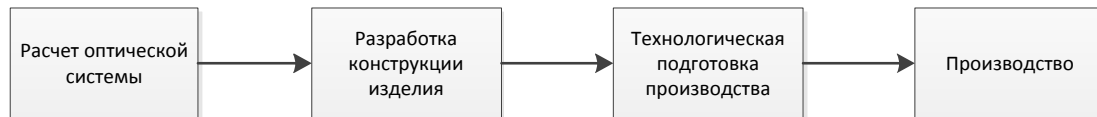


Рис. 1. Блок схема производственного процесса

На первом этапе инженер-расчетчик производит расчет оптической системы исходя из требований заказчика. Также на этом этапе принимается решение об используемом материале. Основанием для выбора материала конструктором является показатель преломления. Однако требования к оптическим свойствам и требования к геометрической точности зачастую находятся в противоречии. Каждый материал обладает своими физическими свойствами, которые определяют поведение материала на разных стадиях производственного процесса. И может оказаться так, что материал, который подходит по своим оптическим свойствам не может обеспечить должным образом заполнение литейной формы в данной конфигурации, а, следовательно, и геометрическую точность изделия, либо его структурные характеристики. Это приводит к дополнительным затратам ресурсов и времени на перепроектирование, тем самым увеличивая конечную стоимость изделия.

Далее конструктор, используя расчетные данные, разрабатывает конструктив изделия: проектирует крепежные элементы для крепления и юстировки; определяет параметры поверхностей не участвующих в формировании изображения; определяет размерные параметры и назначает допуски; проверяет соответствие выбранного материала требованиям эксплуатации изделия. В случае несоответствия требованиям необходима замена материала и перепроектирование оптической системы. А это дополнительные временные и ресурсные затраты.

После, конструкторская документация передается технологу на проработку и подготовку производства. Технолог определяет производственную технологию и подбирает оборудование, проектирует средства технологического оснащения, определяет технологические параметры и режимы работы оборудования. После этого в производство запускается пробное изделие. По результатам которого, определяется возможность запуска изделия в производство или необходимость доработки технологического процесса. При необходимости доработки сначала пытаются устранить дефекты посредством корректировки параметров технологического процесса, принятые решения вновь проверяются опытным путем. В случае неудачи дорабатываются средства технологического оснащения с последующей опытной верификацией принятых решений. И при невозможности производства изделие возвращается в конструкторский отдел на доработку, а возможно и на новый расчет оптической системы. Зачастую основной причиной невозможности производства становится неправильный выбор материала.

Описанный выше алгоритм очевидно не очень эффективен как с точки зрения временных затрат так и с экономической точки зрения. В идеале, на самом важном первом этапе разработки и принятия решений должны принимать участие с разной степенью ответственности все заинтересованные стороны: заказчик, инженер-расчетчик, инженер-конструктор, инженер-технолог. Но до сих пор многие предприятия используют функциональный подход к производству и проектированию, когда

конструктор, сдав документацию, практически забывает о разработке и полностью переключается на новое изделие. Альтернативой может служить проектный подход, который должен устранить описанные выше проблемы. Но и тут возникают сложности. Современное производство отличается специализацией предприятий на своих ключевых компетенциях и сильных сторонах. И если это не специализированное оптическое предприятие то, скорее всего, расчет оптической системы будет либо получен от заказчика, либо отдан в компании специализирующиеся на данном виде расчетов. Что делает ситуацию схожей с той, что была описана выше. Необходима тесная интеграция всех участвующих в разработке отделов и предприятий. Решить проблему могут помочь современные компьютерные технологии: виртуализация разработки и расчетов, виртуальное моделирование технологических процессов, единое информационное пространство. Тогда процесс разработки принимает нелинейный характер рис. 2 и ключевой задачей объединяющей все три этапа проектирования является выбор материала.

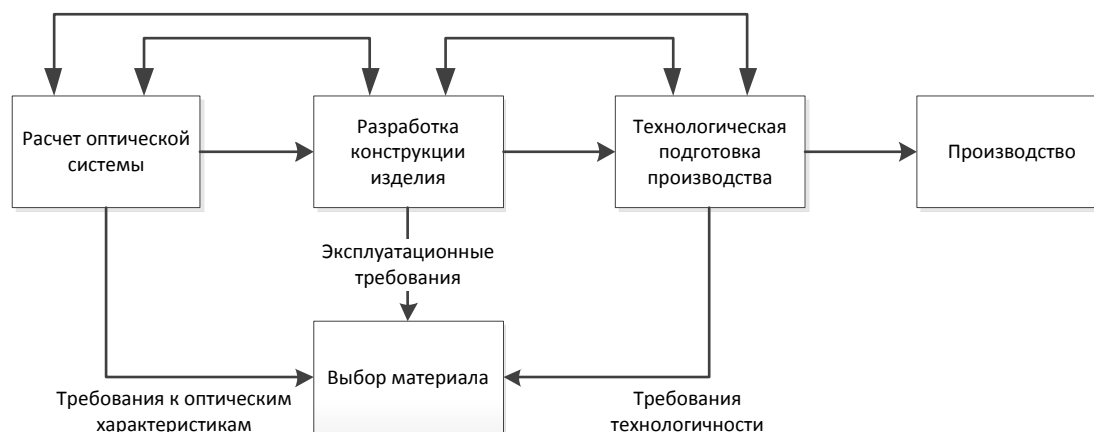


Рис. 2. Блок-схема модернизированного процесса

От свойств материала зависят оптические характеристики изделия, конструктивные особенности, возможности технологии и производства, а, следовательно, и достижимая точность и характеристики изделия. Сегодня доступен широкий спектр полимерных материалов.

Важно также отметить, что не все свойства зависят только от характеристик материала. Литейная усадка является важным параметром заданного материала, определяющим возможность точно воспроизвести мелкие детали объекта и удовлетворить жесткие требования допусков на размеры. Не смотря на то, что показатель объемной усадки является характеристикой материала, он также зависит от параметров технологического процесса. Таким образом, прогнозирование усадки при литье под давлением является довольно сложной проблемой [2]. Это только один из примеров необходимости учета технологии производства еще на первой стадии проектирования изделия.

Системы виртуального моделирования позволяют также сократить количество циклов опытного производства, а возможно и полностью избавиться от них. Все изменения в параметрах технологии, а проверку работоспособности и доработку средств технологического оснащения можно проводить в среде виртуальных моделей, что позволяет существенно увеличить скорость ввода изделия в производство и экономить средства. Еще одним преимуществом применения систем виртуального моделирования литейных процессов при подготовке производства является возможность предварительной оценки принимаемых конструкторских решений. Например, можно оценить возможности производства или возможные дефекты рассчитанного оптического изделия еще до стадии конструкторского проектирования.

Таким образом, ключевыми условиями для повышения качества производственного процесса должны стать: целенаправленный выбор полимерного оптического материала; новый подход к организации процесса подготовки производства; применение современных средств инженерных расчетов в едином информационном пространстве.

Литература

1. Серова В.Н. Полимерные оптические материалы. – СПб: Научные основы и технологии, 2011. – 384 с.
2. Mayer R. Precision injection molding // *Optik & Photonik*. – 2007. – № 4. – С. 46–51.

УДК 536.629.7

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ МАТРИЦЫ ФИШЕРА ДЛЯ ОЦЕНКИ ПОГРЕШНОСТИ НЕСТАЦИОНАРНОЙ ТЕПЛОМЕТРИИ ПРИ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ НА ПРИМЕРЕ БАТАРЕЙНОГО ПРИЕМНИКА ТЕПЛОВОГО ПОТОКА

И.А. Сиваков

Научный руководитель – д.т.н., профессор Н.В. Пилипенко

Рассмотрен приближенный метод учета и априорного анализа основных методических погрешностей нестационарной теплотометрии, при использовании для восстановления плотности теплового потока метода параметрической идентификации. Метод основан на обращении матрицы Грама (информационной матрицы Фишера), составляющими которой являются функции чувствительности измеряемых температур в датчике. Приведены результаты решения граничной обратной задачи теплопроводности для батарейного датчика при различном уровне шумов в измерениях.

Ключевые слова: нестационарная теплотометрия, датчик Герашенко, параметрическая идентификация, совместные доверительные области и интервалы, погрешность.

При исследовании промышленных объектов и технологических процессов одной из наиболее проблемных задач теплотометрии является определение нестационарных условий теплообмена с помощью приемников теплового потока (ПТП) по измеренным в них температурам или их разностям в отдельных точках. При этом остро встает вопрос об оценке погрешности восстановления теплового потока $q(\tau)$.

Принципиальной особенностью нестационарной теплотометрии является то, что в общем случае приходится преодолевать тепловую инерционность ПТП расчетным путем. Возникающие при этом погрешности могут быть отнесены к основным погрешностям нестационарной теплотометрии. Они являются весьма существенными, а иногда и определяющими. Сложности устранения и оценивания основных погрешностей определяются следующими обстоятельствами:

- задача восстановления $q(\tau)$ относится к некорректно поставленным обратным задачам теплопроводности (ОЗТ) и ее решение существенно влияет на погрешность нестационарной теплотометрии;
- дополнительные сложности связаны с функционированием ПТП как автономного средства измерений, длительно работающего в режиме реального времени. Это выдвигает требования высокой вычислительной эффективности алгоритмов восстановления $q(\tau)$ при сохранении их достаточной точности, а также наличия информации о моменте начала воздействия теплового потока на рабочую поверхность ПТП.

В связи с этим, в данной статье предлагается метод построения совместных

доверительных областей (СДО) и интервалов (СДИ) результатов восстановления теплового потока $q(\tau)$, получаемых путем параметрической идентификации теплопереноса в ПТП для случая нестационарной теплотметрии. В основе метода лежит обращение матрицы Грама (информационной матрицы Фишера), составляющими которой являются функции чувствительности измеряемых в ПТП температур или их перепадов к искомым параметрам кусочно-линейной аппроксимации $q(\tau)$.

В работах [1–5] показана целесообразность использования метода параметрической идентификации для решения ОЗТ, так как последний удовлетворяет общепринятым требованиям устойчивости и сходимости вычислительных процедур, точности конечных результатов, универсальности, простоты программной реализации и др.

В данном методе принимается допущение о том, что известен характер изменения $q(\tau)$, который позволяет с требуемой точностью выполнить кусочно-линейную аппроксимацию на всем интервале его изменения [1–5]:

$$q(\tau) = \sum_{j=1}^r q_j \varphi_j(\tau),$$

где $\varphi_j(\tau)$ – система базисных функций времени, а q_j – априори неизвестные коэффициенты, которые объединяются в $(r \times 1)$ -вектор искоемых параметров

$$\mathbf{Q} = [q_1 \quad q_2 \quad \dots \quad q_r]^T.$$

В качестве базисной функции используются В-сплайны 1-го порядка, а такую аппроксимацию называют параметризацией ОЗТ. Задача восстановления плотности теплового потока сводится к параметрической идентификации дифференциально-разностной модели (ДРМ) теплопереноса в ПТП – последовательному получению оптимальных оценок $\hat{\mathbf{Q}}_{z,l}$ вектора искоемых параметров \mathbf{Q}_z на каждом временном участке Δ_z путем минимизации по \mathbf{Q}_z квадратичной функции невязки:

$$\Phi(\mathbf{Q}_z) = \sum_{k=1}^l (\mathbf{Y}_k - \hat{\mathbf{Y}}_k(\mathbf{Q}_z))^T \cdot R^{-1} \cdot (\mathbf{Y}_k - \hat{\mathbf{Y}}_k(\mathbf{Q}_z)),$$

где $\hat{\mathbf{Y}}_k(\mathbf{Q}_z)$ – аналог вектора измерений \mathbf{Y}_k , рассчитываемый по ДРМ теплопереноса в ПТП для различных значений искоемых параметров \mathbf{Q}_z , который будем называть модельным вектором измерений; R – ковариационная $(m \times m)$ -матрица вектора $\boldsymbol{\varepsilon}_k$ случайных погрешностей в измерениях температур ПТП.

С учетом требований к теплотметрическим измерительным системам реального времени предпочтение отдано рекуррентным алгоритмам минимизации, в частности, алгоритмам цифрового фильтра Калмана (ФК) [3–5]. Они отличаются высокой вычислительной эффективностью и изначально предназначены для работы в измерительно-вычислительных системах реального времени.

Для получения оптимальных оценок \mathbf{Q}_{k+1} вектора \mathbf{Q} в $(k+1)$ -й момент времени ФК по искомым параметрам имеет вид [3–5]:

$$\mathbf{Q}_{k+1} = \hat{\mathbf{Q}}_k + K_{k+1} [\mathbf{Y}_{k+1} - \hat{\mathbf{Y}}_{k+1}(\hat{\mathbf{Q}}_k)],$$

$$K_{k+1} = P_k H_k^T (H_k P_k H_k^T + R)^{-1},$$

$$P_{k+1} = P_k - K_{k+1} H_k P_k,$$

где P_k , P_{k+1} – ковариационные матрицы ошибок оценок параметров для моментов времени $\tau_k = k \cdot \Delta\tau$ и $\tau_{k+1} = (k+1)\Delta\tau$; H_k – матрица коэффициентов чувствительности измеряемой температуры ПТП к изменению искоемых параметров в момент времени τ_{k+1} ; K_k – весовая матрица.

В соответствие с описанным в работах [6–8] предполагается, что погрешности

оценок $\hat{\mathbf{Q}}_N$, полученных по результатам N измерений, для линейных $\Phi(\mathbf{Q})$ точно, а для нелинейных – приближенно характеризуются ковариационной $(r \times r)$ -матрицей $P(\hat{\mathbf{Q}}_N)$ ошибок оценок $\hat{\mathbf{Q}}_N$.

Для случая когда $(m \times 1)$ -вектор случайных погрешностей $\boldsymbol{\varepsilon}_k$ в измерениях имеет нулевое математическое ожидание $E[\boldsymbol{\varepsilon}_k] = 0$, а его составляющие не коррелированы между собой, нормально распределены и обладают априорной дисперсией σ^2 , ковариационная матрица погрешностей в измерениях R имеет вид [8]

$$R = E[\boldsymbol{\varepsilon}_k \cdot \boldsymbol{\varepsilon}_k^T] = \sigma^2 \cdot I,$$

где I – единичная $(m \times m)$ -матрица.

Тогда в соответствии с [8] ковариационная матрица $P(\hat{\mathbf{Q}}_N)$ имеет следующий вид:

$$P(\hat{\mathbf{Q}}_N) = \sigma^2 A_N^{-1}, \quad (1)$$

$$\text{где } A_N = \Phi = \begin{pmatrix} \sum_i \sum_k U_{ik}^2 & \sum_i \sum_k U_{i2k} \cdot U_{i1k} & \dots & \sum_i \sum_k U_{irk} \cdot U_{i1k} \\ \sum_i \sum_k U_{i1k} \cdot U_{i2k} & \sum_i \sum_k U_{i2k}^2 & \dots & \sum_i \sum_k U_{irk} \cdot U_{i2k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \sum_i \sum_k U_{i1k} \cdot U_{irk} & \sum_i \sum_k U_{i2k} \cdot U_{irk} & \dots & \sum_i \sum_k U_{irk}^2 \end{pmatrix} \quad \text{– матрица Грама}$$

(информационная матрица Фишера), составляющими которой являются функции чувствительности $U_{ijk} = \frac{\partial}{\partial q_j} y_i(\hat{\mathbf{Q}}_N)$ i -ой составляющей вектора измерений \mathbf{Y}_k к изменению j -ой составляющей q_j вектора искомых параметров \mathbf{Q} в k -й момент времени ($k = 1, 2, \dots, N_i$; $i = 1, 2, \dots, m$; $j = 1, 2, \dots, r$).

Функции чувствительности U_{ijk} – важные характеристики теплоизмерительной системы, отражающие все значимые факторы теплотемрии. Для некоторых линейных ПТП U_{ijk} могут быть определены аналитическим путем, а в общем случае – численным расчетом по математической модели теплопереноса в ПТП [8].

Диагональные элементы матрицы $P(\hat{\mathbf{Q}}_N)$ представляют собой дисперсии оценок q_j , а остальные элементы – отражают их взаимные корреляции. Известно также, что при заданном уровне σ^2 ошибок измерений точность определения $\hat{\mathbf{Q}}_N$ связана с квадратичной формой $\hat{\mathbf{Q}}_N^T A \hat{\mathbf{Q}}_N$, описывающей в окрестности точки $\hat{\mathbf{Q}}_N$ многомерный эллипсоид, который является совместной доверительной областью (СДО) найденных оценок, характеризующей точность косвенных измерений [8, 9]. В пространстве параметров q_j СДО имеет следующий вид гиперэллипсоида рассеивания [6, 9]:

$$(\mathbf{Q} - \hat{\mathbf{Q}}_N)^T \cdot P^{-1}(\hat{\mathbf{Q}}_N) (\mathbf{Q} - \hat{\mathbf{Q}}_N) = r \cdot F_n(r, N - 2), \quad (2)$$

где $F_v(r, N - 2)$ – квантиль распределения Фишера для доверительной вероятности v ; r – количество искомых параметров; N – количество моментов времени измерения вектора измерений до \mathbf{Y}_k ($k = 1, 2, 3, \dots, N$).

В уравнение (2) вместо $P^{-1}(\hat{\mathbf{Q}}_N)$ в соответствии с (1) введем матрицу Грама A . С этой цели вместо априорной дисперсии σ^2 рекомендуется вводить реальные для

проведенных экспериментов значения либо выборочной дисперсии измерений S_0^2 для случая скалярного ($m=1$) вектора измерений $\mathbf{Y}_k = y_k$, либо квадрата стандартной ошибки S_N оценок $\hat{\mathbf{Q}}_N$ для случая векторного ($m \geq 2$) измерения.

Тогда уравнение (2) для СДО с учетом (1) и полученных выше значений S_0^2 и S_N^2 можно записать в виде:

$$(\mathbf{Q} - \hat{\mathbf{Q}}_N)^T \cdot A_N \cdot (\mathbf{Q} - \hat{\mathbf{Q}}_N) = B, \quad (3)$$

где $B = \begin{cases} S_0^2 \cdot r \cdot F_V(r, N-r) - \text{для } m=1; \\ S_N^2 \cdot r \cdot F_V(r, N-r) - \text{для } m \geq 2. \end{cases}$

В целях упрощения вместо СДО, в которую с доверительной вероятностью v попадают оценки $\hat{\mathbf{Q}}_N$, можно использовать СДИ $\pm \Delta q_j$ полученных оценок \hat{q}_j – проекции гиперэллипсоида (3) на оси параметров q_j . Их можно рассчитать по формуле:

$$\Delta q_j = \pm \sqrt{a_{jj} \cdot B}, \quad (4)$$

где a_{jj} – диагональные элементы обратной ($r \times r$)-матрицы Грама A_N^{-1} .

В соответствие с вышеизложенным для случая, когда $\mathbf{Q}_z = [q_{az} \quad q_{bz}]^T$, т.е. количество искомых параметров на каждом z -ом участке $r = 2$, справедливы следующие зависимости для оптимальных оценок $\hat{\mathbf{Q}}_l$ и ковариационной (2×2)-матрицы ее ошибок $P(\hat{\mathbf{Q}}_l)$:

$$\begin{aligned} \hat{\mathbf{Q}}_l &= P(\hat{\mathbf{Q}}_l) \sum_{k=1}^l \left(\frac{\partial \mathbf{Y}_k}{\partial \mathbf{Q}} \right)^T \hat{\mathbf{Q}}_l \cdot \mathbf{Y}_k = P(\hat{\mathbf{Q}}_l) \sum_{k=1}^l H_k^T \cdot \mathbf{Y}_k, \\ P(\hat{\mathbf{Q}}_l) &= \left(\sum_{k=1}^l H_k^T R^{-1} H_k \right)^{-1}, \end{aligned} \quad (5)$$

где ($m \times 2$)-матрица функций чувствительности H_k , которая имеет вид

$$H_k = \left(\frac{\partial \mathbf{Y}_k}{\partial \mathbf{Q}} \right) \hat{\mathbf{Q}}_l = \begin{vmatrix} \frac{\partial y_{1k}}{\partial q_a} & \frac{\partial y_{1k}}{\partial q_b} \\ \dots & \dots \\ \frac{\partial y_{mk}}{\partial q_a} & \frac{\partial y_{mk}}{\partial q_b} \end{vmatrix} \hat{\mathbf{Q}}_l = \begin{vmatrix} U_{11k} & U_{12k} \\ \dots & \dots \\ U_{m1k} & U_{m2k} \end{vmatrix} \hat{\mathbf{Q}}_l. \quad (6)$$

Матрицу H_k составляют функции чувствительности U_{ijk} . По определению:

$$U_{i1k} = \frac{\partial y_{ik}}{\partial q_a} \Big|_{\hat{\mathbf{Q}}_l}, \quad U_{i2k} = \frac{\partial y_{ik}}{\partial q_b} \Big|_{\hat{\mathbf{Q}}_l}.$$

Тогда формула (5) в соответствии с выражением (6) для матрицы H_k функции чувствительности в рассматриваемом случае преобразуется к виду

$$P(\hat{\mathbf{Q}}) = \sigma^2 A_l^{-1}, \quad (7)$$

$$\text{где } A_l = \sum_{k=1}^l H_k^T \cdot H_k = \begin{vmatrix} \sum_{k=1}^l \sum_{i=1}^m U_{m1k}^2 & \sum_{k=1}^l \sum_{i=1}^m U_{m1k} \cdot U_{m2k} \\ \sum_{k=1}^l \sum_{i=1}^m U_{m2k} \cdot U_{m1k} & \sum_{k=1}^l \sum_{i=1}^m U_{m2k}^2 \end{vmatrix} \Big|_{\mathbf{Q} = \hat{\mathbf{Q}}_l}. \quad (8)$$

Введем понятие характеристической ковариационной матрицы \bar{P}_l , которая является обращенной матрицей Грама и имеет вид

$$\bar{P}_l = A_l^{-1} = \begin{vmatrix} \bar{p}_{11} & \bar{p}_{12} \\ \bar{p}_{21} & \bar{p}_{22} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} a_{11}^* & a_{12}^* \\ a_{21}^* & a_{22}^* \end{vmatrix}. \quad (9)$$

Тогда выражение (7) для $P(\hat{Q}_l)$ примет вид

$$P(\hat{Q}_l) = \sigma^2 \cdot A_l^{-1} = \sigma^2 \cdot \bar{P}_l. \quad (10a)$$

$$P(\hat{Q}_l)^{-1} = \frac{1}{\sigma^2} \bar{P}_l^{-1} = \frac{1}{\sigma^2} A_l. \quad (10б)$$

Таким образом, в соответствии с изложенным выше и формулой (10) удастся разделить влияние уровня случайных погрешностей в исходных измерениях (σ^2) и значений элементов характеристической ковариационной матрицы \bar{P}_l . Она через матрицу функций чувствительности H_k количественно отражает влияние всех значимых факторов процесса нестационарной теплотметрии, к которым будем относить:

- особенности конструкции, тепловой схемы и теплофизических характеристик материалов ПТП;
- структуру вектора измерений Y_k : вид, количество и топология размещения в ПТП датчиков для измерения температуры или ее перепадов;
- особенности нестационарных температурных процессов в ПТП, включая начальное распределение температур T_0 , которые определяются видом восстанавливаемого $q(\tau)$;
- количество измерений l вектора измерений Y_k на участке z наблюдаемого переходного процесса при $k=1, 2, \dots, l$.

В свою очередь, дисперсия σ^2 случайных погрешностей в измерениях температуры ПТП, в предположении нормальности их функции распределения, учитывает особенности и качество как первичных термометров (чувствительных элементов ПТП), так и регистрирующей аппаратуры. Форма СДО или величина СДИ, также как и ковариационная матрица $P(\hat{Q}_l)$, зависят от перечисленных значимых факторов процесса теплотметрии. Таким образом, представленный метод позволяет получать статистически обоснованные оценки точности оценок \hat{q}_j в форме СДО или СДИ.

СДО, которые в рассматриваемом случае имеют форму эллипсов в пространстве двух искомых параметров q_a и q_b , описываются уравнением (3) и могут быть построены методом канонического анализа. Подставив в (3) найденные величины A_l и B^* и проведя соответствующие преобразования, получим следующее уравнение кривой второго порядка (эллипса) в координатах $\Delta q_a = q_a - \hat{q}_{a,l}$ и $\Delta q_b = q_b - \hat{q}_{b,l}$:

$$a_{11} \cdot (\Delta q_a)^2 + 2a_{12} (\Delta q_a) \cdot (\Delta q_b) + a_{22} \cdot (\Delta q_b)^2 = B^*. \quad (11)$$

СДИ могут быть построены путем нахождения проекций СДО (11) на оси координат двумерного пространства составляющих q_a и q_b вектора искомых параметров Q . Выражения для границ доверительных интервалов имеют вид:

$$(\Delta q_a)_{cp} = \pm \sqrt{\frac{-a_{22} \cdot B^*}{a_{12}^2 - a_{11} \cdot a_{22}}} = \pm \sqrt{\frac{a_{22} \cdot B^*}{\det A}},$$

$$(\Delta q_b)_{cp} = \pm \sqrt{\frac{-a_{11} \cdot B^*}{a_{12}^2 - a_{11} \cdot a_{22}}} = \pm \sqrt{\frac{a_{11} \cdot B^*}{\det A}}.$$

В связи с существенно более простой методикой построения СДИ они рекомендуются для практического использования. При этом могут возникнуть вычислительные проблемы с обращением матрицы Грама, элементы которой могут значительно отличаться числовыми порядками, а матрица из-за этого быть недостаточно обусловленной. Известны методы повышения точности обращения подобных матриц, наиболее простым из которых является их масштабирование [9].

В качестве иллюстрации возможностей предложенного метода и его применимости к нестационарной теплотметрии на рисунке приведен результат решения граничной обратной задачи теплопроводности для батарейного ПТП при различном уровне шумов в измерениях.

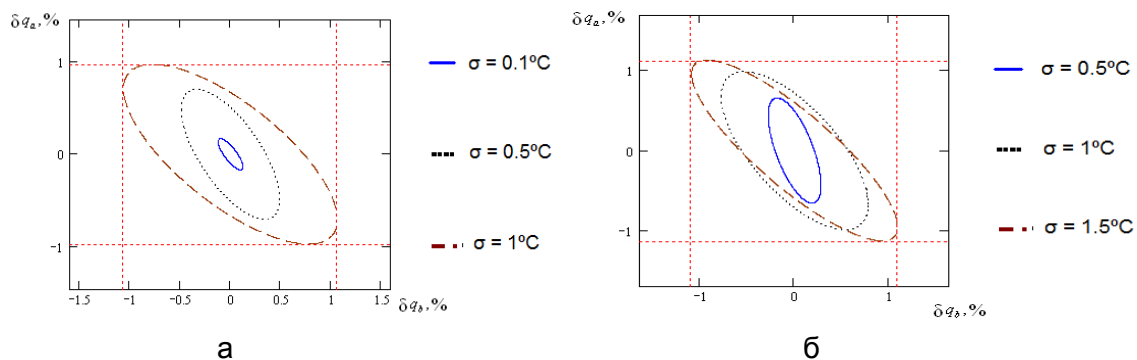


Рисунок. СДО и СДИ для батарейного ПТП:

$$\mathbf{Q} = |q_a \quad q_b| = \left| 3 \cdot 10^4 \quad 8 \cdot 10^4 \right| \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2} \text{ (а); } \mathbf{Q} = |q_a \quad q_b| = \left| 1 \cdot 10^5 \quad 6 \cdot 10^5 \right| \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2} \text{ (б)}$$

Заключение

Предложен общий для различных типов ПТП приближенный метод учета и априорного анализа основных методических погрешностей нестационарной теплотметрии, при использовании для восстановления $q(\tau)$ метода параметрической идентификации ДРМ ПТП. Данная методология позволяет учесть определяющую погрешность параметрической идентификации, вызываемую взаимным влиянием шума в исходных измерениях и топологией функции невязки $\Phi(\mathbf{Q})$ в пространстве искомых параметров. Для решения задачи использованы известные результаты теории метода наименьших квадратов и анализа процессов статистическими методами.

Показано, что на основе матрицы Грама можно построить СДО или СДИ, в которые с заданной доверительной вероятностью попадают получаемые на каждом участке оценки, аппроксимирующие $q(\tau)$ и которые, как известно, являются нормативными показателями погрешностей косвенных измерений.

В качестве иллюстрации возможностей предложенной методологии и ее применимости к нестационарной теплотметрии приведены результаты построений СДО при постановке граничной ОЗТ для батарейного ПТП.

Литература

1. Пилипенко Н.В. Методы параметрической идентификации в нестационарной теплотометрии. Часть 1 // Изв. вузов. Приборостроение. – 2003. – № 8. – Т. 46. – С. 50–54.
2. Пилипенко Н.В. Методы параметрической идентификации в нестационарной теплотометрии. Часть 2 // Изв. вузов. Приборостроение. – 2003. – № 10. – Т. 46. – С. 67–71.
3. Кириллов К.В., Пилипенко Н.В. Алгоритмы программ для решения прямых и обратных задач теплопроводности при использовании дифференциально-разностных моделей // Научно-технический вестник СПбГУ ИТМО. – 2010. – № 5. – С. 106–110.
4. Пилипенко Н.В., Сиваков И.А. Метод определения нестационарного теплового потока и теплопроводности путем параметрической идентификации // Измерительная техника. – 2011. – № 3. – С. 48–51.
5. Pilipenko N.V., Sivakov I.A. A method of determining nonstationary heat flux and heat conduction using parametric identification // Measurement Techniques. – 2011. – V. 54. – № 3. – P. 318–323.
6. Епифанов С.В., Симбирский Д.Ф., Каплун С.И. Оптимальный выбор измеряемых параметров при идентификации ГТД. Совместные доверительные области и интервалы результатов идентификации // Изв. вузов. Авиационная техника. – 1990. – № 1. – С. 57–62.
7. Макаренко Г.В. Оптимальное планирование эксперимента при идентификации параметров теплопереноса в элементах теплоэнергетического оборудования // Сборник научных трудов. – ХАИ. – 1998. – С. 360–363.
8. Симбирский Д.Ф. Метрология косвенных измерений // Измерительная техника. – 1983. – № 1. – С. 12–14.
9. Химельблау Д.Т. Анализ процессов статистическими методами. – М.: Мир, 1973. – 957 с.

УДК 330.338.24

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ ИННОВАЦИОННО-ИНВЕСТИЦИОННЫМ ПРОЕКТОМ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

М.В. Сивякова

(Владимирский государственный университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых)

Научный руководитель – д.э.н., доцент О.В. Лускатова

(Владимирский государственный университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых)

В настоящее время стабилизация российской экономики, ужесточение конкурентного взаимодействия, диверсификация бизнесов и организационных структур компаний ведет к необходимости осуществлять поступательное сбалансированное развитие, т.е. эффективно управлять портфелем проектов. В работе разработана модель управления портфелем продукции машиностроительного предприятия, которая включает в себя: создание методической базы для управления портфелем новой продукции, определение зон ответственности участников реализации проекта на всех стадиях его жизненного цикла.

Устойчивое функционирование всех отраслей промышленности, является главным плацдармом подъема экономики России и придания ей инновационного характера. От развития промышленности во многом зависит – сможет ли Россия занять ведущее

место среди государств, обладающих высокотехнологичной промышленностью и производящих продукцию, конкурентоспособную на мировых рынках, или превратится в сырьевой придаток экономик развитых стран мира.

Стабилизация российской экономики, ужесточение конкурентного взаимодействия, диверсификация бизнесов и организационных структур компаний – все это ведет к необходимости осуществлять поступательное сбалансированное развитие, т.е. к стратегическому управлению портфелем инновационных проектов.

Компании трудно существовать и функционировать на протяжении многих лет в условиях быстро изменяющейся среды и суровой конкурентной борьбы. Ключом к решению этой задачи и является стратегическое управление.

Внешняя среда изменяется все быстрее и становится менее прозрачной. Это обусловлено технологической революцией и последовавшими за ней переменами в обществе, постоянными изменениями потребительских предпочтений, изменениями системы ценностей работников, глобализацией конкурентной борьбы и другими факторами.

В системах управления организаций выделяют два вида проблем: первый – организация не достигает поставленных целей, второй – у нее имеются неиспользованные рыночные возможности. Обе проблемы могут решаться путем инноваций, в частности, разработкой нового или модернизацией существующего товара.

Стратегия управления инновациями реализуется через организационно-экономическую систему. Конечным результатом функционирования стратегии является выпуск новых изделий, разработка конкурентных технологий, организационных форм управления.

В рамках инновационной стратегии возникает необходимость принятия логически связанной последовательности стратегических инновационных решений, отражающих различные этапы и элементы реализации инновационной стратегии и влияющих на риски ее реализации [2].

В рамках инновационной деятельности возможна одновременная реализация определенного набора инновационных проектов, входящих в инновационную «корзину» организации, на различных этапах жизненного цикла.

При разработке и создании проектов сложных видов продукции реализуются принципы научно-технического развития, основанные на свойствах сложных систем. Глубина проводимых исследований определяется типом реакции хозяйствующего субъекта на изменения внешней среды: носит ли эта реакция конкурентный, инновационный или преобразующий (предпринимательский) характер.

Цель инноваций – идеальный результат инновационной деятельности в будущем. Разработка нового товара или модификация существующего для продления рыночных или эксплуатационных циклов. Для достижения определенных инновационных целей у каждого предприятия должна быть своя программа и система управления разработкой новых и усовершенствования, модификации существующих товаров.

Основой для построения системы стратегического управления всегда является модель.

Модель – это явление, предмет, установка, знаковое образование или условный образ, находящиеся в некотором соответствии с изучаемым объектом и способные замещать его в процессе исследования, давая информацию об объекте.

Модели используются как в процессе самой инновационной деятельности, так и в процессе оценки ее экономической эффективности в целом, а также эффективности отдельных инновационных проектов [1].

При разработке сложных товаров (машиностроение, автомобильная промышленность) с целью эффективного управления имеет место следующая совокупность решаемых задач, технологий выполнения работ и проводимых

экспериментов. При выполнении процесса «Управление инновационно-инвестиционным проектом» осуществляется взаимодействие с другими процессами и с внешней средой по входу, выходу и управлению.

1. Сбор и обработка заявок на освоение новой продукции. Выполняется на этапе предпроектных маркетинговых исследований или этапе аванпроекта.
2. Разработка технико-экономического обоснования. Проводится оценка затрат, сроков и возможности разработки и производства нового продукта, оценка его себестоимости при серийном производстве, прогнозируются объемы и цены продаж, производится расчет технико-экономического обоснования.
3. Формирование и корректировка программы разработки и постановки на производство новой продукции (ПРПП). Обработка, структурирование, анализ данных об условиях, целях и задачах инновационного проекта, полученных на предыдущих этапах является важным этапом проектирования системы стратегического управления инновационным проектом, влияющим на правильность определения как целей, так и задач, сроков, затрат и рисков инновационного проекта.
4. Разработка бизнес-плана. Разрабатывается, согласовывается и утверждается бизнес-план проекта ПРПП.
5. Управление проектом создания нового продукта. Запуск проекта, планирование и мониторинг выполнения проекта, управление изменениями проекта, закрытие проекта.
6. Мониторинг выполнения ПРПП. Производится контроль выполнения утвержденной ПРПП [3].

Таким образом, разработана модель управления портфелем продукции машиностроительного предприятия, включающая:

- создание методической базы для управления портфелем новой продукции, которая позволит предприятию идентифицировать и отбирать для реализации проекты, стратегическая ценность и экономическая эффективность которых максимальна с учетом финансовых возможностей предприятия и временных рамок;
- определение зон ответственности участников реализации проекта на всех стадиях его жизненного цикла от разработки технико-экономического обоснования до закрытия;
- систематизацию контрольно-учетной политики по инвестиционным затратам для эффективной реализации инновационных проектов и повышения ответственности исполнителей за качество выполнения проектных работ.

Литература

1. Ласкина Л.Ю., Сивякова М.В. Разработка модели управления портфелем новой продукции машиностроительного предприятия // Экономика и экологический менеджмент. – 2012. – № 1. – С. 242–247.
2. Ильенкова С.Д., Гохберг Л.М., Ягудин С.Ю. и др. Инновационный менеджмент. Учебник для вузов / Под ред. проф. С.Д. Ильенковой. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2003. – 343 с.
3. Flehinger B.J. Product test planning for repairable systems // Technometrics. – 1965. – V. 7. – № 4.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ЭКСПЕРТНЫХ ОЦЕНОК В ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Е.Н. Созинова

Научный руководитель – к.т.н., доцент Г.П. Жигулин

Данная статья рассматривает вопрос о применении метода экспертных оценок в области информационной безопасности. Описаны действия на каждом этапе экспертного оценивания, приведены примеры проведения экспертизы и произведен статистический анализ результатов.

Ключевые слова: прогнозирование, информационная безопасность, метод исследования, экспертная оценка.

Сущность метода экспертных оценок заключается в проведении экспертами интуитивно-логического анализа проблемы с количественной оценкой суждений и формальной обработкой результатов. Обобщенное мнение экспертов, полученное в результате обработки, принимается как решение проблемы [1].

Метод коллективной экспертной оценки – метод прогнозирования, основанный на выявлении обобщенной оценки экспертной группы путем обработки индивидуальных, независимых оценок, вынесенных экспертами, входящими в группу. Данный вид экспертной оценки считается наиболее достоверным.

Основная идея данной работы заключается в сочетании мнения экспертов, с количественными методами оценки и обработки получаемых результатов. На основе экспертных оценок, производится процедура интуитивно-логического мышления человека в сочетании с качественными и количественными методами оценки и обработки получаемых результатов [1, 2]. Для обработки результатов и для оценки степени согласованности мнений экспертов по решению исследуемой проблемы используется математико-статистический инструментарий. Так же необходимо рассчитать дисперсию оценок, среднее квадратическое отклонение и коэффициент вариации оценок. Такой комплексный подход позволяет получить эффективное решение, точный результат и позволяет предопределить развитие проблемных ситуаций, носящих долгосрочный характер.

Этапы экспертного оценивания [1, 3]:

1. постановка цели исследования;
2. выбор формы исследования;
3. подбор экспертов;
4. проведение экспертизы;
5. статистический анализ результатов;
6. подготовка отчета с результатами экспертного оценивания.

Постановка цели исследования. Цель данного исследования – это прогнозирование событий в области информационной безопасности (ИБ).

Для этого необходимо получить ответы на следующие вопросы [4, 5]:

- Какая страна будет основным источником кибератак?
- Благодаря чему достигается наибольший эффект от информационных войн?
- Есть ли реальная угроза кибервойн между государствами?
- Будет ли увеличиваться количество ИТ-инцидентов, связанных со сбоями и техногенными авариями?
- Велика ли вероятность осуществления информационных атак, направленных на дестабилизацию финансовых рынков?

Выбор формы исследования [4]:

- по форме участия экспертов: заочное;

- по количеству итераций: одношаговое;
- по решаемым задачам: оценивающие варианты;
- по типу ответа: оценивающие объект в относительной или абсолютной (численной) шкале;
- по способу обработки мнений экспертов: непосредственное;
- по количеству привлекаемых экспертов: ограниченное – 5 экспертов.

Подбор экспертов. Эксперты должны обладать опытом в областях, соответствующих решаемым задачам [5].

Эксперт № 1: Один из ведущих мировых экспертов в области кибербезопасности, глава канадской компании «***» [6].

Эксперт № 2: Вице-президент Ассоциации профессионалов в области ИБ «***» [7].

Эксперт № 3: Эксперт в области кибербезопасности, сертифицированный специалист в области ИБ – CISSP [8].

Эксперт № 4: Эксперт, специализирующийся на обеспечении комплексной ИБ, непрерывности бизнеса и противодействию мошеннических операций в области ИБ [9].

Эксперт № 5: Эксперт по ИБ, руководитель Центра информационной безопасности компании «***», которая является признанным лидером российского рынка в области виртуализации и облачных вычислений [10].

Проведение экспертизы. Рациональное использование информации, получаемой от экспертов, возможно при условии преобразования ее в форму, удобную для дальнейшего анализа. Информацию, не поддающуюся количественному измерению, необходимо представить в виде косвенных оценок. Для этого вводим систему предпочтений. Предпочтения заданы по интервальной шкале от 0 до 10 [1, 3].

Ответы, полученные от экспертов заносятся в табл. 1: в виде конкретных ответов или ответу специалиста присваивается конкретная оценка, которая выражается в баллах.

Таблица 1. Ответы экспертов

№ эксперта	№ вопроса				
	1	2	3	4	5
1	США	Новые виды атак	10	5	7,5
2	Китай	Комплексные атаки	5	10	5
3	США	Ошибки персонала	0	7,5	5
4	Россия	Непредсказуемость	5	7,5	10
5	США	Комплексные атаки	2,5	5	10

Статистический анализ результатов. После получения ответов экспертов необходимо провести их оценку.

1. Результаты по вопросам №1 (табл. 2) и № 2 (табл. 3) считаются по формуле:

$$K = (S - N) \times 100\%.$$

Таблица 2. Ответы на вопрос № 1

Вопрос № 1		
Страна	Кол-во голосов S	K (%)
США	3	60
Китай	1	20
Россия	1	20
N	5	100

Таблица 3. Ответы на вопрос № 2

Вопрос № 2		
Страна	Кол-во голосов S	K (%)
Новые виды атак	1	20
Комплексные атаки	2	40
Ошибки персонала	1	20
Непредсказуемость	1	20
N	5	100

2. Вопросы № 3, № 4, № 5 считаем по следующим формулам [11]:

$$R = X_{\max} - X_{\min}; (R \leq 7,5),$$

где R – вариационный размах; X_{\max} – максимальная оценка объекта; X_{\min} – минимальная оценка объекта.

Для предложенной шкалы 0–10 максимальная несогласованность может составлять не более 7,5 ($R \leq 7,5$); в противном случае отбрасываются максимальная и минимальная оценки.

$$X_{\text{cp}} = \sum(X_i) \div N,$$

где X_{cp} – вероятность наступления события; X_i – значение характеристики i -го эксперта; N – количество экспертов ($i=1, \dots, N$).

$$L = (1 - \delta) \div X_{\text{cp}}, (L \geq 0,4),$$

где L – коэффициент согласования мнений экспертов; d – дисперсия; δ – это среднее квадратическое отклонение значений ответов экспертов от среднего; X_{cp} – среднее значение характеристик.

Среднее квадратическое отклонение будет равно квадратному корню из дисперсии:

$$\delta^2 = \sum(X_i - X_{\text{cp}})^2 \div N.$$

Если $L < 0,4$ – оценка отвергается и проводится повторное исследование. При $L \geq 0,4$ исследование считается успешным.

После расчетов составляем матрицу ответов, табл. 4.

Таблица 4. Матрица ответов

Показатель	№ вопроса		
	№4	№5	№6
R	10	2,5	5
N	3	5	5
X_{cp}	4,2	7,0	7,5
δ^2	1,4	3,5	5,0
δ	1,18	1,87	2,23
L	0,72	0,73	0,70

Подготовка отчета с результатами экспертного оценивания.

– Вопрос № 1. Какая страна будет основным источником кибератак?

Ответ: США (60%)

– Вопрос № 2. Благодаря чему достигается наибольший эффект от информационных войн?

Ответ: Комплексные атаки (40%)

– Вопрос № 3. Есть ли реальная угроза кибервойн между государствами?

Ответ: уровень вероятности = 4,2 → событие имеет равные шансы наступления или ненаступления (скорее ненаступления); уровень согласования = 0,72 → уровень согласования экспертных мнений достаточно высокий. Результаты исследования

являются приемлемыми, так как коэффициент согласованности мнений экспертов достаточно высок.

– Вопрос № 4. Будет ли увеличиваться количество ИТ-инцидентов, связанных со сбоями и техногенными авариями?

Ответ: уровень вероятности = 7,0 → наступление события достаточно вероятно; уровень согласования = 0,73 → уровень согласования экспертных мнений достаточно высокий. Результаты исследования являются приемлемыми, так как коэффициент согласованности мнений экспертов достаточно высок.

– Вопрос № 5. Велика ли вероятность осуществления информационных атак, направленных на дестабилизацию финансовых рынков?

Ответ: уровень вероятности = 7,5 → наступление события достаточно вероятно; уровень согласования = 0,7 → уровень согласования экспертных мнений достаточно высокий. Результаты исследования являются приемлемыми, так как коэффициент согласованности мнений экспертов достаточно высок.

Прогноз.

- Основным источником кибератак будет – США.
- С помощью комплексных атак будет достигаться наибольший эффект от информационных войн.
- Существует угроза кибервойн между государствами, но не в ближайшее время.
- Количество ИТ-инцидентов, связанных со сбоями и техногенными авариями – будет увеличиваться.
- Велика вероятность осуществления информационных атак, направленных на дестабилизацию финансовых рынков.
- Точность прогноза ≈ 65%.

Используя метод экспертных оценок в области ИБ можно [1, 3]:

- выбрать лучший вариант решения среди имеющихся;
- спрогнозировать развитие процессов;
- найти возможное решение сложных задач;
- решать различные задачи, не поддающиеся решению обычным аналитическим способом.

Литература

1. Орлов А.И. Организационно-экономическое моделирование: учебник: в 3 ч. – Ч. 2: Экспертные оценки. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. – 486 с.
2. Джарратано Дж., Райли Г. Экспертные системы. Принципы разработки и программирование. – М.: Вильямс, 2007. – 1152 с.
3. Орлов А.И. Экспертные оценки. Учебное пособие. – М.: ИВСТЭ, 2002. – 296 с.
4. Нейлор К. Как построить свою экспертную систему: пер с англ. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 286 с.
5. Информационный портал, посвященный вопросам управления информационной безопасностью. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.iso27000.ru, своб. – Яз. рус. (Дата обращения 20.11.2011).
6. Информационный портал, центр исследования компьютерной преступности. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.crime-research.ru, своб. – Яз. рус. (Дата обращения 20.11.2011).
7. Издательский дом Коммерсантъ. Новости online. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.kommersant.ru, своб. – Яз. рус. (Дата обращения 12.05.2012).

8. Информационный портал, посвященный международной конференции по техническим аспектам информационной безопасности. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.zeronights.ru, своб. – Яз. рус. (Дата обращения 17.02.2012).
9. Информационный портал, посвященный информационной безопасности. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.itsec.ru, своб. – Яз. рус. (Дата обращения 21.04.2012).
10. Сетевое издание по теме информационной безопасности. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.infosecurity-forum.ru, свободный. – Яз. рус. (Дата обращения 11.03.2011).
11. Шикин Е.В., Хартишвили А.Г. Математические методы и модели в управлении: учебное пособие. – М.: Дело, 2000. – 440 с.

УДК 621.9.048.7

ПЕРСПЕКТИВЫ ВНЕДРЕНИЯ ВОЛОКОННЫХ ЛАЗЕРОВ ДЛЯ ЛАЗЕРНОЙ ТЕРМООБРАБОТКИ ЧЕРНЫХ МЕТАЛЛОВ

В.В. Сомонов

(Санкт-Петербургский государственный политехнический университет)

Научный руководитель – д.т.н., профессор Г.А. Туричин

(Санкт-Петербургский государственный политехнический университет)

В ходе работы были проведены исследования процесса закалки сталей излучением волоконного лазера и выявлено повышение производительности процесса лазерной закалки за счет внедрения волоконных лазеров вместо СО₂-лазера, благодаря увеличению коэффициента поглощения лазерного излучения и исключения необходимости использовать поглощающие покрытия. Была изучена структура закаленного слоя и сравнена со структурой, полученной на СО₂-лазере. Представлены практические результаты закалки волоконным лазером.

Ключевые слова: волоконный лазер, лазерная закалка, структура закаленного слоя.

Введение

Основной целью лазерного термического упрочнения сплавов является повышение износостойкости деталей, работающих в условиях трения. Уменьшение величины износа происходит за счет получения высокой твердости и дисперсности структуры, увеличения несущих свойств поверхности и др. [1]. Лазерная закалка по аналогии с другими видами закалки заключается в формировании на этапе нагрева аустенитной структуры и ее последующем превращении в мартенсит на этапе охлаждения, но при этом обладает рядом преимуществ:

- бесконтактность метода обработки;
- возможность локальной закалки только необходимых мест на изделии;
- отсутствие применения охлаждающей среды, в отличие от закалки в печи или закалки индукционным нагревом;
- полное отсутствие остаточных деформаций;
- гибкость и автоматизация процесса.

В ряду задач процессов закалки одна из самых актуальных – это закалка без плавления. Например, для закалки штамповой оснастки недопустимо локальное плавление металла даже в микрizonaх [2]. Сравним несколько типов лазеров, используемых при лазерной закалке.

СО₂-лазеры, для них характерна чрезвычайно низкая энергетическая эффективность $\approx 10\%$. Коэффициент поглощения металлами излучения данной длины волны не превосходит нескольких процентов, так что полный коэффициент полезного действия (КПД) процесса закалки составляет доли процента. Для его повышения

приходится использовать разные технологии нанесения поглощающих покрытий, основанных на оксидах Al и Zn, C и других химических соединениях [3]. Это сильно усложняет процесс и вводит в него множество трудно контролируемых факторов.

Для YAG-лазера коэффициент поглощения может достигать 10–15%, но зато полный КПД самого лазера обычно составляет не более 2–3% [4].

Появление новейших мощных лазерных источников волоконного типа, КПД которых около 25%, актуализирует вопрос об эффективности их использования для лазерной закалки [5].

Оборудование и материалы

Работы проводились на лазерных технологических комплексах, имеющихся в распоряжении лаборатории Института лазерных и сварочных технологий (ИЛиСТ) и Российско-Германского центра лазерных технологий Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. В качестве источника лазерного излучения использовались иттербиевые волоконные лазеры ЛС-5 и ЛС-15 с максимальной выходной мощностью 5 и 15 кВт, длиной волны 1,07 мкм. Излучение транспортировалось по волоконному кабелю к оптической лазерной голове. Для фокусировки излучения использовались головы YW50 фирмы Precitec и HighYAG BIMO (рис. 1).



Рис. 1. Изображение лазеров ЛС-15 и ЛС-5, лазерные головы YW50 и HighYAG BIMO

Во время исследований использовались образцы, изготовленные из сталей марок: Ст3, Сталь 45, 65Г, 38Х2Н2МА, 40Х, 30Х13 толщиной 2–40 мм.

Обработка осуществлялась прямолинейными отдельными участками. Везде лазер использовался в режиме непрерывного излучения. Параметры режима варьировались таким образом, что удельная энергия закалки, вычисляемая как отношение мощности лазерного излучения к произведению ширины закаленного слоя и скорости закалки, изменялась 1,75–6,4 Дж/мм². Для сравнения, по литературным данным [3] при обработке на СО₂-лазере требуется более высокая удельная энергия закалки 13,3–33,1 Дж/мм². Из обработанных образцов, прошедших визуальный контроль на предмет отсутствия оплавления или растрескивания поверхности, изготавливались металлографические шлифы. По их фотографиям определялись структурные

составляющие, ширина и глубина закаленного слоя. При помощи микротвердомера ПМТ-3 выполнялись измерения микротвердости закаленного слоя, переходного слоя и зоны основного металла.

Результаты экспериментов

Глубины получаемого закаленного слоя варьировались 100–300 мкм. Увеличение микротвердости составляло от 1,2 до 1,7 раза. При этом скорость закалки доходила до 3 м/мин. Это стало возможным благодаря большему эффективному коэффициенту поглощения у волоконных лазеров, чем у CO₂-лазера. При закалке волоконными лазерами нет необходимости наносить поглощающие покрытия, это дополнительно снижает стоимость процесса и делает его экологически чистым. Было замечено, что микроструктура закаленного слоя, выполненного на ЛС-5 довольно однородна, имеет вид мелкодисперсного мартенсита и в ней полностью отсутствует переходная зона, тогда как при обработке на CO₂-лазере по литературным данным [2, 4] в структуре присутствует переходная зона. Измеренные значения микротвердости закаленного слоя были несколько выше, тех, что получены при закалке CO₂-лазером. Значения микротвердости: 50 мкм 460HV; 100 мкм 401HV; 150 мкм 386HV; 200 мкм 353 HV; 250 мкм 311HV; 300 мкм 285 HV; микротвердость HV при нагрузке 100 г, кг/мм².

Фотография структуры закаленного слоя стали марки 38X2H2MA приведены на рис. 2.

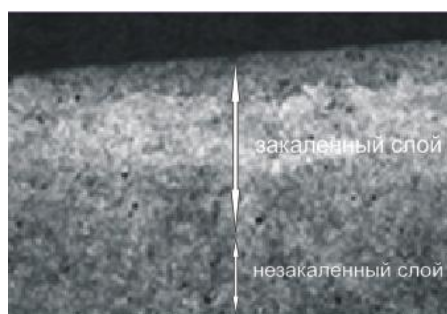


Рис. 2. Изображение структуры закаленного слоя стали марки 38X2H2MA, полученного при обработке на волоконном иттербиевом лазере ЛС-5 и измеренные значения микротвердости

Примеры изделий, закаленных с помощью волоконного лазера представлены на рис. 3.

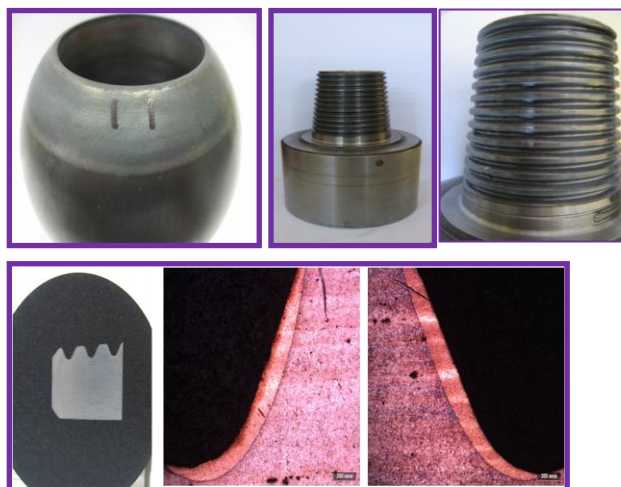


Рис. 3. Изображение закаленных изделий

Заключение

Тестирование процесса закалки металлов излучением волоконного лазера показало, что общая эффективность процесса (как отношение производительности к затраченной лучевой мощности) даже без использования поглощающих покрытий в несколько раз превосходит значения эффективности процесса для CO₂-лазеров, приведенные в литературных данных [2, 4]. Применение лазерной закалки позволяет добиваться на сталях поверхностной твердости, при сохранении достаточной вязкости сердцевины. Структура закаленного слоя однородна, имеет вид мелкодисперсного мартенсита и полностью отсутствует переходная зона. Принимая во внимание, что необходимая удельная энергия закалки для процесса закалки волоконными лазерами по сравнению с CO₂-лазером меньше в несколько раз, можно сделать вывод о его коммерческой конкурентоспособности. При этом с учетом доставки излучения по оптическому волокну и исключения нанесения поглощающих покрытий этот процесс является экологически чистым и полностью контролируемым.

Литература

1. Веселовский В.Б., Губин А.И. Математическое моделирование лазерного термического упрочнения без плавления поверхности // *Металлургическая теплотехника. Сборник научных трудов.* – Днепропетровск. – 2008. – С. 47.
2. Попов В. Лазерное упрочнение сталей: сравнение волоконных и CO₂-лазеров // *Фотоника.* – 2009. – № 4. – С. 18–21.
3. Григорьянц А.Г., Шиганов И.Н., Мисюрюв А.И. Технологические процессы лазерной обработки. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. – 664 с.
4. Скрипченко А.И., Медвецкий В.М., Попов В.О. Так закалялась сталь или тестирование процесса закалки сталей излучения волоконных лазеров // *РИТМ.* – 2007. – № 29. – С. 52–53.
5. Цимбал А.Л. Лазерная закалка стали. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2010.

УДК 004.514, 004.021

МЕТОДИКА И ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ВВОДА И ОБРАБОТКИ ИСХОДНЫХ ДАННЫХ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ

А.В. Сумцов

Научный руководитель – д.т.н., профессор Ю.А. Гатчин

В статье излагаются особенности разрабатываемой системы автоматизации, цель ее создания и решаемые ею задачи. Кратко описаны внедренные в систему инструменты для подбора аналогичных комплектов, ввода исходных данных и динамического поиска. Приведен алгоритм работы инструментов классификации и распределения составных частей.

Ключевые слова: система автоматизации, изделие, исходные данные, интерфейс, оптимизация, классификация, распределение, динамический поиск.

Введение

Высокие требования к качеству и объемам выпуска изделий приборостроения диктуют высокий уровень автоматизации производства. Современные системы автоматизированного проектирования (САПР) помогают визуализировать процесс создания деталей и сборочных единиц в трехмерном пространстве. Подобные системы также обладают средствами документирования изделий. Но, исходя из того, что подобный функционал для большинства САПР является прикладным, номенклатура

формируемых документов часто ограничивается спецификацией на изделие и перечнем его элементов. Другие решения, более узкопрофильные (например, T-Flex DOCs), обладают большей гибкостью и разнообразием шаблонов, однако их процессы автоматизации по-прежнему не покрывают большую часть узкопрофильных задач.

Проблема связана с особенностями организации отдельно взятого производства, и может быть решена разработкой системы с исключительной функциональной гибкостью. Для этого в основу приложения была заложена модульная структура, расширяющая функциональность системы посредством подключения программных модулей.

Виды изделий, для которых система предусматривает автоматизированное формирование документации, определяется перечнем подключенных модулей. На начальном этапе их два: формирующий документацию для комплектов запасных частей, инструментов и принадлежностей (ЗИП) и для кабельных частей соединителей (КЧС) [1]. Комплект ЗИП предназначен для обеспечения системы или комплекса, функционирующего на объекте, запасными частями, инструментами и другим имуществом, необходимым для обслуживания и ремонта. Комплект КЧС – это набор соединителей, предназначенных для электромонтажа кабелей, а в последующем и приборов комплекса, для их подключения на объекте.

Исходной информацией для изделия является перечень составляющих его элементов. Распространенной задачей для разработчика является ввод составных частей в систему. И на данный момент данные часто бывают представлены на бумажном носителе (техническое задание на разработку), и вводить их приходится вручную. Такая работа представляется монотонной и низкоквалифицированной, вызывает быструю утомляемость оператора и должна быть сведена к минимуму. В работе кратко описываются инструменты для ввода исходных данных и навигации (поиска) по перечням элементов, сокращающие объем ручной работы. Более подробно описаны инструменты, позволяющие классифицировать и распределять информацию по категориям.

Инструменты для ввода исходных данных и поиска информации

Как было отмечено выше, исходная информация для комплектов ЗИП и КЧС, представляется в виде перечня составных частей, которые разработчику часто приходится вводить в систему вручную, с бумаги. Поэтому, при разработке инструмента была поставлена цель, свести к минимуму число ручных операций, что позволит увеличить скорость ввода и минимизировать количество ошибок.

Первой мерой оптимизации являлась переработка пользовательского интерфейса таким образом, чтобы ручные элементарные действия пользователя составляли минимальную часть его работы. Для этого по сравнению с аналогом (рис. 1), разрабатываемое средство (рис. 2) позволяет ввести в одно окно все поисковые строки и сформировать один запрос к базе данных [2]. В аналоге же эта процедура происходит для каждой составной части в отдельности. В результате описанных улучшений для комплекта со среднестатистическим количеством элементов, равным 42-м, трудоемкость снизилась до уровня

$$\delta T_{CO_1} = \frac{T_2(42)}{T_1(42)} \cdot 100\% = 66\% ,$$

где $T_2(n)$ – трудоемкость сеанса ввода при работе с использованием нового интерфейса; $T_1(n)$ – трудоемкость сеанса ввода данных для аналогичного решения до оптимизации.



Рис. 1. Диалоговое окно ввода составных частей аналога



Рис. 2. Интерфейс для ввода составных частей разработки

В качестве дополнительной меры снижения трудоемкости, в инструмент внедрены алгоритмы, позволяющие пропускать при наборе знаки препинания, позволяя оператору сосредоточиться на вводе наиболее весомых по смысловой нагрузке буквенно-цифровых символах. Неполноту введенной информации восполняют алгоритмы разбора строк, основанные на регулярных выражениях. Оценка снижения трудоемкости в результате описанной оптимизации ввода произведена путем подсчета количественного отношения знаков препинания к общему числу символов в строке. Ее уровень составил 90% от начального. Поэтому результат внедрения нового инструмента и применения алгоритмов оптимизации ввода позволили снизить трудоемкость до уровня

$$\delta T = \delta T_{CO_1} \cdot \delta T_{ОВ} = 66\% \cdot 90\% = 59,4\% ,$$

где δT_{CO_1} – уровень трудоемкости, установившийся после сокращения количества операций; $\delta T_{ОВ}$ – уровень трудоемкости, установившийся после оптимизации ввода.

Для эффективной работы с большими объемами табличных данных требуется удобная навигация. Для этого в систему внедрен динамический поиск. В понятие «динамический» закладывается мгновенное обновление результата при вводе каждого очередного символа запроса; поиск происходит сразу по всем столбцам таблицы. При наборе игнорируются регистр и знаки препинания. Интерфейс динамического поиска представляется одной строкой (на рис. 3 помеченной как «поиск») и логической связью с контейнером данных, например, таблицей.

Обозначение	Код ОКП	Наименование
ЦКТП.467104.068	4033386258 05	Модуль ТЕ1-9UF-5HG
ДНИЯ.245365.008	4586525854 06	Модуль КМП
ДНИЯ.452524.135	2545885454 42	Модуль ПР405-7Э
ДНИЯ.467854.125	1254445783 01	Субблок 7ТПР 500 Вт
ДНИЯ.467854.125	1254445783 01	Субблок 7ТПР 500 Вт

Рис. 3. Интерфейс динамического поиска

Трудоёмкость процесса динамического поиска является константой и не зависит от количества вариантов, предлагаемых в результате. А для поиска, использующего поэлементную оценку результата, трудоёмкость пропорциональна объёму выборки. В формуле уровня результирующей трудоёмкости, трудоёмкость стандартного поиска подсчитаем для значения 1 запись в результате как самый благоприятный для него случай:

$$\delta T_{\text{CO}_2} = \frac{T_4}{T_3(1)} \cdot 100\% = 60\% .$$

Учитывая меру сокращения вводимых данных за счет игнорирования знаков препинания, подсчитаем общую трудоёмкость:

$$\delta T = \delta T_{\text{CO}_2} \cdot \delta T_{\text{ОВ}} = 60\% \cdot 90\% = 54\% .$$

Инструменты для классификации и распределения элементов

При составлении комплектов ЗИП возникает задача классификации элементов на запасные части, инструменты, принадлежности и материалы. В комплектах ЗИП – это приборное распределение соединителей. Поэтому, задача распределения и классификации является актуальной.

Ранее использованный подход предполагал выбор категории для каждой составной части по отдельности, иницируя при этом две пользовательские операции: раскрытие списка и выбор категории. Эскиз интерфейса инструмента, использующего описанный подход, представлен на рис. 4.

Наименование	Тип
Модуль ТЕ1-6UV-4NM	Запасная часть
Модуль МПГ	Запасная часть
Блок БРТ	Принадлежность
Субблок 1000 Вт	
Модуль ЦП05 БТ23-205	

OK Отмена

Рис. 4. Ранее используемый инструмент для классификации элементов

Формула для подсчета трудоёмкости процедуры до оптимизации:

$$T_1(n) = 2 \cdot n ,$$

где n – количество составных частей, подвергаемых классификации.

Оптимизированный инструмент использует алгоритм, существенно сокращающий количество операций. Его интерфейс представлен на рис. 5.

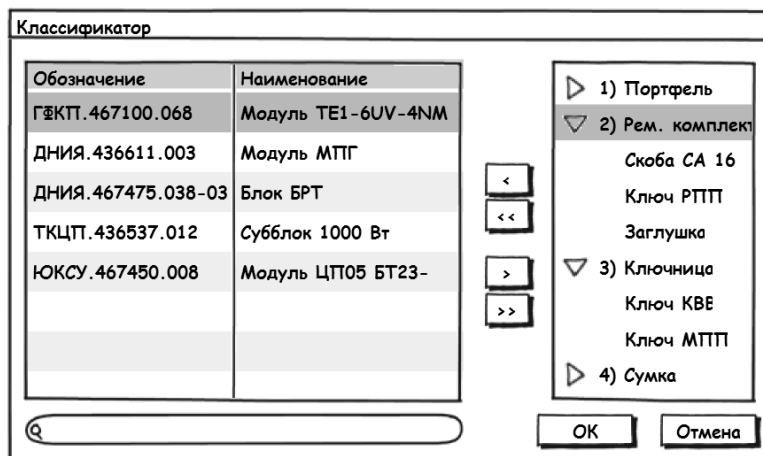


Рис. 5. Оптимизированный интерфейс инструмента классификации элементов

Пользователь выделяет все составные части, относящиеся к одной категории, и производит ее назначение. Выделение произойдет для каждого элемента, назначение – для каждой категории. Следовательно, формула расчета трудоемкости будет выглядеть следующим образом:

$$T_{1\max}(n) = n + 4,$$

где n – количество классифицируемых элементов; 4 дополнительных операции – это назначение элементов одной из 4-х категорий.

Уровень трудоемкости после оптимизации составит

$$\delta T = \frac{T_{2\max}(42)}{T_1(42)} \cdot 100\% = 50\%.$$

Сокращение трудоемкости в 2 раза – показатель результативности примененного подхода классификации.

Распределение составных частей комплекта ЗИП по «сундукам» происходит по алгоритму, схожему с описанным для задачи классификации. Оптимизированный интерфейс инструмента распределения составных частей по транспортировочной таре представлен на рис. 6.

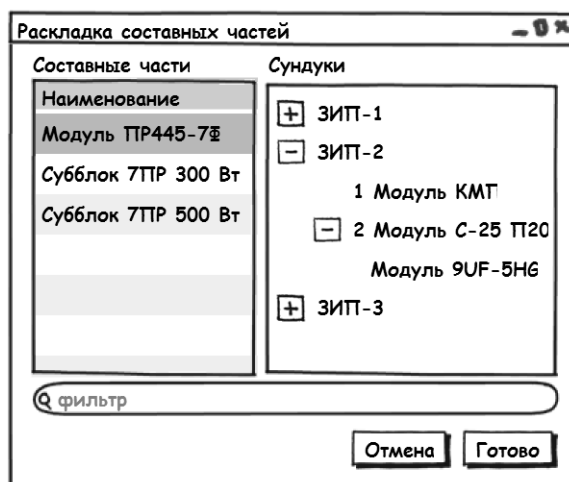


Рис. 6. Интерфейс инструмента распределения элементов ЗИП по «сундукам»

Как видно, пользователь по аналогии с инструментом для классификации, имеет возможность выделить все элементы, относящиеся к одной таре и одним действием

произвести назначение. Следовательно, примененные меры оптимизации дают тот же уровень снижения трудоемкости.

Заключение

Оптимизированные решения для ввода исходных данных и динамического поиска позволяют сократить количество ручных операций до 60% от начального уровня. Утомляемость пользователя, в силу сокращения объема монотонной работы, сокращается, что способствует сохранению уровня внимания, и, как следствие, минимизации количества ошибок человеческого фактора. Основой для оптимизации является сокращение количества ручных операций. Для этого возникает необходимость в разработке трудоемких алгоритмов восполнения информации, основанных на регулярных выражениях. Но затраты на внедрение имеют короткие сроки окупаемости ввиду высоких показателей повышения эффективности труда. Поэтому внедрение разрабатываемых подходов к вводу исходных данных, динамического поиска, инструментов классификации и распределения элементов является рентабельным.

Литература

1. Сумцов А.В. Автоматизация процесса разработки комплектов конструкторской документации // Информатика и вычислительная техника: сборник научных трудов / Под ред. В.Н. Негоды. – Ульяновск: УлГТУ, 2010. – 677 с.
2. Teorey T., Lightstone S., Nadeau T. Database Modeling & Design: Logical Design. Fourth Edition. – USA: Elsevier, 2006. – 275 p.

УДК 537

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ УПОРЯДОЧЕННЫХ СТРУКТУР

К.С. Тепло

Научный руководитель – д.т.н., профессор Г.Н. Лукьянов

Рассмотрено влияние регулярной структуры на поверхности, на возбуждение и распространение поверхностных электромагнитных волн (ПЭВ). Предложены физическая и математическая модели этих процессов. Экспериментальное исследование, проведенное на образце титаната бария в магнетронной установке, показало работу модели.

Ключевые слова: ПЭВ, регулярная структура, титанат бария.

Введение

Регулярные структуры используются для возбуждения поверхностных электромагнитных волн (ПЭВ). ПЭВ могут существовать и распространяться вдоль границ раздела сред с диэлектрическими проницаемостями разных знаков.

Возбуждение и распространение волн по поверхности зависит от геометрических параметров регулярной структуры, свойств материала и внешнего воздействия.

В работе предлагается использовать упорядоченную структуру для возбуждения ПЭВ и распространения по поверхности.

Под действием внешнего электромагнитного поля материал поляризуется, что приводит к разделению зарядов в подложке и, как следствие, возникновению разности потенциалов между соседними «канавками». При достижении порогового значения разности потенциалов происходит «перескок» зарядов из одной «канавки» в другую, что приводит к движению зарядов по поверхности, создающих ПЭВ.

Цель работы: изучить влияние регулярной структуры на поверхности, на возбуждение и распространение ПЭВ и связать геометрические параметры поверхности со свойствами материала подложки.

Физическая модель

Поляризация материала под действием падающего излучения ведет к пространственному разделению зарядов. При попадании излучения на поверхность возникает явление смещения, при этом, вследствие того, что в области «канавок» пластина имеет меньшую толщину, концентрация носителей заряда в канавках будет существенно выше, чем в соседних областях. Можно для простоты считать, что носители заряда сосредотачиваются в канавках (рис. 1).

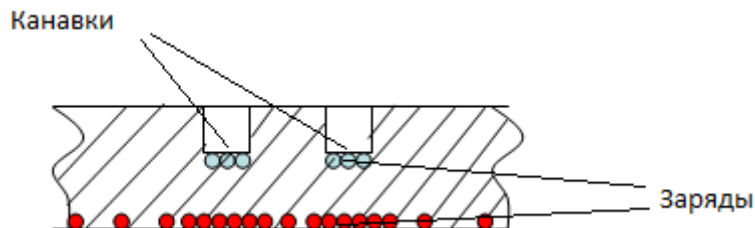


Рис. 1. Качественная картина распределения зарядов

Пусть плотность зарядов в двух соседних канавках составляет, соответственно, q_1 и q_2 , а потенциалы φ_1 и φ_2 (рис. 2).

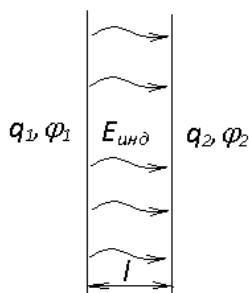


Рис. 2. Заряды в соседних канавках

При превышении напряженности между соседними канавками определенного значения ($E_{инд}$) происходят разряды между соседними областями [1].

Математическая модель

Математическая модель заключается в решении двумерного волнового уравнения. Волновое уравнение, описывающее поведение структуры во времени:

$$V_x^2 \cdot \frac{\partial^2 E}{\partial x^2} + V_y^2 \cdot \frac{\partial^2 E}{\partial y^2} - \varphi = \frac{\partial^2 E}{\partial t^2}, \quad (1)$$

где E – напряженность электрического поля; V_x – фазовая скорость по x ; V_y – фазовая скорость по y ; φ – вынуждающая сила.

Коэффициент V зависит от свойств материала, в котором распространяется волна и определяется соотношением:

$$V = \frac{c}{\sqrt{\epsilon\mu}}, \quad (2)$$

где c – скорость света в вакууме; ϵ – диэлектрическая проницаемость среды; μ – магнитная проницаемость среды, принята $\mu=1$.

Соответственно, в разных материалах – разные фазовые скорости.

Граничные условия:

- по всем сторонам – изоляция:

$$x=0, x_{\max}: \frac{\delta E}{\delta x} = 0; \quad (3)$$

$$y=0, y=y_{\max}: \frac{\delta E}{\delta y} = 0; \quad (4)$$

- напряженность электрического поля между канавками составит величину

$$E_{\text{инд}} = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{l};$$

- плотность тока между канавками можно определить через изменение разности плотности заряда:

$$\frac{di}{dt} = \frac{d(q_1 - q_2)}{dt};$$

- напряженность через изменение разности потенциалов на длине l во времени:

$$\frac{dE_{\text{инд}}}{dt} = \frac{d(\varphi_1 - \varphi_2)}{ldt};$$

- изменение разности потенциалов во времени выразится, как:

$$\frac{d(\varphi_1 - \varphi_2)}{dt} = \frac{1}{\sigma_1} \frac{d(q_1 - q_2)}{dt}. \quad (5)$$

Решение таких задач является довольно сложной задачей и в настоящей работе реализуется с помощью численных методов.

Уравнение (1) с граничными условиями (3), (4) и учетом условия (5) численно решено методом конечных дифференциалов в Delphi при различных граничных условиях, периодах решетки и свойствах материалов. Результаты, моделирующие распространение волны по поверхности структуры показаны на рис. 3.

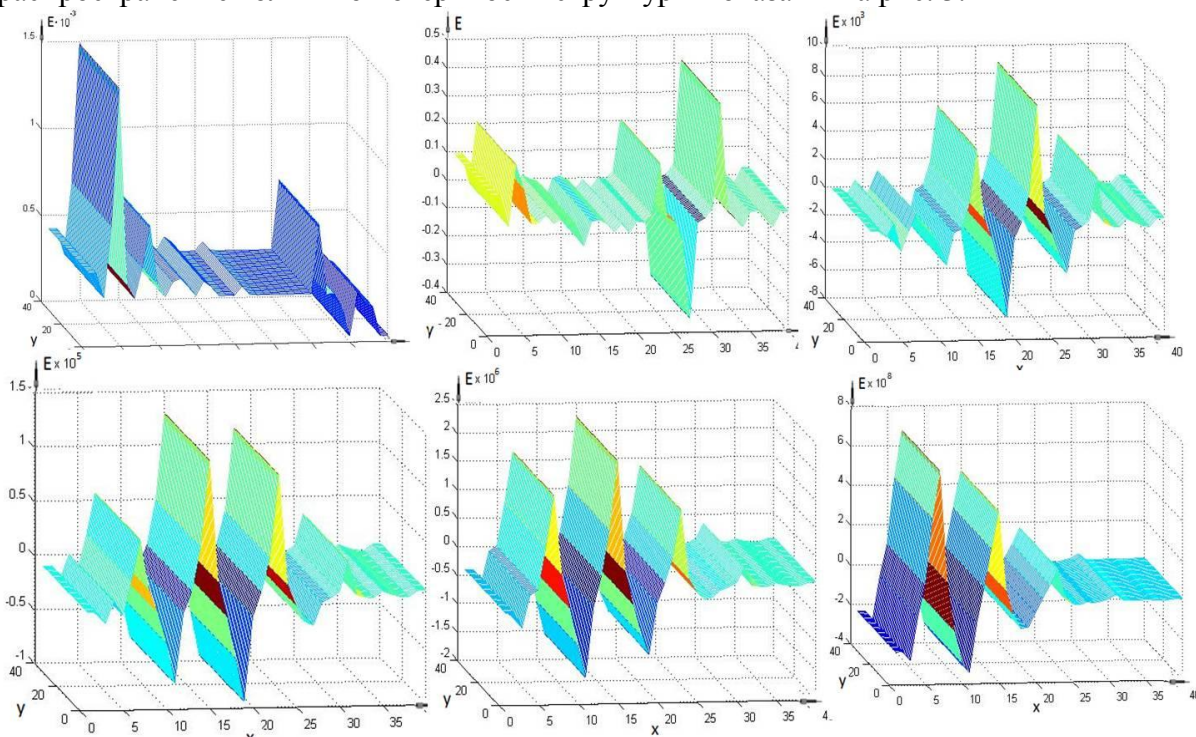


Рис. 3. Распределение напряженности на плоскости XY в различные моменты времени

Эксперимент

В данной работе применена установка магнетронного напыления, разработанная на базе стандартного вакуумного поста ВУП-5 и модифицированной на кафедре физической электроники и технологии Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета «ЛЭТИ» (рис. 4). На вакуумном колпаке установки закреплено магнетронное распылительное устройство с диаметром катода 60 мм. Расстояние катод–подложка равно 80 мм. Магнетронное устройство изготовлено на базе Ne-Fe-B магнита (с индукцией магнитного поля 0,9 Тл). В качестве рабочего газа использовался аргон. Давление в камере 0,002 Па. Магнетронные устройства относятся к низковольтным системам ионного распыления. Давление газа и индукция магнитного поля оказывают значительные влияния на характеристики разряда. Понижение давления обуславливает повышение рабочих напряжений. В то же время для каждой магнетронной системы существует некоторый интервал значений, обычно 10^{-1} –1 Па, в котором колебание давления не оказывает существенного влияния на изменение параметров разряда. Воздействие магнитного поля аналогично действию газовой среды. Поэтому низкие рабочие давления в магнетронах обеспечивают увеличение индукции магнитного поля, величина которой у поверхности катода составляет 0,03–0,1 Тл. Повышение удельной мощности способствует стабилизации разряда в области низких давлений [2].

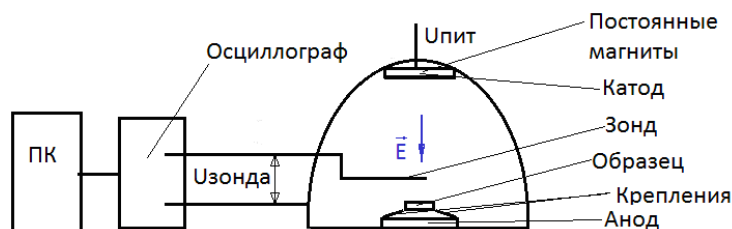


Рис. 4. Схема экспериментальной установки



Рис. 5. Экспериментальная установка

Для возбуждения и распространения ПЭВ в настоящей работе использовались регулярные структуры на поверхности титаната бария $BaTiO_3$, образец диаметром 6 мм, толщиной 1,5 мм, с периодическими «канавками», расстояние между которыми 48 мкм. Выжигание «канавок» произведено волоконно-импульсным лазером с длиной волны $\lambda=1,07$ мкм, мощность импульса $P_{им}=400$ Вт, время импульса $t_{им}=100$ нс, частота импульсов $\nu_{им}=100$ кГц, скорость перемещения луча $V=1$ м/с. Глубина «канавок» составила 3 мкм, расстояние между канавками – 48 мкм, шаг выжигания – 80 мкм. Образец показан на рис. 6.



Рис. 6. Исследуемый образец

Под действием магнитного поля образец поляризуется, что приводит к возникновению в «канавках» зарядов. При превышении напряжения между канавками определенного порогового значения происходят разряды между соседними областями. Некоторые частоты колебания напряжения между катодом и анодом резонируют с волной идущей по поверхности образца. Соответственно, изменяется распределение энергии по разным частотам.

Измерения производились с помощью вспомогательного металлического электрода (зонда), который вводился в плазменный объем для исследования периодической составляющей напряжения. Размеры зонда выбирались достаточно малыми, чтобы можно было пренебречь падением потенциала вдоль зонда и искажениями поля, вносимыми зондом в исследуемый разряд. Диаметр зонда составил 1 мм. Расстояние от образца до зонда – 1 см.

Регистрация напряжения производилась с помощью осциллографа TEKTRONIX TDS 2014B с полосой пропускания 100 МГц и затем передавалась через USB-flash накопитель на персональном компьютере.

Результаты и их обсуждение

На первом экспериментальном этапе переменная составляющая напряжения регистрировалась осциллографом в системе без образца. На втором этапе на анод устанавливался с помощью металлического крепления с изоляцией образец (регулярная структура на поверхности титаната бария). В магнетроне создавались такие же условия, как и на первом этапе измерения.

Полученные экспериментальные данные обрабатывались в пакете прикладных программ для решения задач технических вычислений Matlab. Спектральная плотность мощности переменной составляющей напряжения между зондом и анодом в системе с образцом и без образца показана на рис. 7.

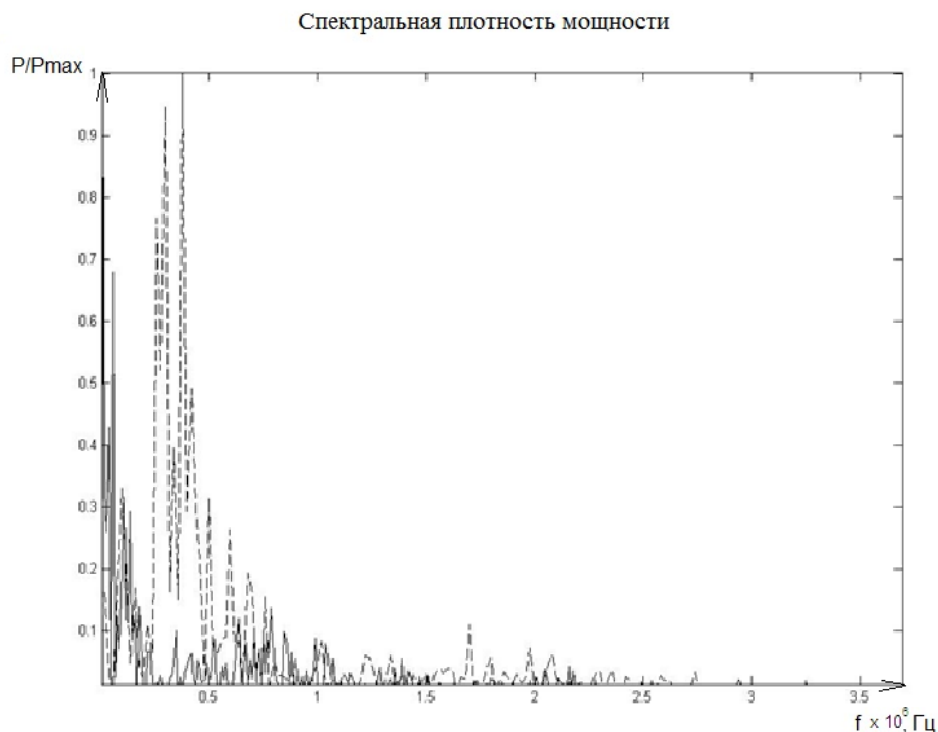


Рис. 7. Спектральная плотность мощности переменной составляющей напряжения: без образца (пунктирная линия); с образцом (сплошная)

Из рис.7 видно, что при внесении образца изменяется распределение энергии: на определенных частотах наблюдается усиление сигнала. Эти частоты характеризуют

свойства поверхности. Изменение фазовой скорости распространения волны ведет к изменению резонирующих с образцом частот. Через фазовую скорость определяется диэлектрическая проницаемость исследуемого материала по формуле (2).

Заключение

Проведено моделирование, в котором подобраны необходимые геометрические параметры упорядоченной структуры. Экспериментальные исследования показали, что периодическая структура из титаната бария может быть использована для возбуждения ПЭВ в магнетронной установке. Установлено, что сочетание свойств периодической структуры с ее геометрическими особенностями может быть использовано для измерения физических свойств подложки и создания датчиков температуры и теплового потока.

Работа выполнена по гос. заказу на тему «Макет измерительной ячейки для исследования тепло- и электрофизических свойств тонких пленок» (390134/1).

Литература

1. Серов Н.Н, Копыльцов А.В., Лукьянов Г.Н. Взаимодействие полупроводниковой пластины с самоаффинным рельефом поверхности с электромагнитным излучением // Нанотехника. – 2006. – № 4(8). – С. 44–49.
2. Никитин М.М. Технология и оборудование вакуумного напыления. – М.: Металлургия, 1992. – 112 с.

УДК 535.5

ОЦЕНКА МЕТОДИЧЕСКОЙ ПОГРЕШНОСТИ ПОЛЯРИЗАЦИОННОГО МЕТОДА КОНТРОЛЯ НЕСТАБИЛЬНОСТИ ОСИ ДИАГРАММЫ НАПРАВЛЕННОСТИ ЛАЗЕРНЫХ ИСТОЧНИКОВ

А.С. Федосенко, М.А. Муратов

Научный руководитель – к.т.н., доцент С.А. Алексеев

Использование лазера в качестве источника излучения в схемах эллипсометров позволяет существенно повысить их метрологические характеристики. Вместе с тем значительную погрешность в измерениях может вносить нестабильность пространственного положения оси диаграммы направленности лазера. Измерение углового дрейфа является одной из задач метрологической аттестации лазерных источников излучения, используемых в различных оптико-электронных датчиках контроля положения объекта, интерференционных, голографических схемах и т.п.

Ключевые слова: поляризация, диаграмма направленности, поворот азимута поляризованного излучения, методическая погрешность.

Цель работы

Целью работы является оценка методической погрешности измерения дрейфа оси диаграммы направленности, основанного на регистрации поворота азимута поляризованного излучения при отражении от контрольного объекта и последующем расчете указанной величины.

Базовые положения исследования

Используя зависимость эллипсометрических параметров объекта от угла падения можно путем регистрации их изменения определять величину углового дрейфа. Для

упрощения решения обратной задачи целесообразно использовать контрольный объект, один из эллипсометрических параметров которого не зависит от угла падения. Таким объектом может являться, например, граница диэлектрик-воздух, характеризующийся угловой зависимостью $\psi(\varphi)$. При отражении поляризованного излучения от такой среды происходит поворот азимута поляризованного излучения. При малых значениях углового дрейфа диаграммы направленности δA линейно связано с углом поворота оси β

$$\delta A = C_p C_\varphi \beta.$$

Коэффициенты C_p и C_φ определяют чувствительность метода по измеряемому параметру, зависящую от показателя преломления среды n , азимута поляризатора (коэффициент C_p) P и определяются производными по соответствующему параметру

$$C_p = \frac{dA}{d\psi}, C_\varphi = \frac{d\psi}{d\varphi}.$$

В приведенных формулах пренебрегается зависимость поперечного (относительно плоскости падения) углового смещения оси диаграммы направленности, которое обуславливает существенно меньшее изменение угла падения и, соответственно, угла δA .

Значения коэффициентов C_p и C_φ могут быть получены в виде

$$C_\varphi = \cos^2 \varphi_1 \frac{K_n \sin 2\varphi_1 - \sin 2\varphi_2}{\cos^2 (\varphi_1 - \varphi_2)}, C_p = \frac{\operatorname{tg} P}{\sin^2 \psi + \cos^2 \psi \operatorname{tg}^2 P},$$

где $K_n = \cos \varphi_1 (n^2 - \sin^2 \varphi_1)^{-\frac{1}{2}}$; $\sin \varphi_2 = \frac{\sin \varphi_1}{n}$.

Рассмотрим теперь вопрос о методической погрешности данного способа измерения углового дрейфа. Основными источниками методической погрешности являются:

- погрешности, обусловленные линеаризацией зависимостей $\psi(\varphi)$ и $A(\psi)$ в окрестностях угла падения. Линеаризация зависимостей $\psi(\varphi)$ и $A(\psi)$ дает систематическую методическую погрешность, зависящую от величины углового дрейфа и в общем случае возрастающую с увеличением отклонения оси от первоначального положения;
- пренебрежение поперечным угловым дрейфом оси диаграммы направленности.

Промежуточные результаты

В ходе анализа перечисленных выше источников методической погрешности были получены.

1. Выражение

$$C_\varphi C_p (\beta') = A(\varphi + \beta) - A(\varphi),$$

где β – значение величины дрейфа, определяемое по линеаризованной зависимости $A(\varphi)$, позволяет оценить погрешности, обусловленные линеаризацией зависимостей $\psi(\varphi)$ и $A(\varphi)$. Приведенные на рис. 1 зависимости относительной ошибки от значения β показывают, что общая погрешность возрастает с увеличением показателя преломления n . При углах отклонения β до 1° и при $n=1,5$ относительная ошибка не превосходит 0,25% (в угловой мере $10''$ на краю диапазона β).

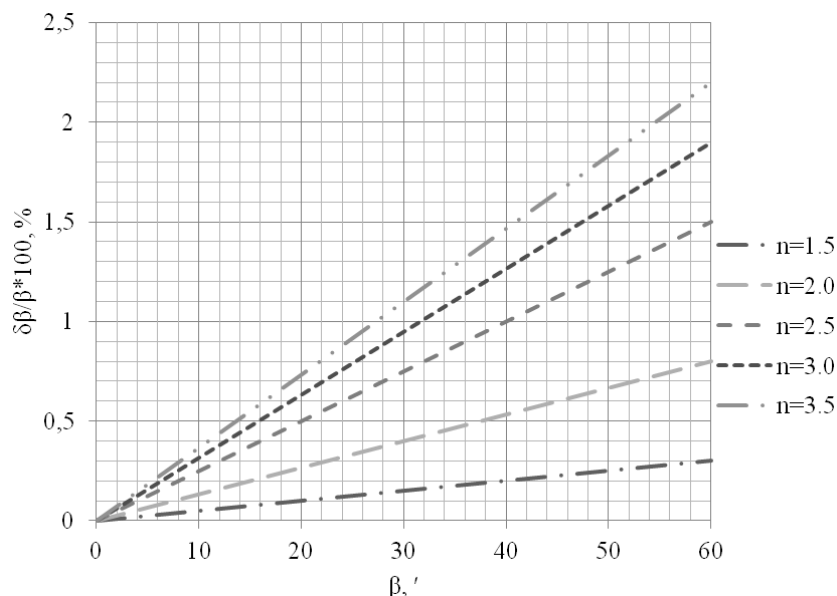


Рис. 1. Расчетные зависимости относительной ошибки измерения углового дрейфа оси диаграммы направленности от величины дрейфа для различных n

Полученные зависимости также позволяют оценить влияние угловой расходимости пучка на точность измерения. В приближении зоны Фраунгофера при постоянной расходимости лазерного излучения 2Θ для элементарных пучков внутри светового конуса отличие состояний поляризации не будет превышать величины, определяемой по зависимостям рис. 1 при условии $\beta=\Theta$. Данное значение погрешности можно принимать за верхнюю границу общей погрешности, с учетом, что реальная ошибка будет несколько меньше при наличии распределения интенсивности по сечению пучка. Такой подход позволяет довольно просто оценить погрешность, вносимую расходимостью, и не требует проведения сложных вычислений, учитывающих характер распределения интенсивности и состояния поляризации по сечению луча.

2. Выражение

$$C_{\varphi} C_p(\beta') = A[\varphi(\beta; \alpha)] - A[\varphi(\beta; 0)] C_{\varphi} C_p,$$

где функция $\varphi(\beta; \alpha)$ описывается выражением

$$\partial\varphi = \varphi' - \varphi_0 = \arccos \left[\cos\varphi_0 \cos(\varphi_0 - \beta) \sqrt{\operatorname{tg}^2 \alpha \cos^2(\varphi_0 - \beta) - \cos^2 \varphi_0} \right] - \varphi_0,$$

позволяющее оценить составляющую методической погрешности, обусловленную поперечным относительно плоскости падения угловым дрейфом оси диаграммы направленности. Поперечный угловой дрейф оси вызывает достаточно малые изменения угла падения и, вследствие этого, его вкладом можно пренебречь при углах до $0,5^\circ$. Как следует из расчетных зависимостей $\delta\beta/\beta(\alpha)$ (рис. 2), относительная ошибка измерения не превышает 1%. Данное обстоятельство также позволяет проводить селективное измерение отдельных составляющих углового дрейфа в выбранной системе координат путем соответствующей ориентации плоскости падения излучения на диэлектрическую пластину.

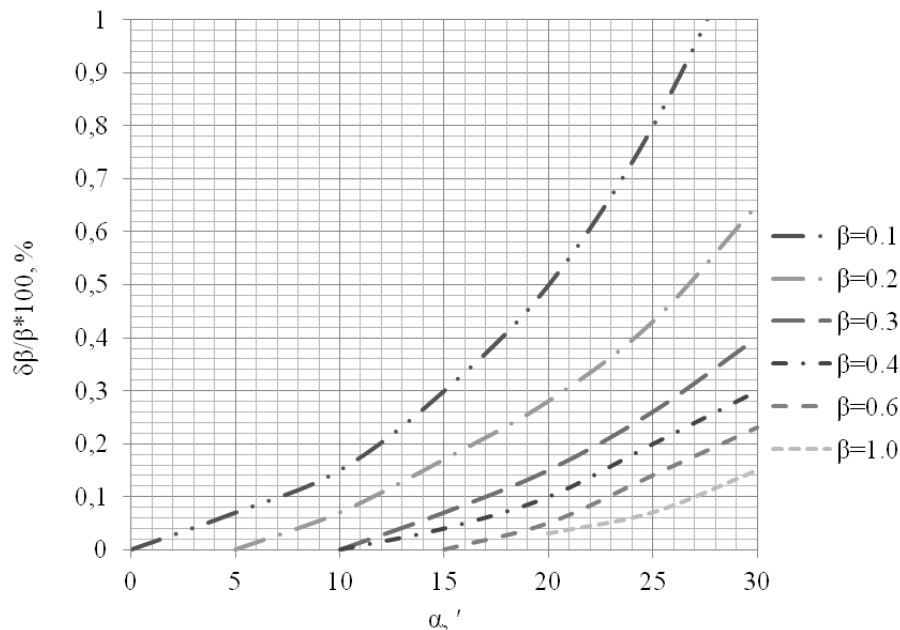


Рис. 2. Расчетные зависимости относительной ошибки измерения β от величины поперечного дрейфа ($n=1,5$, $\varphi=60^\circ$)

Заключение

В результате работы была произведена промежуточная оценка методической погрешности измерения дрейфа оси диаграммы направленности лазерных источников.

УДК 519.7:004.8

ОБУЧАЮЩИЙСЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ АГЕНТ ИСПОЛЬЗУЮЩИЙ МЯГКИЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ

Д.А. Хвостов, К.А. Пантюхина

Научный руководитель – к.т.н., доцент С.А. Чепинский

Решается задача синтеза интеллектуальной машины, использующей для функционирования мягкие вычисления. В ходе работы был разработан теоретический базис, являющийся основой для дальнейших исследований. Результаты представлены наглядной блок-схемой агента и его функциональным описанием.

Предисловие

При создании автономных обучающихся интеллектуальных систем возникает необходимость в адаптивном управлении. Но такого рода управление в среде, близкой к естественной, должно обладать высокой скоростью, приемлемой точностью и простотой описания для формирования оператором начальной базы знаний. Одним из самых эффективных математических аппаратов для этих целей является аппарат нечеткой логики.

Введение

По классическому определению агент – это сущность, находящаяся в некоторой среде, от которой она получает данные, отражающие события, и, интерпретируя их, исполняет команды (воздействует на среду). Интеллектуальный же агент в свою очередь характеризуется следующими свойствами:

- обладание собственными ресурсами, обеспечивающими автономность;
- восприятие состояний среды и своевременная реакция на происходящие изменения;

- способность агента генерировать цели, исходя из некоторых потребностей, и действовать рационально для их достижения;
- способность моделировать приближенное представление этой среды на основе ее восприятия и прогнозировать последующие изменения;
- обучение, адаптация и эволюция.

Стандартный подход предполагает использование булевой алгебры при разработке алгоритмов функционирования интеллектуального агента. В данной работе будет использована нечеткая логика, которая, в отличие от булевой логики, основана на теории нечетких множеств (причем булеву логику можно назвать частным случаем нечеткой, а нечеткие множества – обобщением теории классических множеств, так как в основе их идеи лежит многозначная логика).

Задание нечеткого множества происходит путем задания характеристической функции. Характеристическая функция (функция принадлежности) множества $A \subseteq U$ – это функция μ_A (степень принадлежности элемента x нечеткому множеству A), значения которой показывают, является ли $x \in U$ элементом множества A :

$$\mu_A(x) : \begin{cases} 0 & \text{– если элемент не принадлежит множеству} \\ 0,1 & \text{– если элемент почти не принадлежит множеству} \\ 0,5 & \text{– если элемент более или менее принадлежит множеству} \\ 0,8 & \text{– если элемент принадлежит в значительной степени множеству} \\ 1 & \text{– является элементом множества} \end{cases}$$

Следовательно, нечетким множеством A называется совокупность пар $A = \{ \langle x, \mu_A(x) \rangle \mid x \in U \}$, где μ_A – функция принадлежности, т.е. $\mu_A: U \rightarrow [0, 1]$.

В свою очередь чтобы задать степень принадлежности необходимо либо задать так называемую область рассуждений (universe of discourse) и саму функцию принадлежности, либо установить для каждой лингвистической переменной степени принадлежности, основанные на знаниях экспертов, где:

Лингвистической переменной называется набор $\langle b, T, X, G, M \rangle$, где

- b – имя лингвистической переменной;
- T – множество его значений (терм-множество), представляющие имена нечетких переменных, областью определения, которых является множество X . Множество T называется базовым терм-множеством лингвистической переменной;
- G – синтаксическая процедура, позволяющая оперировать элементами терм-множества T , в частности, генерировать новые термы (значения). Множество $TUG(T)$, где $G(T)$ – множество сгенерированных термов, называется расширенным терм-множеством лингвистической переменной;
- M – семантическая процедура, позволяющая преобразовать новое значение лингвистической переменной, образованной процедурой G , в нечеткую переменную, т.е. сформировать соответствующее нечеткое множество.

Нечеткой переменной называется набор $\langle a, X, A \rangle$, где

- a – имя переменной;
- X – универсальное множество (область определения a);
- A – нечеткое множество на X , описывающее ограничение (т.е. $\mu_A(x)$) на значение нечеткой переменной a .

Введем также термин «нечеткое высказывание»:

- высказывание $\langle b \text{ есть } b' \rangle$, где b – имя лингвистической переменной; b' – ее значение, которому соответствует нечеткое множество на универсальном множестве X ;
- высказывание $\langle b \text{ есть } mb' \rangle$, где m – модификатор, которому соответствуют слова «очень», «более или менее», «намного больше» и др.;

– сложные высказывания, образованные из высказываний вида 1 и 2 и союзов «и», «или», «если.., тогда...», «если.., тогда.., иначе».

Подытоживая все вышесказанное, приведем пример. Допустим, что существует некая система поиска объектов по их размеру и цвету, задание параметров для поиска которой происходит на естественном языке:

Условия поиска – «Очень большой, слегка красный».

Лингвистические переменные «размер» и «цвет» (рис. 1). «Размер» задается термножеством «маленький», «средний», «большой». «Цвет» задается термножеством цветов в трехмерной плоскости, где все сочетания определяются по модели RGB.

Нечеткие переменные – набор значений функций принадлежности для термов «очень большой» и «слегка красный».

Данная система, анализируя входные данные, делает заключение, используя один из алгоритмов нечеткого вывода (в нашем примере на основе набора функций принадлежности путем расчета центра масс (метод MOM)), на сколько точно найденный объект соответствует искомому. Он может быть точной копией или очень похожим на него, либо отдаленно напоминать искомый запрос.

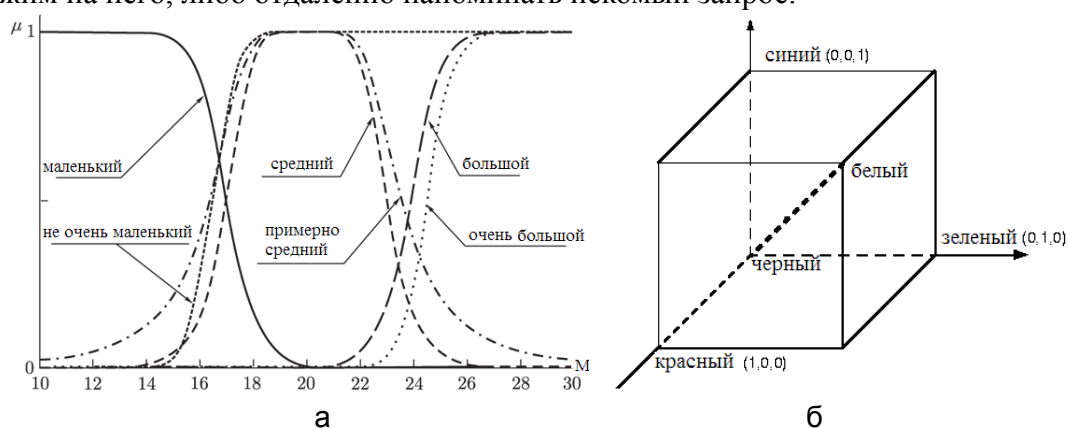


Рис. 1. Лингвистическая переменная «размер» (а); «цвет» (б)

Отметим что все системы, использующие нечеткую логику имеют три основные составляющие: Фаззификатор-Машина нечеткого вывода-Дефаззификатор (рис. 2):

1. фаззификатор, преобразующий фиксированный вектор влияющих факторов X в вектор нечетких множеств \tilde{X} , необходимых для выполнения нечеткого логического вывода;
2. нечеткая база знаний, содержащая информацию о зависимости $Y = f(X)$ в виде лингвистических правил типа «ЕСЛИ-ТО»;
3. машина нечеткого логического вывода, которая на основе правил базы знаний определяет значение выходной переменной в виде нечеткого множества \tilde{Y} , соответствующего нечетким значениям входных переменных \tilde{X} ;
4. дефаззификатор, преобразующий выходное нечеткое множество \tilde{Y} в четкое число Y .



Рис. 2. Схема модели нечеткого контроллера

Таким образом, нечеткая система – это система, особенностью описания которой является:

- нечеткая спецификация параметров;
- нечеткое описание входных и выходных переменных системы;
- нечеткое описание функционирования системы на основе продукционных «ЕСЛИ...ТО...» правил.

Так же стоит сказать о доказанной Бартоломеем Коско теореме нечеткой аппроксимации (Fuzzy Approximation Theorem), согласно которой, любая математическая система может быть аппроксимирована системой на нечеткой логике. Следовательно, с помощью естественно-языковых высказываний «ЕСЛИ-ТО», с последующей их формализацией средствами теории нечетких множеств, можно сколько угодно точно отразить взаимосвязь входа и выхода без использования дифференциального и интегрального исчисления, традиционно применяемых в теории управления.

Синтез интеллектуальной машины

Исходя из данного выше определения интеллектуального агента, приведена блок-схема, на которой представлены основные функциональные блоки (рис. 3).

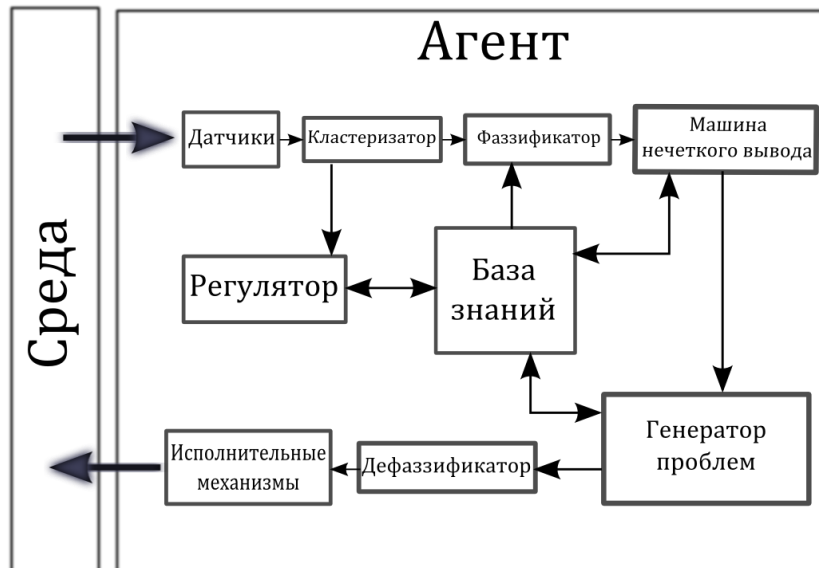


Рис. 3. Функциональная схема агента

Алгоритм функционирования системы:

- замер параметров среды датчиками;
- разделение показаний с датчиков на группы после прохождения данных через кластеризатор, позволяющее агенту воспринимать «одновременно» несколько объектов, определяя их относительное местоположение;
- фаззификация входных данных и фиксирование параметров объектов в регуляторе;
- процедуры нечеткого вывода по заданным критериям;
- генерирование цели на основе информации об объектах и окружающей среде, а так же внутреннем состоянии агента;
- дефаззификация сигналов, поступающих с генератора проблем для получения управляющего сигнала исполнительных механизмов.

Рассмотрим подробнее некоторые из пунктов.

1. Блок кластеризации позволяет не только взаимодействовать с несколькими объектами, но так же производить нормировку кластеризованных входных данных

объекта по каждому из параметров, с целью получить на входе машины нечеткого логического вывода удобные для понимания оператором значения и создать уровень абстракции от характеристик напрямую получаемых с датчиков. Функция нормировки так же играет важную роль в процессе оценивания окружающей среды, позволяя производить точное регулирование параметров при обучении. После нечеткого вывода, с помощью кластеризатора создается карта по типу топографической с интересующими агента объектами для последующего моделирования окружающей среды и ее анализа, и использования в генераторе проблем для нечетких оценок среды. Конечная поверхность создается путем суммы функций, подобных пространственной функции распределения Гаусса (т.е. характеризуется двумя независимыми параметрами – средней величиной по координатам X и Y и шириной распределения).

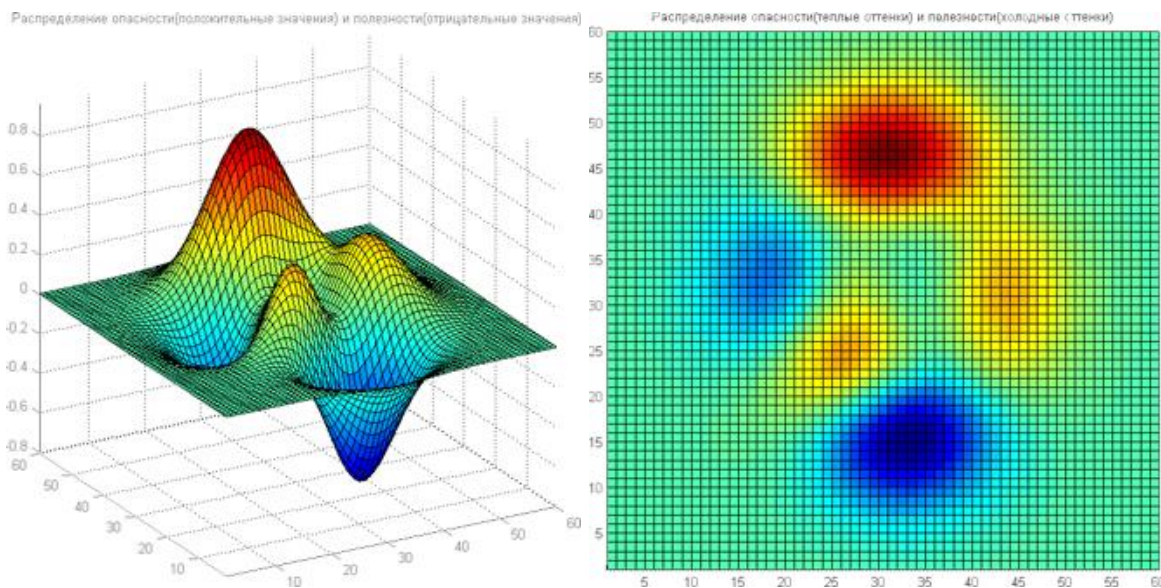


Рис. 4. Пример конечной поверхности

- Блок фаззификации преобразует вектор характеристик полученных после прохождения данных через кластеризатор в вектор нечетких множеств, необходимых для выполнения нечеткого логического вывода.

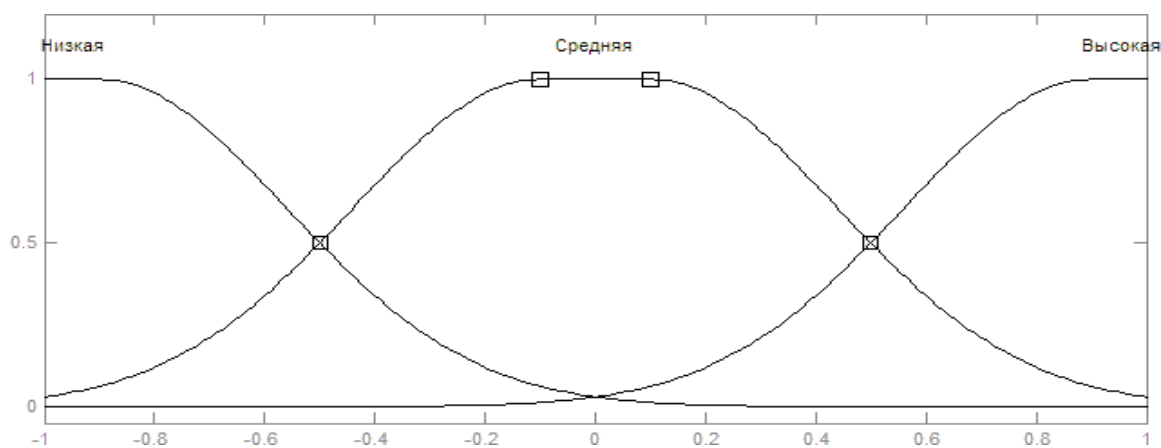


Рис. 5. Пример набора функций принадлежности для одной из конкретных характеристик

- Нечеткий вывод делается на основе вектора нечетких множеств, полученного на этапе фаззификации по параметрам объекта задаваемых оператором. Затем делается обобщающий вывод на основе полной характеристики объекта. По его численным значениям создается карта местности.

Теперь рассмотрим сам процесс фаззификации. В теории нечеткой логики

стандартный процесс фаззификации осуществляется путем преобразования значений входных переменных в значения лингвистических переменных, причем процесс идет в двумерном пространстве, и ограничен лишь одной входной переменной для каждой лингвистической на одной плоскости. Но при использовании данного положения возможен синтез только ограниченного алгоритма обучения, который не способен учитывать различия между схожими объектами окружающей среды, либо использует наборы правил, которые представляют собой базу данных, растущую пропорционально количеству входных и лингвистических переменных и их взаимосвязей с выходной переменной. Обработка подобных массивов информации требует наличия больших вычислительных мощностей, и с применением существующего оборудования данный способ не способен давать своевременные результаты при работе с реальной окружающей средой, заключающей в себе множество параметров, следовательно, агент не способен своевременно реагировать на изменения в окружающей среде и не попадает под определение интеллектуального.

Чтобы синтезировать подходящий алгоритм необходимо отказаться от использования объемных баз правил и сократить количество процедур нечеткого вывода, для значительного упрощения вычислительной задачи. Решение такого рода задачи возможно путем усложнения исходного (по сути своей одномерного) пространства и введения в теорию нечеткой логики многомерных функций принадлежности, а именно – гиперповерхностей.

Рассмотрим простейшее усложнение от единственной оси параметров до плоскости, получив трехмерное пространство с учетом лингвистической переменной.

Пусть имеются две величины, как и в первом примере – яркость и размер; в состав каждой из них входит по три нечеткие переменные, как и в выходной величине. Для получения характеристики объекта стандартным подходом нам потребуется сетка правил, по которой производится нечеткий вывод.

1. If (ЯРКОСТЬ is mf1) and (РАЗМЕР is mf1) then (Характеристика is mf1) (1)
2. If (ЯРКОСТЬ is mf3) and (РАЗМЕР is mf3) then (Характеристика is mf3) (1)
3. If (ЯРКОСТЬ is mf2) and (РАЗМЕР is mf2) then (Характеристика is mf2) (1)

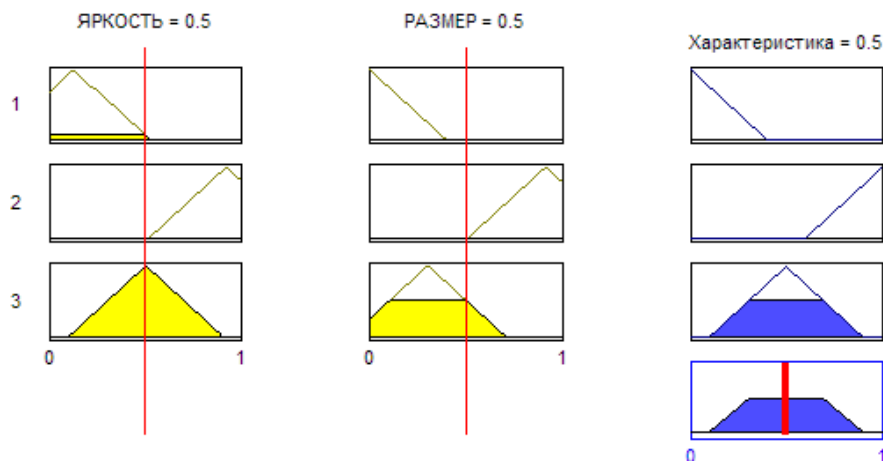


Рис. 6. База правил при значениях ЯРКОСТЬ=0,5 и РАЗМЕР=0,5

Для этого случая мы можем построить поверхность, генерирующуюся на основе правил.

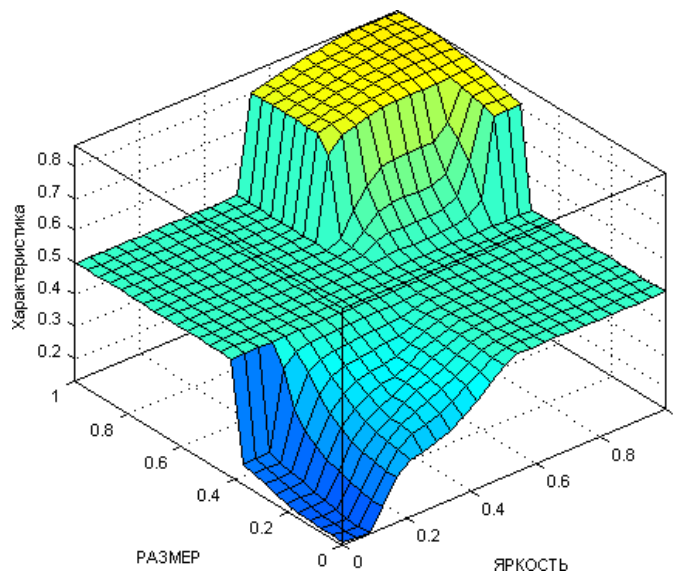


Рис. 7. Поверхность распределения значений Характеристика в зависимости от параметров ЯРКОСТЬ и РАЗМЕР

Это минимальный набор правил определяющий взаимосвязь сочетаний входных нечетких переменных с выходными. Для полноценной оценки объекта может понадобиться сочетание параметров дающее гораздо более сложные поверхности, для построения которых понадобится более громоздкая база правил:

1. If (ЯРКОСТЬ is mf1) and (РАЗМЕР is mf1) then (Характеристика is mf1) (1)
2. If (ЯРКОСТЬ is mf3) and (РАЗМЕР is mf3) then (Характеристика is mf3) (1)
3. If (ЯРКОСТЬ is mf2) and (РАЗМЕР is mf2) then (Характеристика is mf2) (1)
4. If (ЯРКОСТЬ is mf3) and (РАЗМЕР is mf1) then (Характеристика is mf1) (1)
5. If (ЯРКОСТЬ is mf1) and (РАЗМЕР is mf3) then (Характеристика is mf2) (1)
6. If (ЯРКОСТЬ is mf2) and (РАЗМЕР is mf3) then (Характеристика is mf1) (1)

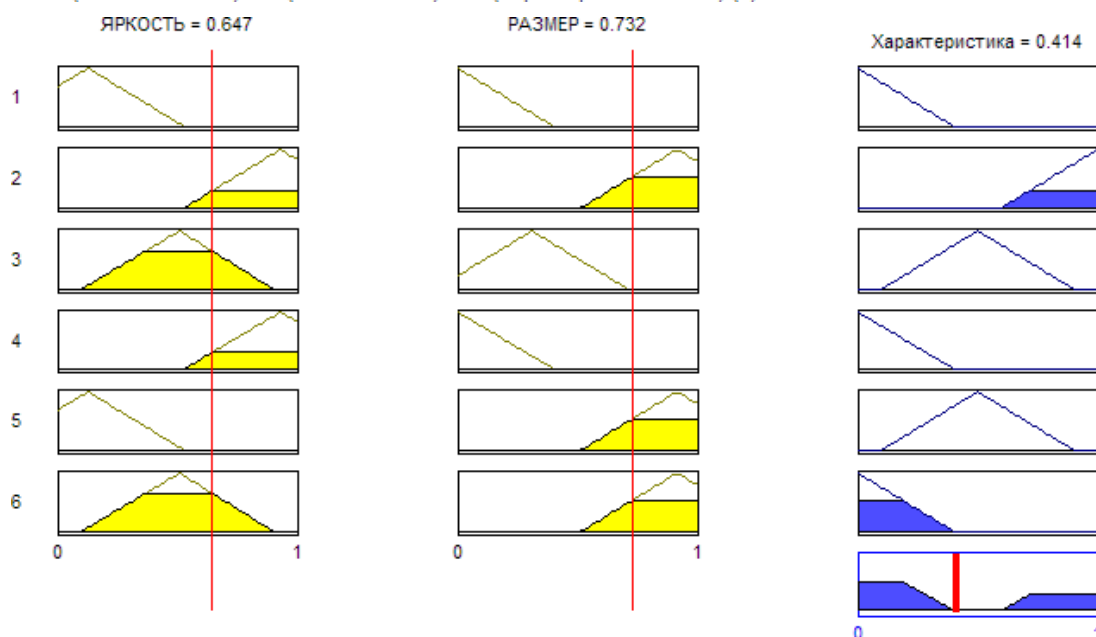


Рис. 7. База правил для усложненной поверхности распределения значений Характеристика

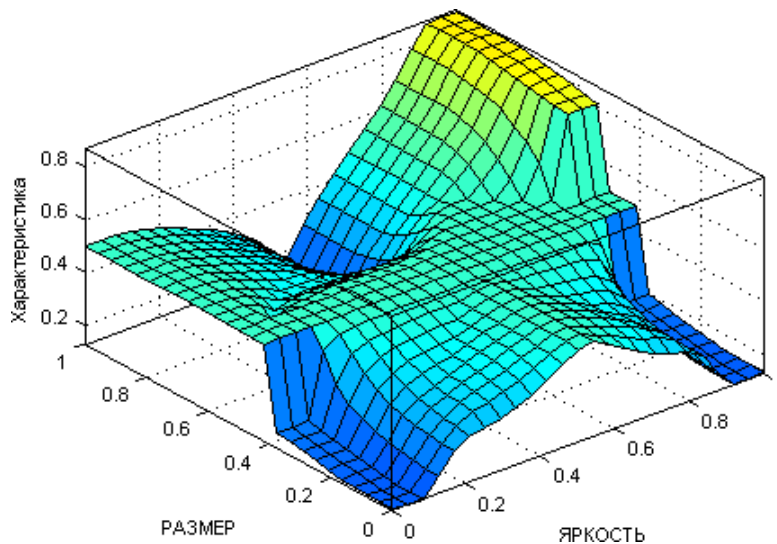


Рис. 8. Пример усложненной поверхности распределения значений Характеристика

Таким образом, получаем неограниченное увеличение количества правил в базе, которое увеличивает объемы данных для обработки. Но главной проблемой остается то, что при прибавлении еще одного параметра становится невозможным, без увеличения объема данных, сопоставление входных и выходных параметров. При N входных переменных задача усложняется более чем N -кратно. С учетом того, что генерация должна происходить автоматически при задании оператором основных параметров в терминах нечеткой логики, гораздо более эффективным способом будет генерация конечной поверхности без применения базы правил, т.е. создание гиперповерхности в $(N+1)$ -мерном пространстве.

Такой подход дает нам ряд преимуществ среди систем, основывающихся на классической нечеткой логике:

- упрощение автоматической генерации сочетаний параметров;
- сокращение базы данных (после генерации данные представляют собой формулу гиперповерхности);
- возможность более точного сопоставления параметров при меньших вычислительных затратах;
- при количестве входных переменных $n \leq 2$ позволяет наглядно показывать их взаимосвязь с выходом.

Заключение

Полученные в ходе работы основы теории нечеткого логического вывода методом N -мерных поверхностей предоставляют возможность применения мягких вычислений в задачах проектирования искусственного интеллекта. Результаты рассмотрения простейших примеров позволяют говорить об эффективности алгоритма относительно существующих методов обработки информации с помощью нечетких алгоритмов.

Дальнейшим развитием полученных результатов является составление оптимальной формулы для сочетания N параметров путем экспериментального апробирования алгоритма в реальной среде, а так же разработка генератора проблем, использующего схожие алгоритмы.

Данная статья написана при поддержке гранта Президента РФ МК-5488.2012.8.

ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЙ ВЕБ-СЕРВИС ПО ОЦЕНКЕ КАЧЕСТВА ДОРОГ

М.В. Христофоров

Научный руководитель – ассистент А.Р. Шишкин

Статья освещает вопрос создания геоинформационного веб-сервиса для оценки качества дорог в век информационных технологий. Целью является продемонстрировать возможность разрешения старой проблемы современными средствами, существующие подходы к оцениванию в сети интернет и подход к оцениванию качества дорог, выбранный для разрабатываемого веб-сервиса. В ходе исследования были рассмотрены такие вопросы, как: история проблемы, определение цели, платформа для разработки программного решения, существующие системы оценивания, дополнительные факторы, влияющие на конечную оценку, а также основополагающие принципы для оценки участков дорог. В конце статьи приводятся текущие результаты исследования. Приводя указанные выше аспекты, данное исследование подчеркивает не столько новизну предлагаемого решения, сколько факт того, что развитие информационных технологий позволяет нам ставить и решать проблемы, о которых раньше даже не задумывались.

Ключевые слова: геоинформационный веб-сервис, GOOGLE MAPS v3, оценка качества дорог, состояние дорог, системы прямого оценивания, roadcut-концепция.

Введение

Проблема качества дорог в России сказывается как на медленном развитии отдаленных населенных пунктов, так и на небыстром росте автотранспорта и автотуризма. На сегодняшний день, несмотря на рассвет информационных технологий в самых разнообразных областях промышленности и общественной жизни, мы сталкиваемся с отсутствием возможности узнать о состоянии дороги и дорожного покрытия, в частности, не увидев сам дорогу воочию. Редким являются даже простейшие словесные отзывы автомобилистов о состоянии дорог, не говоря уже о какой-либо базе данных.

Одним из вариантов решения проблемы нехватки столь необходимой для планирования автомобильного маршрута информации является геоинформационный веб-сервис (ГИС) по оценке качества дорог. Очевидно, сервис должен быть общедоступен любому пользователю сети интернет. Но наибольший интерес сервис должен представлять для водителей любой категории, которые и являются основной целевой аудиторией проекта.

В основные задачи предлагаемого веб-сервиса должны входить:

- обеспечить возможность любому пользователю оценивать участки дорог;
- дать возможность просматривать оценки других пользователей;
- реализовывать возможность подтверждать и опровергать оценки других пользователей;
- представлять собой бесплатный веб-ориентированный инструмент.

Во-первых, конечный результат исследования является некоммерческим продуктом. И, следовательно, потенциальные пользователи смогут пользоваться сервисом безвозмездно. Во-вторых, разработанный сервис должен не только обеспечивать оценивание дорог, но и предоставить дружественный пользователю интерфейс для работы с возможностью просматривать оценки других пользователей. Основные принципы для оценивания в рамках исследования сформировали roadcut-концепцию, приведенную ниже в статье. В-третьих, ввиду воодушевления от проектов вроде OpenStreetMaps, результаты оценивания будут открыты широкой публике. В-четвертых, для того, чтобы предоставлять наиболее точные данные о состоянии дорожного покрытия, должен соблюдаться баланс, поэтому реализация средства для одобрения/несогласия с оценками пользователей представляется необходимым. Теперь,

обозначив эти положения, мы можем перейти к рассмотрению исторического аспекта проблемы.

История проблемы

По состоянию на конец 2011-го года прямых аналогов такого сервиса в интернет найдено не было, что подтверждает его новизну. В виду прогресса в области использования технологии Ajax в веб-проектах, стоит также внести некоторое уточнение, применимое ко всем нашим последующим обращениям к термину «веб-сервис». Сам по себе термин веб-сервис не обязательно должен иметь такую присущую Web-2.0 сайтам возможность, как отправка запроса к серверу без перезагрузки страницы. Под «веб-сервисом» мы будем понимать программную систему, идентифицируемую строкой URL без общедоступных xml-подобных интерфейсов. Это означает, что веб-сервис рассматривается нами не с точки зрения сервисно-ориентированной архитектуры (SOA). Это обусловлено тем, что разрабатываемый сервис, в конечном счете, должен предоставлять пользователю богатый веб-клиент (Rich Web Client), берущий на себя все взаимодействия с сервером. Данный тренд является сравнительно новым в сфере информационных технологий, что влечет за собой повышенный интерес специалистов по разработки информационных систем. С другой стороны, реализовывать общедоступный интерфейс средствами WSDL (Web-Service Definition Language – язык определения веб-сервисов) не предполагается. Именно это и послужило причиной уточнения понятия «веб-сервис» внутри этой работы.

Решаемую проблему сложно охарактеризовать, как тривиальную в виду того, что до последнего времени не имелось технологий, позволяющих разработать подходящую реализацию при имеющихся вычислительных мощностях. Однако это не вовсе не означает, что попыток не предпринималось. До наступления эры Web-2.0 существовали различные ГИС, а также службы, интегрированные с ними. Подобные проекты по силам были только крупным корпорациям и государствам, как, например, GRASS от министерства обороны США. Сложность реализации подобных проектов объяснялась несколькими причинами. Во-первых, вычислительные мощности компьютеров того времени значительно уступали современным персональным компьютерам. Во-вторых, требовалось специальное образование в области ГИС, что зачастую вынуждало работать программистов и специалистов по ГИС совместно. В-третьих, картографические данные было достаточно сложно собрать и поддерживать их актуальность. С одной стороны, это снова возвращает нас к проблеме о нехватке ресурсов компьютеров того времени, а с другой стороны, о высокой стоимости этих данных. Это вовсе не обозначает, что не имелось открытых картографических данных, но они, как правило, были либо недостаточно полными, либо устаревшими. В-четвертых, доступ к подобным системам имели только работники специальных служб и компаний, чья деятельность нуждалась в ГИС. Таким образом, рядовой пользователь интернет не смог бы получить доступ к подобным данным в наглядной и простой форме еще 15–20 лет назад. Как следует из вышесказанного, само по себе создание ГИС было наукоемким и дорогостоящим процессом, доступным немногим. А ее наличие является необходимым условием для решения рассматриваемой проблемы. Появление доступных интернет-сообществу ГИС в начале XXI века таких, как Google Maps или Яндекс-карты изменило ситуацию. К этому времени барьер на вход в данную область значительно снизился: компьютеры стали мощнее в несколько раз по сравнению с ЭВМ конца XX века; ширина каналов для передачи возросла, что позволило получать доступ к картографическим данным посредством сети интернет; в ней же накопился достаточно большой объем знаний, сведений и технологий, необходимых для разработки веб-сервиса; API для большинства открытых веб-ГИС не требует

специального картографического образования. Таким образом, появились средства для решения большого количества самых неожиданных задач в данной сфере. Это объясняет отсутствие работ в области решения конкретно этой задачи.

Различные стеки технологий были рассмотрены прежде, чем составить следующую инструментальную платформу для разработки веб-сервиса:

- сервер приложения: PHP5;
- клиентская часть: JavaScript, HTML4/5, JQuery, Twitter Bootstrap;
- СУБД-сервер: MySQL;
- веб-GIS с открытым API: Google Maps.

Полный список технологий, используемых при разработке, состоит из PHP, Zend Framework, Redis, Memcache, Light OpenId, MySQL, JavaScript, jQuery, Twitter Bootstrap, XHTML, HTML5, API Google Maps v3, git. На рис. 1 отображена общая схема использования выбранных технологий.

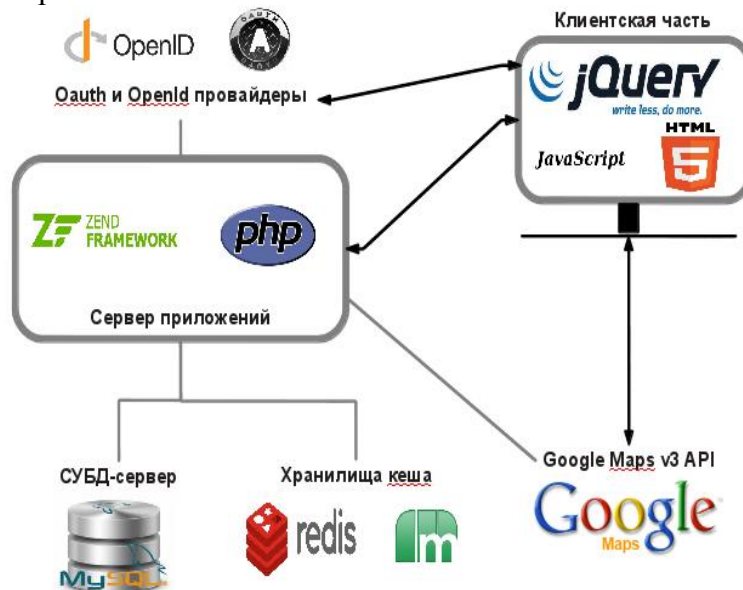


Рис. 1. Общая схема использования выбранных технологий

Существующие системы оценивания

Для создания системы оценивания дорог был проведен обзор наиболее популярных систем оценивания, распространенных в сети интернет.

Ниже приведены системы прямого оценивания, выявленные в ходе исследования:

- «Понравилось»;
- «Понравилось/Не понравилось»;
- N -балльная шкала;
- отзывы с оценкой;
- многокритериальная.

Целочисленные системы оценивания «Понравилось» и «Понравилось/Не понравилось» не имеют ограничений на рост оценки по модулю. Т.е. если в первом случае, оценка может расти от 0 до бесконечности, то во втором она может теоретически принимать любое целочисленное значение.

N -балльная шкала – это способ оценки, при котором пользователь может присвоить балл, находящийся в строго заданном диапазоне (например, $[0, 5]$, $[0, 10]$, $[-5, 5]$ и т.д.). Как правило, такие оценки уже могут подлежать обработке с целью получения более общих оценок, как например, среднее арифметическое в самом простом случае. Многокритериальные оценки представляют собой вектор N -балльных оценок. Такие оценки достаточно сложно обрабатывать, так как необходимо определить логику работы с пропущенными оценками по какому-либо из критериев, составляющих

итоговый вектор.

Отзыв с оценкой – это способ словесного оценивания пользователем, при котором прочие пользователи могут соглашаться, либо не соглашаться с автором используя систему «Понравилось/Не понравилось».

На начальном этапе разработки было решено использовать *N*-балльную шкалу, отзывы с оценкой. В перспективе планируется ввести многокритериальную систему оценивания.

Дополнительные факторы

Учитывая специфику проекта, необходимо также поддерживать максимально возможный уровень достоверности данных, так как состояние дорог не остается неизменным на протяжении долгого времени. Поэтому были выделены следующие факторы, влияющие на производные оценки участка дороги:

- актуальность данных (наиболее актуальным являются данные за последние год-два);
- авторитет («рейтинг») оценивающего;
- подтверждение или опровержение оценки пользователя другими пользователями сервиса.

Для учета каждого из факторов было подобрано наиболее подходящее решение. Актуальность определяется неким максимальным интервалом времени, по которому производится выборка. Все данные вне этого интервала отфильтровываются. Предполагается, что пользователю будет предоставляться возможность самостоятельно задать параметры данных, являющиеся актуальными по его мнению. Ввиду того, что активные пользователи в большей степени заинтересованы в том, чтобы отражались наиболее адекватные оценки, то соразмерно росту их авторитета выставляемая ими оценка будет обрабатываться так, как если бы она выставлена несколько раз. Авторитет отдельного пользователя также соразмерен с его активностью, а также с оценкой достоверности его отзывов другими пользователями. При этом оценка не может упасть ниже 1, а набор критически большого числа людей, которым данный отзыв показался недостоверным, исключит ее из обработки системой.

Roadcut-концепция. Понятие «roadcut» (от англ. «road» – дорога и «cut» – отрезок) в рамках данного исследования используется для обозначения некоего выбранного участка дороги. Roadcut-концепция строится на четырех принципах, а именно:

- нисходящая система оценивания;
- каждая дорога состоит из участков, каждый из которых может оцениваться отдельно;
- участки дороги могут создаваться, оцениваться, комментироваться, одобряться и не одобряться пользователями;
- участки дороги могут пересекаться и, следовательно, комментарии и оценки, им присвоенные будут составлять общую оценку и набор комментариев для составного участка дороги.

Каждый участок, выбранный пользователем, может находиться на пересечении нескольких оцененных ранее участков дороги. Поэтому участок под выделением будет наследовать все оценки от участков дорог, с которыми он хотя бы частично совпадает. Таким образом, мы получаем суперпозицию оценок при просмотре оценок выбранного участка. Тем не менее, только выбранному участку дороги будут присвоены оценка и комментарий пользователя, поэтому, для более точного результата необходимо выбирать наиболее короткий участок дороги. Суперпозицию оценок иллюстрирует рис. 2. Чтобы количество оценок было значительно больше, чем количество участков дорог, разрешение на создание новых участков дорог не будет доступно широкому кругу пользователей, а только тем, кто заслуживает доверия.

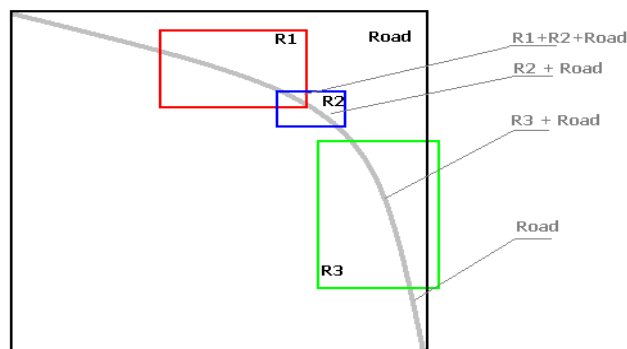


Рис. 2. Пересечение участков дороги

Заключение

Таким образом, в ходе исследования было установлено, что поставленная цель, разработать ГИС, представляется достижимой, что в оценивании будут использоваться N -балльная шкала и отзывы пользователей с оценкой, а также механизм подтверждения/опровержения пользователей совместно с контролем актуальности данных о конкретном участке дороги. Кроме того, среди имеющихся технологий в сети интернет были выбраны те, с помощью которых образуют инструментальную платформу для разработки веб-сервиса (рис. 1). Логика будущего веб-приложения будет определяться набором принципов, описанных выше, как roadcut-концепция.

С точки зрения программной реализации основным результатом является разработанный прототип системы, который включает авторизацию через социальную сеть VKontakte, N -балльную системы оценивания и присвоения комментария к выбранному участку дороги. На рис. 3 и 4 приводится пользовательский интерфейс веб-сервиса, имеющий место на текущий момент.

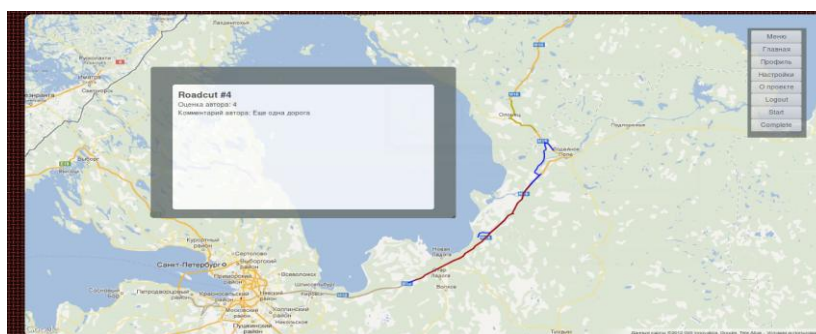


Рис. 3. Общий пользовательский интерфейс

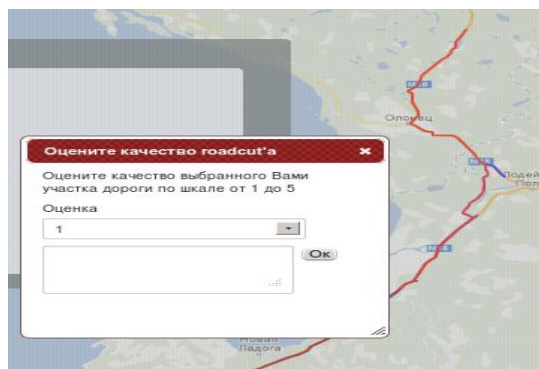


Рис. 4. Диалог оценивания участка дороги

Литература

1. Obe Regina O., Hsu Leo S. PostGIS in Action // Organization, programming and application. – Stamford, 2011. – 522 p.
2. Дубинин М.Ю., Рыков Д.А. Открытые настольные ГИС: обзор текущей ситуации // Информационный бюллетень ГИС-Ассоциации. – 2009. – № 5(72). – С. 20–27.
3. Ben Appleton, Google Geo Team, with contributions from Lary Stucker. Using PHP/MySQL with Google Maps // Maps API Developer. – 2007. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: открытый. <http://code.google.com/intl/ru-RU/apis/maps/articles/phpsqlajax.html>, своб.

УДК 681.586.773

НЕЛИНЕЙНЫЙ ИЗГИБ ЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ТАКТИЛЬНЫХ СЕНСОРАХ

А.В. Шаветов

Научный руководитель – д.т.н., профессор В.М. Мусалимов

В статье рассматривается вариант конструкторской разработки сенсоров для систем тактильного мониторинга и импульсного давления. Описывается конструкция такого датчика. Приводятся примеры использования данного типа датчиков.

Ключевые слова: тактильные сенсоры, очувствление, робототехника.

Введение

Периодически в различных публикациях рассматриваются идеи создания устройств, способных регистрировать тактильные воздействия различного рода (распознавание поверхности, образов, имитации человеческой кожи). Большой интерес представляют конкретные конструкции систем такого рода.

В настоящее время разработке тактильных датчиков, способных к распознаванию геометрических образов окружающего пространства, уделяется все больше внимания, что обусловлено развитием робототехники. Все больше создаваемых робототехнических объектов оснащаются видеокамерами для зрительного распознавания объектов, т.е. бесконтактного. Но настоящий интерес вызывает именно контактное определение окружающего пространства – механическое осязание доступной зоны. Создание устройств такого рода многие специалисты считают весьма перспективным направлением, как и разработку технического зрения наподобие человеческого. Задачи ориентации в пространстве в условиях недостаточной освещенности, схватывании объекта и т.п. не могут быть эффективно решены без использования тактильного мониторинга.

Это относится к робототехническим системам, осуществляющим взаимодействие с неопределенной средой, в которой изначально неизвестно расположение объектов и их параметры (форма, материал), параметры объектов изменяются с течением времени [1].

Основная часть

Для успешного решения обозначенных задач робототехнический комплекс должен быть способен распознавать окружающую среду (или объекты в ней) с помощью тактильных датчиков. Например, задача тактильного мониторинга поверхности включает в себе необходимость преобразования «ощупываний» рельефа исследуемой поверхности в электрические сигналы, которые могут быть использованы для получения требуемой информации, такой, как обрыв, подъем, неровности и т.д. Или очувствление схвата робота, который должен, при взаимодействии с объектами,

применять корректное усилие. Очувствление схвата особенно важно при работе с объектами разного веса и формы, а также когда вес и форма могут изменяться в процессе взаимодействия. Создание правильного схватывающего усилия, соответствующего параметрам объекта, позволит избежать непреднамеренной деформации и повреждения, к тому же повысит точность позиционирования и все обозначенные операции смогут выполняться в адаптивном режиме.

На рис. 1 представлены два возможных размещения пьезоэлектрических пластин. Рис. 1, а, показывает вариант одной чувствительной ячейки для плоских тактильных элементов, которые больше направлены на определение прикосновений, чем значительного рельефа. Здесь при внешнем воздействии на элемент на контактах мы получаем электрическое напряжение, которое изменяется в зависимости от характера воздействия. На рис. 1, б, представлен вариант компоновки чувствительного элемента, который способен различать значительные изменения рельефа, в зависимости от используемых компонентов, от 1 до 15 мм. Конструкцией предусмотрен щуп, способный перемещаться под воздействием неровностей рельефа. В свою очередь перемещения щупа изгибают пьезоэлектрический элемент, на контактах которого мы снимаем электрическое напряжение, изменяющееся в зависимости от изменений рельефа.

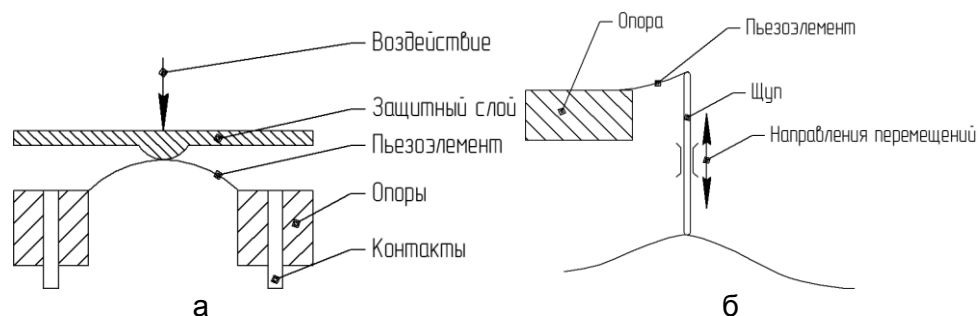


Рис. 1. Возможные размещения пьезоэлектрических пластин: одна чувствительная ячейка для плоских тактильных элементов (а) и вариант компоновки чувствительного элемента (б)

В настоящей работе был сконструирован рабочий прототип, конструкция которого состоит из элементов, обозначенных на рис. 1, б. Это устройство имеет 12 самостоятельных чувствительных датчиков. Разрез прибора представлен на рис. 2.

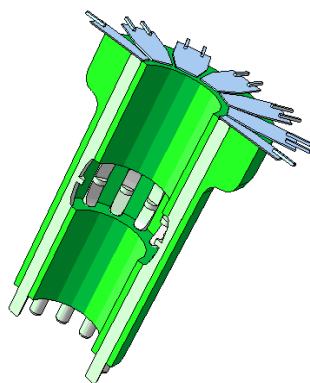


Рис. 2. Прототип в разрезе

В качестве обработчика первичных сигналов от датчиков используется профессиональная плата разработчика Parallax DB.

Расчет сенсоров с помощью теории нелинейного изгиба. Основным вопросом расчета стержневых конструкций является задача об изгибе стержня. Большой вклад в создание и развитие методов анализа упругих стержней был внесен зарубежными учеными: Эйлером, Лагранжем, Лявом. Ими был сформулирован статический принцип подхода к анализу упругих тонкостенных структур. Также и наши соотечественники такие как Попов, Тимошенко, Светлицкий и т.д., посвятили много работ по

экспериментальным исследованиям и методам расчета упругих чувствительных элементов. Основным способом решения таких задач является получение приближенных линейризованных уравнений равновесия для изогнутых стержней. Для некоторых случаев есть точные решения нелинейных уравнений, выраженные в эллиптических интегралах. В таких случаях решение определяется тремя параметрами, связанными с условиями на двух концах и действующей силой находящихся из вспомогательных таблиц. Несмотря на большое количество теоретических моделей и методов, решение задачи об изгибе очень громоздки и сложны для использования.

В то же время есть прогресс в получении точных аналитических решений, выраженных в эллиптических функциях с одним параметром – модулем k , определяемым действующей силой. В настоящее время есть достаточно эффективные, быстрые алгоритмы для вычисления эллиптических функций и интегралов на основе современных математических пакетов (Maple и Matlab), что позволяет создать эффективные программные продукты для визуализации точных решений для изгиба тонких стержней. В наши дни это имеет ясно выраженное прикладное инженерное значение при расчете устройств точной механики и условиях ограниченных габаритов, поскольку точные аналитические решения в ряде случаев значительно отличаются от приближенных. Поэтому сравнение точных решений с приближенными может позволить найти те области параметров, где целесообразно использовать точное или возможно использовать приближенное решение. Это может позволить выбрать оптимальные характеристики создаваемых устройств микромеханики.

Определим задачу. Пусть тонкий нерастяжимый упругий стержень, изначально прямой, закрепленный на левом конце и свободный на правом, подвергается действию (сжатию под произвольным углом) внешней нагрузки, сосредоточенной на правом конце стержня. Изначальное неизогнутое положение стержня – вдоль оси OX . Левый закрепленный конец стержня расположим в начале координат (рис. 3).

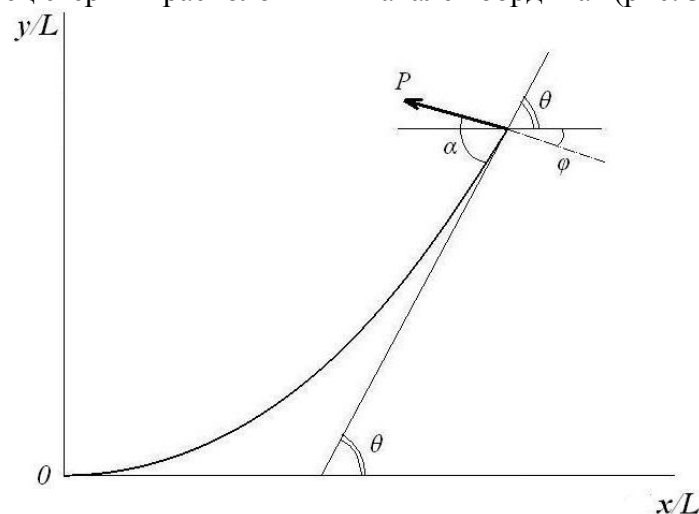


Рис. 3. Постановка задачи. Система координат, где L – длина стержня; l – криволинейное расстояние от начала координат до рассматриваемой точки; α – угол слежения; φ – угол наклона силы к оси OX ; θ – угол наклона касательной к оси OX ; P – внешняя приложенная сила

Так как распределенная нагрузка отсутствует, то уравнение равновесия стержня запишем в следующем виде [2]

$$EI \frac{d^2\theta}{dl^2} - P_x \sin \theta + P_y \cos \theta = 0. \quad (1)$$

Для упрощения уравнения введем полный модуль действующей сосредоточенной силы P и угол наклона направления силы к оси OX φ_0 . Для изучения всех возможных вариантов изгиба стержня достаточно рассматривать угол направления силы φ_0

изменяющийся в пределах от 0 до $\pi/2$. Будем считать величины P и φ_0 известными. Получим

$$P_x = -P \cos \varphi, P_y = P \sin \varphi.$$

Подставляя эти выражения в уравнение (1), получим

$$\frac{d^2\theta}{dl^2} + \frac{P}{EL} \sin(\theta + \varphi_0) = 0.$$

Введем безразмерную длину $t = l/L$, изменяющуюся от 0 до 1, и сделаем замену $\gamma = \theta + \varphi_0$. Введем обозначение для собственного числа $q^2 = PL^2/EL$. Тогда получим уравнение для угла γ типа уравнения нелинейного маятника

$$\frac{d^2\gamma}{dt^2} + q^2 \sin \gamma = 0.$$

Решение этого уравнения:

$$\gamma(t) = 2 \arcsin [k \operatorname{sn}(qt + F_1, k)],$$

$$\frac{d\gamma(t)}{dt} = 2kq \operatorname{cn}(qt + F_1, k), \quad (2)$$

где функции sn и cn – эллиптические синус и косинус Якоби. Модуль эллиптических функций k и параметр F_1 играют роль констант интегрирования, и их связь с действующей силой P и углом приложения φ_0 определяется из граничных условий каждого конкретного случая изгиба стержня [3].

Введем обозначение для аргумента эллиптических функций

$$u = qt + F_1. \quad (3)$$

Используя выражение (2), получим

$$\cos \gamma(t) = 1 - 2k^2 \operatorname{sn}^2 u, \quad \sin \gamma(t) = 2k \operatorname{sn} u \operatorname{dn} u. \quad (4)$$

Интегрируя соотношения $dx/dl = \cos \theta$, $dy/dl = \sin \theta$, получим координаты произвольной точки стержня

$$x = \int_0^t \cos \theta dt = \int_0^t \cos(\gamma - \varphi_0) dt = \frac{CC \cos \varphi_0 + SS \sin \varphi_0}{L}$$

$$y = \int_0^t \sin \theta dt = \int_0^t \sin(\gamma - \varphi_0) dt = \frac{SS \cos \varphi_0 + CC \sin \varphi_0}{L}. \quad (5)$$

Использованные здесь обозначения CC и SS , полученные с помощью (4), имеют вид

$$CC = \int_0^t \cos \gamma dt = \int_0^t (1 - 2k^2 \operatorname{sn}^2 u) dt = -t + \frac{2}{q} [E(am u) - E(am F_1)],$$

$$SS = \int_0^t \sin \gamma dt = \int_0^t 2k \operatorname{sn} u \operatorname{dn} u dt = \frac{2k}{q} [\operatorname{cn} F_1 - \operatorname{cnu}]. \quad (6)$$

Здесь $E(am u)$ – неполный эллиптический интеграл второго рода от эллиптической амплитуды Якоби. Выражения (5) и (6) задают форму профиля изогнутого стержня в параметрическом виде с параметром t – приведенной криволинейной длиной.

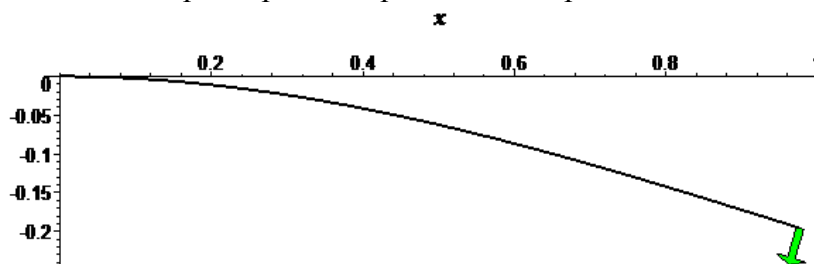


Рис. 4. Визуализация изгиба

Применение пьезоэлектрических датчиков. Внешние механические силы, воздействуя в определенных направлениях на пьезоэлектрический материал, вызывают в нем не только механические напряжения и деформации (как во всяком твердом теле), но и электрическую поляризацию и, следовательно, появление на его поверхностях связанных электрических зарядов разных знаков. При изменении направления механических сил на противоположное становятся противоположными направление поляризации и знаки зарядов. Это явление называют прямым пьезоэффектом.

При прямом пьезоэффекте заряды на поверхности диэлектрика пропорциональны приложенной силе.

$$V=dP,$$

где V – величина напряжения; P – величина приложенной силы; d – коэффициент пропорциональности между зарядом и приложенной силой, называемый пьезомодулем. Конкретное значение пьезомодуля зависит от применяемого материала и содержится в его описании.

Важно отметить, что приведенные соотношения имеют лишь качественный характер. Реальное описание пьезоэлектрического эффекта намного сложнее.

Заключение

Тактильные датчики находят применение в робототехнике и медицине. В данной работе приведена конструкторская разработка тактильного датчика. Показан пример расчета координат точки сенсора с помощью теории нелинейного изгиба. Этот алгоритм позволяет найти положение свободного конца индивидуального сенсора, что используется в практических измерениях.

Литература

1. Tuci Elio, Massera Gianluca, Nolfi Stefano. Active categorical perception of object shapes with anthropomorphic robotic arm // IEEE transactions on evolutionary computation. – 2010. – V. 14. – № 6. – P. 885–899.
2. Попов Е.П. Теория и расчет гибких упругих стержней. – М.: Наука, 1986. – 296 с.
3. Тимошенко С.П., Гудьер Дж. Теория упругости. – М.: Наука, 1975. – 576 с.

УДК 681.51

ПОДВИЖНАЯ МАЯТНИКОВАЯ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ПЛАТФОРМА

С.В. Шаветов, Ю.А. Капитанюк

Научный руководитель – д.т.н., профессор А.А. Бобцов

В статье рассматривается робототехническая система неустойчивой маятниковой конфигурации. Приведена его математическая модель, рассматриваемая с точки зрения перевернутого маятника с подвижной точкой подвеса; осуществлен синтез алгоритма стабилизации и проведено компьютерное моделирование системы. Предлагаемая маятниковая исследовательская система может использоваться в качестве неустойчивого объекта управления при синтезе алгоритмов управления нестационарными и нелинейными объектами.

Ключевые слова: маятник, платформа, научно-исследовательская система, стабилизация, моделирование.

Введение

Класс технических систем, в которых используются системы автоматического управления, расширяется с каждым днем вместе с развитием современной техники, что все больше указывает на тесную интеграцию аппаратных и программных частей

устройств, выливающих в совокупные системы, называемые «мехатронными» [5]. Наиболее интересными для исследования и технически сложными мехатронными объектами являются устройства различных неустойчивых нетривиальных конструкций.

Можно выделить группу маятниковых объектов, позволяющих решать наиболее перспективные задачи в области управления. В большинстве своем данные объекты представляют неполноприводные системы с меньшим числом степеней свободы, нежели количеством приводов. Такие системы позволяют реализовать в управлении наиболее сильное приближение к реальным объектам управления, в которых не всегда и не везде имеется возможность установки привода либо датчика. Неполноприводные системы являются энергетически выгодными ввиду меньшего числа потребителей энергии и, как следствие, уменьшаются массогабаритные показатели, а в мобильных системах – повышается интегральная подвижность комплекса [1].

В работе рассматривается мобильное устройство, представляющее собой неустойчивую маятниковую систему на подвижном основании, позволяющую решать задачи исследования алгоритмов управления неустойчивыми нелинейными системами, включая задачи стабилизации и движения по траектории.

Математическая модель

Для синтеза управления, стабилизирующего маятниковую систему в верхнем неустойчивом положении равновесия, требуется построить математическую модель объекта. Существует достаточное количество работ, посвященных решению данной проблемы [3, 4, 6]. Остановимся подробно на модели, предложенной в статье [6].

На рис. 1, а, представлена общая трехмерная модель балансирующей системы, в которой W – ширина системы; D – толщина; H – высота; Θ_l и Θ_r – углы поворота левого и правого колес соответственно; R – радиус колеса. Для стабилизации объекта необходимо перемещать в горизонтальной плоскости точку подвеса маятника, т.е. подвижное основание системы.

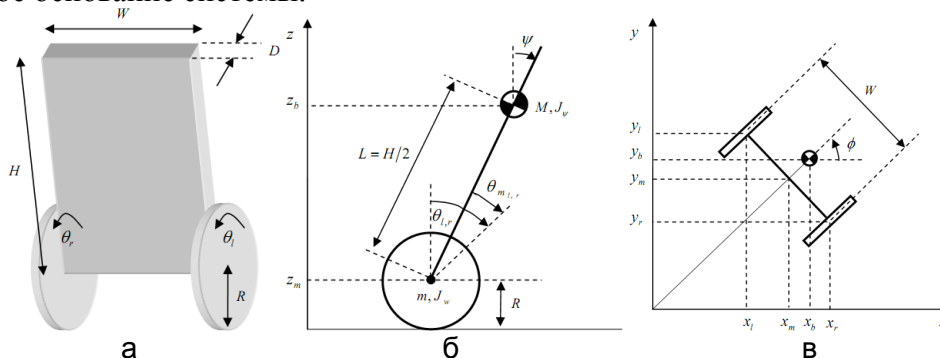


Рис. 1. Система перевернутого маятника на подвижном основании

На рис. 1, б изображен вид слева, а на рис. 1, в – вид сверху и определена система координат x, y, z в рамках которой синтезируется математическая модель.

Используя метод Лагранжа, запишем координаты движения двухколесного перевернутого маятника (1–5):

$$(\Theta, \phi) = \left(\frac{1}{2}(\Theta_l + \Theta_r), \frac{R}{W}(\Theta_r + \Theta_l) \right), \quad (1)$$

где Θ – средний угол поворота правого и левого колес; ϕ – угол поворота системы в горизонтальной плоскости x, y .

$$(x_m, y_m, z_m) = \left(\int \dot{x}_m dt, \int \dot{y}_m dt, R \right), \quad (\dot{x}_m, \dot{y}_m) = (R\dot{\Theta} \cos \phi, R\dot{\Theta} \sin \phi), \quad (2)$$

где x_m, y_m, z_m – координаты центра подвижного основания балансирующей системы.

$$(x_l, y_l, z_l) = \left(x_m - \frac{W}{2} \sin \phi, y_m + \frac{W}{2} \cos \phi, z_m \right), \quad (3)$$

где x_l, y_l, z_l – координаты центра левого колеса.

$$(x_r, y_r, z_r) = \left(x_m + \frac{W}{2} \sin \phi, y_m - \frac{W}{2} \cos \phi, z_m \right), \quad (4)$$

где x_r, y_r, z_r – координаты центра правого колеса.

$$(x_b, y_b, z_b) = (x_m + L \sin \psi \cos \phi, y_m + L \sin \psi \cos \phi, z_m + L \cos \psi), \quad (5)$$

где x_b, y_b, z_b – координаты центра точки неустойчивого положения равновесия; Ψ – угол наклона маятника; L – функция Лагранжа (Лагранжиан).

Для вычисления функции Лагранжа (6) необходимо записать энергетические уравнения для системы (7)–(9).

$$L = T_1 + T_2 - U, \quad (6)$$

где T_1 – кинетическая энергия поступательного движения; T_2 – кинетическая энергия вращательного движения; U – потенциальная энергия.

$$T_1 = \frac{1}{2} m (\dot{x}_l^2 + \dot{y}_l^2 + \dot{z}_l^2) + \frac{1}{2} m (\dot{x}_r^2 + \dot{y}_r^2 + \dot{z}_r^2) + \frac{1}{2} M (\dot{x}_b^2 + \dot{y}_b^2 + \dot{z}_b^2), \quad (7)$$

где M – масса маятника; m – масса колеса.

$$T_2 = \frac{1}{2} J_w \dot{\Theta}_l^2 + \frac{1}{2} J_w \dot{\Theta}_r^2 + \frac{1}{2} J_\psi \dot{\Psi}^2 + \frac{1}{2} J_\phi \dot{\phi}^2 + \frac{1}{2} n^2 J_m (\dot{\Theta}_l - \dot{\Psi})^2 + \frac{1}{2} n^2 J_m (\dot{\Theta}_r - \dot{\Psi})^2, \quad (8)$$

где $J_w = \frac{mR^2}{2}$ – момент инерции колеса; $J_\psi = \frac{ML^2}{3}$ – момент инерции маятника при вертикальном отклонении; $J_\phi = \frac{M}{12} (W^2 + D^2)$ – момент инерции маятника при горизонтальном отклонении; J_m – момент инерции двигателя; n – передаточное соотношение редуктора.

$$U = mgz_l + mgz_r + Mgz_b, \quad (9)$$

где g – ускорение свободного падения.

Следующим шагом вводятся обобщенные координаты (Θ, Ψ, ϕ) , вычисляются уравнения Лагранжа по каждой координате и известным образом отыскиваются обобщенные силы. Линеаризуя уравнения движения в точке неустойчивого положения равновесия и пренебрегая дифференциальными членами второго порядка, выводятся уравнения состояния исходной системы. Описанная процедура расчета подробно рассмотрена в работе [6], поэтому воспользуемся лишь окончательными результатами работы.

Рассматриваются два вектора состояния x_1 и x_2 по вертикальной и горизонтальной плоскостям соответственно, а в качестве вектора управления u используются управляющие напряжения обоих приводов (10).

$$x_1 = [\Theta, \psi, \dot{\Theta}, \dot{\psi}]^T, \quad x_2 = [\phi, \dot{\phi}]^T, \quad u = [u_l, u_r]^T. \quad (10)$$

Таким образом, рассматривается двухканальная система управления (11).

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = A_1 x_1 + B_1 u \\ \dot{x}_2 = A_2 x_2 + B_2 u \end{cases}, \quad (11)$$

где A_1, B_1 и A_2, B_2 – матрицы состояния и управления первого и второго векторов состояния соответственно.

Выходами системы являются углы поворота роторов двигателей $\Theta_{m_l}, \Theta_{m_r}$ и угловая скорость наклона маятника $\dot{\Psi}$. Легко оценить углы поворота Θ и ϕ используя

значения углов Θ_{m_l} , Θ_{m_r} , а для оценивания Ψ необходимо проинтегрировать угловую скорость $\dot{\Psi}$. Для стабилизации в неустойчивом положении равновесия необходимо, как уже было сказано, передвигать точку подвеса маятника в горизонтальном направлении, соответствующем угловой скорости.

Система управления. Результаты моделирования

Стабилизация маятника в верхнем неустойчивом положении равновесия может быть достигнута при использовании метода ПИД-регулирования. Структурная схема закона управления представлена на рис. 2.

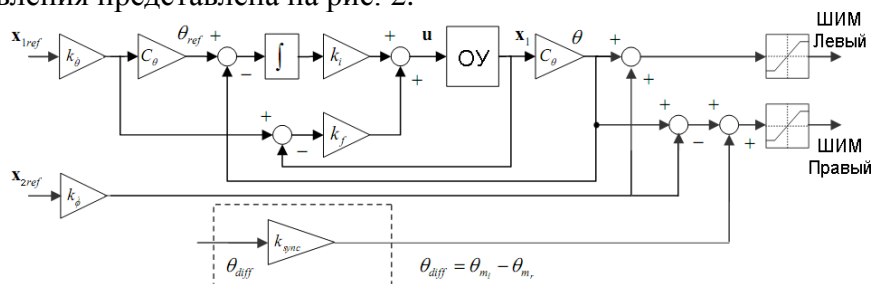


Рис. 2. Структурная схема двухканальной системы управления перевернутым маятником

При использовании приведенной структуры системы управления для определенных заданных параметров исходного объекта при моделировании были получены следующие графики переходных процессов для перемещения и вертикального отклонения при стационарной стабилизации в точке, изображенные на рис. 3.

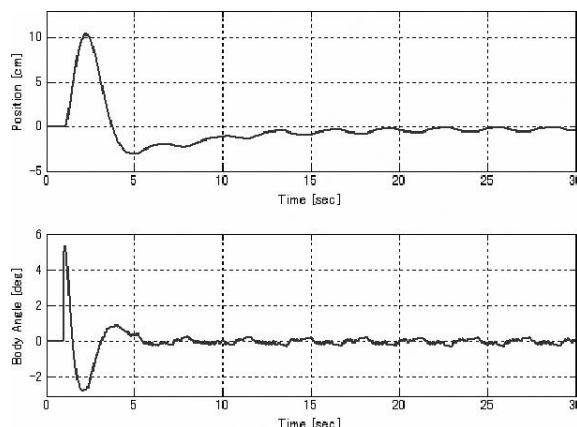


Рис. 3. Результаты моделирования исходной системы с регулятором

Мобильная маятниковая научно-исследовательская платформа

На основе полученных предварительных результатов была создана мобильная исследовательская балансирующая платформа, отвечающая следующим требованиям: доступность элементной базы, простота конструкции, универсальность в областях использования, компактность массогабаритных показателей, оснащённость широким набором интерфейсов для подключения внешних периферийных устройств, принцип модульности построения для адаптации под конкретную задачу или исследование.

Структурная схема балансирующей системы изображена на рис. 4. Основой электронной схемы системы является Сервер или Control Unit, представляющий собой плату, построенную на базе микроконтроллера ARM, которая получает данные с Sensor Unit и с энкодеров мотор-редукторов. На основе полученных данных Сервер вырабатывает управляющие воздействия, подающиеся на независимые приводы.

Дополнительно к Серверу подключена макетная плата, служащая для подключения различных дополнительных датчиков и их обвязки. Программируя Сервер для снятия данных с этих датчиков, реализуется модульный принцип построения. Control Unit обладает bootloader'ом и USB интерфейсом, благодаря чему его можно подключить непосредственно к компьютеру и запрограммировать без использования дополнительного программатора.

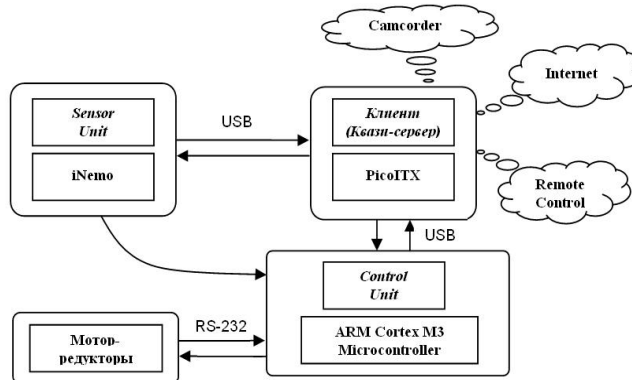


Рис. 4. Структурная схема мобильной научно-исследовательской системы

Sensor Unit служит исключительно источником информации и представляет собой демонстрационную плату iNEMO v2 со всем необходимым набором датчиков: одним одноосевым и одним двухосевым гироскопами, датчиками давления и температуры, шестикоординатным геомагнитным модулем, который может использоваться в роли акселерометра и магнетометра; обладает широким набором интерфейсов, таких как USB, CAN, USART, SPI, I2C, SDIO, JTAG; имеет слот для карт памяти microSD; габаритные размеры составляют 4×4 см.

Для связи между Sensor Unit и Control Unit используется интерфейс RS-232 и метод, активно применяемый в промышленности – прошивка Sensor Unit была изменена под выдачу информации на Control Unit посредством передачи NMEA-подобной текстовой строки с текущими показаниями датчиков. Таким образом, реализовалась концепция выявления ошибок посредством проверки контрольной суммы сообщения на этапе приема, что дополнительно гарантирует устойчивость работы канала связи.

Отказ от связи Control Unit с Sensor Unit позволил разгрузить канал связи, увеличить быстродействие системы, и упростить реализацию программного обеспечения, ввиду того, что протокол RS-232 работает в полудуплексном режиме.

В качестве Клиента используется компактный компьютер форм-фактора Pico-ITX, позволяющий работать с периферией на высоком уровне. По отношению к функциональным возможностям Клиент является Квази-сервером, способным связываться с глобальной сетью Internet, получать данные с видеокамеры (Camcorder), а также позволяет осуществлять удаленное управление (Remote Control) исследовательской платформой. Клиент связывается через интерфейс USB с Sensor Unit и Control Unit. Основным достоинством Клиента является возможность реализации пользовательского интерфейса для доступа к настройкам системы, показаниям датчиков и возможность прошивки микроконтроллеров. Таким образом, посредством Клиента связывается низкий уровень с высоким.

К Клиенту может подключаться через стандартные интерфейсы (USB, COM) все, что требуется для проведения исследований и может программироваться на любом языке программирования. В качестве накопителя используется твердотельный SSD-винчестер, обладающий большими объемами информации, но, в отличие от классических, не содержит движущихся механических частей. В качестве дополнительных датчиков для проведения исследований могут использоваться

различные USB-устройства (акселерометры, гироскопы, ультразвуковые и инфракрасные датчики и т.д.). Возможно присоединение Bluetooth и GPS модулей для беспроводной связи и глобальной навигации.

В качестве системы приводов используются 50 Вт мотор-редукторы IG-42GM с планетарными редукторами с передаточными числами 24, которые обеспечивают крутящий момент 9,6 кг-см при скорости вращения в 240 об/мин при номинальном напряжении питания 24 В. В качестве энкодеров, являющихся датчиками обратной связи, используются датчики Холла на 8 импульсов. Для управления двигателями мы использовали мощные драйверы двигателей Holulu 18v15, обладающие широким диапазоном напряжений и высоким током вплоть до 21 А.

В качестве источников питания используются современные Li-Po аккумуляторы. Для решения проблемы заряда аккумуляторов возможна установка зарядного устройства непосредственно на платформу. Таким образом, зарядка может осуществляться от бытовой сети 220 В.

На рис. 5 представлены фотографии маятниковой платформы. По центру установлена резьбовая штанга, на которую накручивается стальной груз, позволяющий изменять момент инерции. Платформа подключена по USB к компьютеру и осуществляется съем данных с гироскопа в реальном времени.

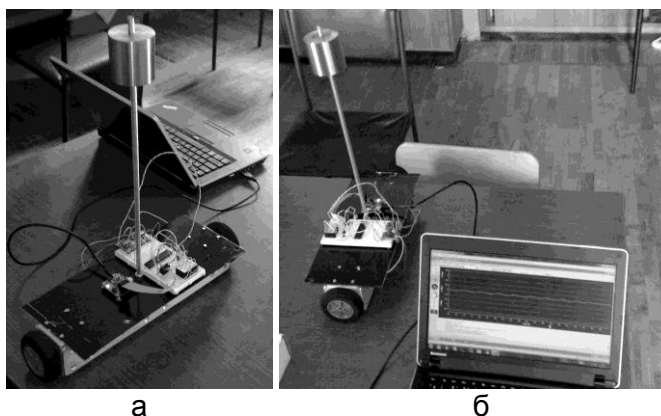


Рис. 5. Мобильная маятниковая научно-исследовательская система

Заключение

В работе рассмотрена математическая модель перевернутого маятника на подвижном основании, система управления такими объектами и мобильная маятниковая научно-исследовательская система, позволяющая апробировать алгоритмы адаптивного и робастного управления в сложной неполноприводной системе. Подобные исследовательские комплексы являются компромиссным решением между исключительно компьютерным моделированием и дорогостоящими испытаниями на реальных объектах, что подтверждает актуальность и перспективность рассмотренного решения.

Литература

1. Мирошник И.В., Никифоров В.О., Фрадков А.Л. Нелинейное и адаптивное управление сложными динамическими системами. – СПб: Наука, 2000. – 549 с.
2. Baerveldt A-J., Klang R. A low-cost and low-weight attitude estimation system for an autonomous helicopter // Intelligent Engineering Systems, 1997. INES '97. Proceedings, 1997 IEEE International Conference on Intelligent Engineering Systems. – 1997. – P. 391–395.

3. Dale's Homemade Robots. – [Электронный ресурс]. – Simple Analog Balancing Bot; Dale. – 2008. – Режим доступа: <http://www.wa4dsy.net/robot/balancing-robot/analog-balancing-bot>, своб. – Загл. с экрана. – Яз. англ.
4. Grasser F., D'Arrigo A., Colombi S., Rufer A. A Mobile, Inverted pendulum // Laboratory of Industrial Electronics, Swiss Federal Institute of Technology Lausanne, EPFL, CH-1015 Lausanne, Switzerland, 2000.
5. Isermann R. Mechatronic systems – Innovative products with embedded control // Control Engineering Practice. – 2008. – № 16. – P. 14–29.
6. Yamamoto Y. NXTway-GS Model-Based Design // Cybernet Systems. – 2009.

УДК 044.588

УДК 377.169.3

ВВЕДЕНИЕ ИГРОВОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ В ИНТЕРАКТИВНЫЕ ТРЕНАЖЕРНЫЕ КОМПЛЕКСЫ

В.И. Яговкин

Научный руководитель – д.т.н. профессор С.К. Стафеев

В статье описывается подход к использованию интерактивных тренажерных комплексов с онтологическим ядром в образовательной сфере. Затронуты основные проблемы применения игровой составляющей в учебном процессе. Предложены решения поставленных проблем. Описана модель использования компьютерных игровых тренажеров в образовательном процессе.

Ключевые слова: интерактивный тренажерный комплекс, игровая составляющая, образовательный процесс, компетентностная модель, онтологический подход.

Введение

Интерактивный тренажерный комплекс (ИТК) – программный инструмент, при работе с которым формируются навыки, необходимые для работы с реальным оборудованием, без его использования. Предлагаемое задание, как правило, требует для своего решения некоторой последовательности шагов; при этом решений может быть несколько, а длина каждой траектории, приводящей к нужному результату, – различной.

В настоящее время существует большое количество проблем в области использования игровой составляющей в образовательном процессе, такие как: использование общих временных ограничений для всех категорий учащихся; наличие специфических знаний и навыков, которые бывает трудно правильно преподнести через игровую модель; сложность игровых настроек под каждого конкретного учащегося различного возраста, игрового опыта; необходимость углубленной подготовки отстающих учеников; использования инструментов оценки результатов обучения игровой направленности; проблема мотивации и отношения между учеником и учителем; различные способы познания: когнитивный и эмоциональный.

Множество структурных ограничений существует в школьной системе образования: технические барьеры – отсутствие возможности использования современного оборудования; административные границы – различное восприятие игровых элементов в образовательном процессе обществом. Необходимо использовать правильный подход при разработке обучающего программного обеспечения для образовательных целей, создать такую окружающую среду, которая имела бы способность к строительству знаний и познавательных навыков через игровую реальность.

При разработке ИТК был выдвинут ряд требований к его игровой составляющей, обеспечивающий интерактивный образовательный процесс посредством игрового погружения. Например: обеспечение повышенной мотивации у студента, интереса к предметной области; интерактивность, знакомый дружелюбный интерфейс для

повседневного использования; наличие игрового вызова; предоставление студенту функций контроля за происходящим в ИТК и больше автономии. При соблюдении вышеперечисленных требований удастся вовлечь обучающихся в мир игрового тренажера, открывает поток опытных знаний, развивает познавательные навыки и обеспечивает их трансфер в другие области.

Ключевые элементы игровой составляющей компьютерного тренажера. Баланс между игровой и обучающей составляющей

В настоящее время результаты обучения, в большинстве случаев, не отличаются относительно того, используются ли компьютерные игровые тренажеры (КИТ) или нет. Разработчики ожидают слишком многого – сиюминутной способности обучаемого к активному построению знаний через игровой тренажер [1]. Нельзя сказать, что студенты ни чему не научатся через компьютерные игры. Они будут учиться играть в компьютерную тренажер, который может оказаться довольно сложным, непрерывное повторение может также предоставить им фактическую информацию и различные знания, которые возможно перенести в реальный мир из игровой вселенной. Запоминание учебного материала происходит лучше, студенты более мотивированы. Конечно, студенты извлекают уроки из компьютерной игры, но вопрос в том, какие будут различия по сравнению с другими формами обучения. Не вызывает сомнений, что пользователи КИТ по специальности автомеханик больше, чем те, которые обучаются посредством работы с учебником, будут в состоянии идентифицировать марку или модель конкретного автомобиля, либо инструменты, используемые в диагностических и ремонтных целях последнего. Они постоянно на глазах у ученика при работе в ИТК.

Немаловажными составляющими процесса обучения через КИТ являются наличие грамотного руководителя и правильное построение окружающего мира внутри ИТК. Компьютерные тренажеры обладают серьезным преимуществом по сравнению с классическими формами обучения – наличие сильного вовлечения в процесс познания. Интерес к «компьютерной игре» не очень отличается от любой другой физической активности, как, например, соревнование по командной сборке модели автомобиля. Собирая модель автомобиля, мы естественно познаем много важных принципов в мире, например, понятие силы, инерции, движения, отношения в обществе, элементы материаловедения. Наличие тренера команды или учителя в образовательном процессе позволяет расширить этот конкретный опыт. Тренер может обобщить или упорядочить конкретные события, выявить необходимые элементы, подготовить к следующим соревнованиям, помочь в организации межличностных отношений внутри команды. Осознание всех необходимых нюансов для достижения победы в соревновании маловероятно без коллективного размышления в команде и активного вмешательства тренера. Таким образом, и учитель является тем ориентиром, следуя за которым ученики смогут усвоить для дальнейшего использования максимальное количество образовательного контента из ИТК [1].

Окружающая среда внутри компьютерного тренажера, в свою очередь оказывает фоновое влияние на познавательный процесс. Это, например, фоновые картинки, музыкальное сопровождение, реальные модели оборудования и, даже, всплывающие информационные окна, при правильном использовании. Ведь, студенты склонны сосредотачиваться на них, хотя в большинстве случаев вне мира образовательных игровых тренажеров, они не являются полезными элементами, например – всплывающая реклама при работе в интернете. В действительности игровой тренажер не требует понимания значительной части окружающей среды. Основное действие – это манипуляция активным содержанием. Но, окружающая среда является важным элементом для обеспечения процесса погружения. Например, инструменты в тренажере по специальности автомеханик могут быть просто нейтральным фоном, или же

важными элементами для разборки-сборки различных частей автомобиля (рис. 1).



Рис. 5. Представление инструментов в роле элементов интерактивной окружающей среды на примере ИТК по специальности автомеханик

Необходимо понимать, что точный баланс между основными правилами обучения на компьютерном тренажере – манипуляцией активным содержанием и представлением знаний через окружающую среду виртуального мира – это ключевой элемент ИТК. При смещении баланса в сторону глубокого описания окружающего мира мы возвращаемся к традиционным учебникам, когда познавательная деятельность происходит посредством изучения статических объектов. В противоположном случае – мы возвращаемся к первому поколению КИТ, когда ученик сосредоточен на основополагающих правилах тренажерного комплекса, независимо от предметной области. Процесс обучения превращается в повторение определенных шагов для прохождения тренажера, без восприятия смысловой нагрузки выполненных действий. Это можно сравнить с младшей школой, когда дети, читая книги, соревновались в том, кто быстрее прочтет заданное произведение.

Онтологический подход и компетентностная модель

Отличительной особенностью онтологического подхода к созданию ИТК от широко используемого в настоящее время образовательного программного обеспечения является – использование для хранения информации об объекте не базы данных (БД), а базы знаний. Она представляет собой особого рода предметно-ориентированный граф, разработанный для управления метаданными, т.е. сбором, хранением, поиском и выдачей знаний [2].

Основой разработанной для ИТК базы знаний является онтология – структурированное, детальное описание некоторой предметной области, ее формализованное представление, которое включает словарь терминов и понятий предметной области и логические выражения (связи), описывающие соотношения друг с другом. Отличиями создаваемых для ИТК онтологических баз знаний являются:

- представление информации в виде семантической сети, а не в виде набора записей;
- наличие разнородных данных и разнотипных связей между ними, не позволяющие использовать классические БД;
- открытая и динамическая (а не жестко структурированная) модель концептов.

Использование онтологической базы знаний предполагает не только адекватное

представление изучаемого объекта, согласованное со структурой предметной области, но и интерактивное взаимодействие с ней пользователя. Задаваемый им вопрос должен автоматически переводиться на язык формальной логики, после чего возникают условия для поиска ответа в рамках заданной структурой понятий и связей между ними.

Однозначность или даже само существование ответа, при этом вовсе не гарантируется, но избежать таких ситуаций можно, связав «знаниевый» компонент системы с практическим опытом экспертного сообщества, основанным на разборе многочисленных аналогов по близкой проблематике. В данном случае экспертные знания используются для обучения конечных пользователей тренажерного комплекса.

Структура ИТК основывается на взаимном проникновении компетентностной модели обучаемого [3] и онтологии данной предметной области. В этом случае создаваемые модули ИТК формируются не произвольно, а на основе компетенций, перечисленных в соответствующем федеральном государственном образовательном стандарте (ФГОС) 3-го поколения [4], а процесс оценивания результатов обучения происходит в соответствии с таблицей дескрипторов (таблица) уровней знаний, разработанной на основе аналогичных таблиц, предложенных Л.С. Лисициной [3].

Таблица. Дескрипторы уровней знаний/умений

Индекс уровня	Уровень	Дескриптор (описание уровня)
31	Знание-знакомство	Может узнавать объект, явление и понятие при повторном восприятии ранее усвоенной информации о них, находить в них различия и относить к той или иной классификационной группе
32	Знание-копия	Может осуществлять самостоятельно репродуктивные действия над знанием путем самостоятельного воспроизведения и применения информации
33	Знание-продукция	Может производить и понимать полученные знания, самостоятельно систематизировать их, т.е. представлять знания в виде элементов системы и устанавливать взаимосвязи между ними, продуктивно применять в отдельных ситуациях
У1	Первичные умения	Умеет корректно выполнять предписанные действия по инструкции, алгоритму и т.п. в известной ситуации
У2	Репродуктивные умения	Умеет самостоятельно выполнять действия по решению типовых задач, требующих выбора из числа известных методов, в предсказуемо изменяющейся ситуации
У3	Продуктивные умения	Умеет самостоятельно выполнять действия по решению нестандартных задач, требующих выбора на основе комбинации известных методов, в непредсказуемо изменяющейся ситуации

Благодаря применению онтологического подхода к проектированию и разработке ИТК упрощается выделение основных концептов и зависимостей, а также практических экспертных оценок, связанных с приборными реализациями, методами соединения их частей и последовательностями действий оператора (по эксплуатации, диагностики, ремонту и т.п.). А при постоянном диалоговом общении пользователя с компьютером достигается большая степень интерактивности, исчезает линейность прохождения тренажерного комплекса. При достаточном заполнении базы знаний к правильному решению позволят привести разные цепочки рассуждений, что позволяет развивать навык вариативного подхода при решении конкретных задач.

Модель использования КИТ в образовании

Ниже (рис. 2) представлена модель использования КИТ в образовании. Внутреннее кольцо представляет собой знаниевый цикл Колба [5, 6], который может быть трансформирован для отображения специфического влияния игровых тренажерных комплексов.

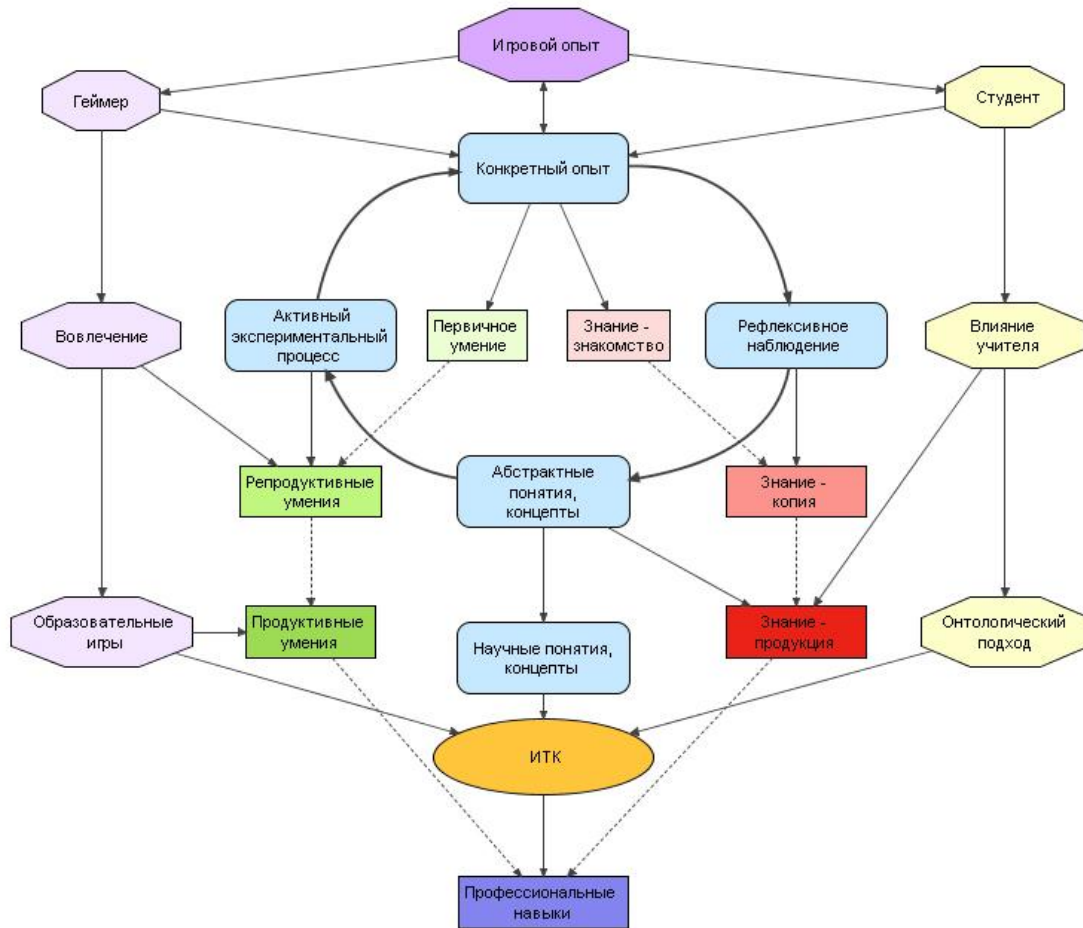


Рис. 2. Модель использования КИТ в образовании

Левая часть модели описывает процесс с точки зрения игрока. Точка зрения студента – правая часть модели, которая смотрит на то, как игровой опыт переносится на познавательный процесс. Отправная точка – это игровой опыт. Студент должен рассмотреть компьютерные тренажеры как значимый элемент при наработке опыта конкретного. Формальное обучение (образование) необходимо, чтобы вывести игровой тренажер за рамки обучения неформального (игры), а через оценивание и исследование игровых событий ученик приходит к научным понятиям/концептам.

Значимость КИТ подчеркивается такими компонентами, как: автономией, нелинейностью, аудио-визуальными ощущениями, безопасной игровой средой, соперничеством, игровым вызовом. Все это является составной частью игрового опыта. Восприятию образовательной значимости препятствует студенческая привязанность к школе, компьютерным играм, поэтому важно, чтобы преподаватель ясно объяснял образовательную уместность. Связь образовательного цикла Колба со студенческой стороной модели показывает, что КИТ особенно полезны для того, чтобы обеспечить глубокий экспериментальный процесс, который требует активного участия студентов. При традиционном преподавании учителя в классе студенты могут выглядеть увлеченными, слушая учителя, хотя на самом деле это не так. Напротив, при работе с ИТК притворяться намного сложнее, так как необходимо постоянное взаимодействие с

рабочей, игровой средой. С другой стороны, без должного контроля, большинство учеников будет слишком увлечено игровой составляющей, и они не смогут впитать необходимый опыт и осмыслить его. Для того чтобы этого не произошло, и чтобы работали механизмы обратной связи, необходим контроль со стороны учителя. К тому же, игровой опыт может сильно отличаться у каждого студента, и только учитель сможет индивидуально задать различные отправные точки, зажечь огонь дискуссий для преодоления барьеров недопонимания. Для этого требуется, чтобы учитель был не новичком в работе с компьютером в целом, и в обучении с помощью КИТ в частности. Таким образом, через конкретный опыт учащийся познает первичные умения и знания. Посредством рефлексивного наблюдения учащийся переходит ко второму уровню знания – «знание-копия», а через активный экспериментальный процесс ко второму уровню умения – «репродуктивные умения». Третий уровень умения постигается через вовлечение в мир образовательной игры, а под влиянием мудрого наставника ученик приходит к третьему уровню знания. Следующим и заключительным уровнем является процесс освоения профессиональных навыков, который осуществляется посредством работы в ИТК.

Заключение

Представленный в статье подход нацелен на поиск решения основных проблем в сфере использования игровых тренажеров в образовательном процессе. Предложенная модель описывает пошаговый путь трансформации игрового опыта в профессиональные навыки посредством использования ИТК. При разработке модели основной целью являлось правильное соотношение игровой составляющей с образовательными целями. Отражение результатов обучения основывалось на компетентностной модели новых ФГОС. В настоящее время ведутся работы по апробации ИТК, разработанных с применением предложенного подхода.

Литература

1. Egenfeldt-Nielsen S. Educational Potential of Computer Games. – New York, NY: Continuum, 2007.
2. Гаврилова Т.А., Хорошевский В.Ф. Базы знаний интеллектуальных систем. – СПб: Питер, 2000. – 384 с.
3. Лисицына Л.С., Методология проектирования модульных компетентностно-ориентированных образовательных программ. Методическое пособие. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2009. – 50 с.
4. Лисицына Л.С., Лямин А.В., Шехонин А.А. Разработка рабочих программ дисциплин (модулей) в составе основных образовательных программ, реализующих ФГОС ВПО. Методическое пособие. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2011. – 63 с.
5. Kolb A.Y., Kolb D.A. Learning styles and learning spaces: enhancing experiential learning in higher education. – Academy of Management Learning and Education. – 2003.
6. Kolb D.A. Experiential learning: experience as the development. – Englewood Cliffs, N.J: Prentice Hall. – 1984.

УДК 681.5

ТРАЕКТОРНОЕ УПРАВЛЕНИЕ МОБИЛЬНЫМ РОБОТОМ ОТНОСИТЕЛЬНО ПОДВИЖНЫХ ОБЪЕКТОВ¹

Ю.А. Капитанюк, А.В. Хованский

Научный руководитель – к.т.н., доцент С.А. Чепинский

Решается задача перемещения робота в рабочем пространстве по предписанной траектории в условиях динамически изменяемой окружающей среды. Синтез управления осуществляется с помощью дифференциально-геометрического метода. Основные результаты представлены задачей-ориентированной моделью пространственного движения, и соответствующими нелинейными алгоритмами управления. Приводятся результаты моделирования движения автономного робота относительно подвижного объекта.

Введение

В представленной работе рассматривается задача управления траекторным движением мобильного робота, т.е. задача перемещения робота в рабочем пространстве по предписанной траектории.

Как объект управления автономный робот является многоканальной нелинейной динамической системой. Задача, решаемая системой управления подвижного робота, заключается в создании управляющих воздействий, обеспечивающих наперед заданное перемещение центра масс в рабочем пространстве.

Подход к управлению, который используется в работе, предусматривает нелинейное преобразование модели робота к системе задачно-ориентированных координат. Это дает возможность свести сложную многоканальную задачу управления к ряду простых задач компенсации линейных и угловых отклонений, а затем с помощью стандартных приемов нелинейной стабилизации [1, 9] найти адекватные законы управления. Основные результаты являются развитием известных решений задач управления пространственным движением, предложенных в [1, 3, 8].

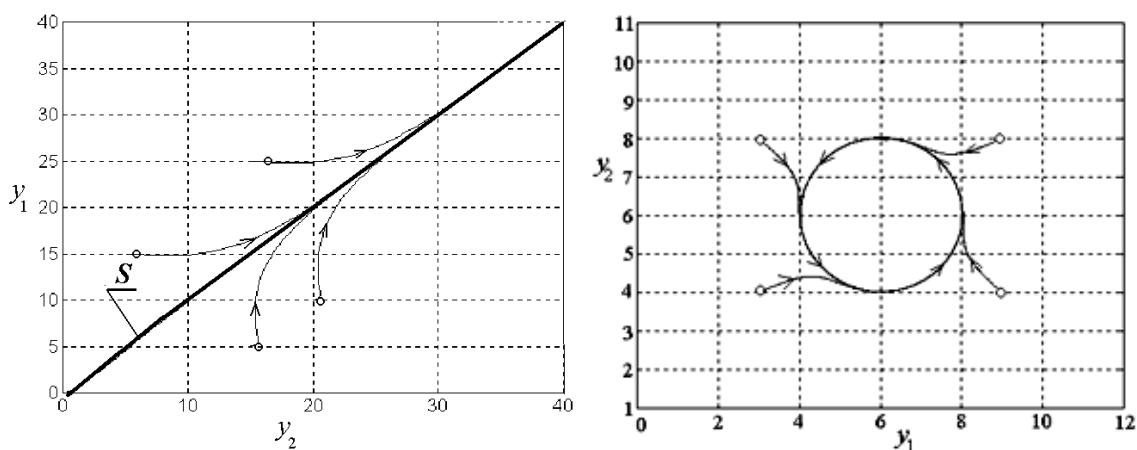


Рис. 1. Движение автономного робота вдоль заданной: прямой (а); окружности (б)

С использованием дифференциально-геометрических методов нелинейной теории управления [1, 5, 8] предложена методика анализа таких систем и процедура синтеза алгоритмов управления, обеспечивающих решение траекторной задачи как задачи стабилизации относительно гладкого отрезка предписанных типовых траектории, таких как прямая и окружность (рис. 1), из которых строится желаемая траектория движения. В условиях динамически изменяющейся внешней среды необходимо дополнить данную методику методами управления относительно неподвижных и подвижных препятствий, которые могут возникнуть на пути следования.

¹ Данная статья написана при поддержке гранта Президента РФ МК-5488.2012.8

Модель движения подвижного робота и постановка задачи управления

Положение корпуса робота (рис. 2) как твердого тела в плоскости $Y=R^2$ характеризуется парой y, α , где $y = (y_1, y_2)$ – вектор декартовых координат центра масс C ; α – угловая ориентация [2].

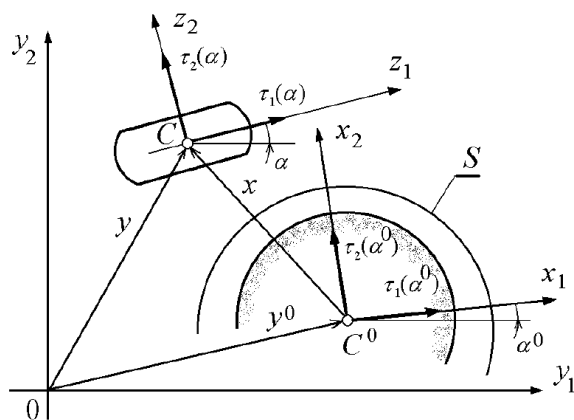


Рис. 2. Автономный робот внешний объект

С углом α связана ортогональная матрица (матрица вращения)

$$T(\alpha) = \begin{vmatrix} \cos \alpha & \sin \alpha \\ -\sin \alpha & \cos \alpha \end{vmatrix}, \quad T(0) = I, \quad (1)$$

соответствующая базису с началом в точке C .

Положение внешнего подвижного объекта в плоскости $Y=R^2$ будем характеризовать парой y^0, α^0 , где $y = (y_1^0, y_2^0)$ – вектор декартовых координат центра масс C^0 ; α^0 – угловая ориентация.

Динамическая модель движения робота может быть представлена в виде:

$$\begin{vmatrix} \dot{y} \\ \dot{\alpha} \end{vmatrix} = R^T(\alpha) \begin{vmatrix} V_z \\ \omega \end{vmatrix}, \quad (2)$$

$$J_* \begin{vmatrix} \dot{V}_z \\ \dot{\omega} \end{vmatrix} = R^T(\alpha) \begin{vmatrix} F_z \\ M \end{vmatrix}, \quad (3)$$

где $R(\alpha) = \begin{vmatrix} T(\alpha) & 0 \\ 0 & I \end{vmatrix}$; $J_* = \begin{vmatrix} mI & 0 \\ 0 & J \end{vmatrix}$; V_z и ω – линейная и угловая скорости движения; m и J – массо-инерционные параметры платформы; F_z и M – результирующая сила и момент.

Динамическая модель подвижного объекта описывается уравнениями:

$$\begin{vmatrix} \dot{y}^0 \\ \dot{V}^0 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0 & I \\ 0 & 0 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} y^0 \\ V^0 \end{vmatrix}, \quad (4)$$

$$\begin{vmatrix} \dot{\alpha}^0 \\ \dot{\omega}^0 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} \alpha^0 \\ \omega^0 \end{vmatrix}, \quad (5)$$

где V^0 и ω^0 – линейная и угловая скорости соответственно.

Относительное положение робота необходимо представить в подвижной системе координат $X=R^2$ с началом координат в точке C^0 . Получаем

$$x = T(\alpha^0)(y - y^0), \quad (6)$$

$$T(\alpha_x) = T(\alpha)T^T(\alpha^0), \quad (7)$$

$$\alpha_x = \alpha - \alpha^0. \quad (8)$$

Продифференцируем уравнения (6) и (7).

$$\ddot{x} = (\omega^0)^2 x + 2\omega^0 E\dot{x} + \frac{1}{m}T(\alpha^0)T^T(\alpha)F_z \quad (9)$$

$$\dot{\omega}_x = \frac{1}{J}M. \quad (10)$$

где $E = \begin{vmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 0 \end{vmatrix}$.

Теперь предположим, что траектория робота представляет собой границу движущегося объекта или схожую эквидистантную кривую и является гладким отрезком кривой S (рис. 3), неявное описание которого имеет вид

$$\varphi(x) = 0, \quad (11)$$

а соответствующая локальная координата s (путь) определяется выражением

$$s = \psi(x). \quad (12)$$

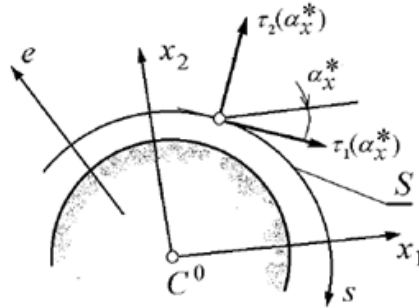


Рис. 3. Траектория S и задачно-ориентированные координаты (s, e)

Предполагается, что функции φ и ψ выбраны таким образом, что при $y \in S$ матрица Якоби

$$M(x) = \begin{vmatrix} \partial\psi / \partial y \\ \partial\varphi / \partial y \end{vmatrix} \quad (13)$$

ортогональна. Введем обозначение

$$T(\alpha_x) = T(\Delta\alpha)T(\alpha_x^*), \quad (14)$$

где α_x^* угол наклона касательной к кривой S . Матрица $M^*(x)$ определяет связанный с траекторией подвижный базис Френе, который для $y \in S$ удовлетворяет уравнению типа Френе:

$$\dot{T}^*(\alpha_x^*) = \dot{s}\xi(s)ET^*(\alpha_x^*), \quad (15)$$

где $\xi(s)$ – кривизна кривой. Матричное уравнение (16) может быть записано в простой форме:

$$\dot{\alpha}_x^* = \dot{s}\xi(s). \quad (16)$$

Угловую ориентацию робота определим как

$$\alpha_x = \alpha_x^* + \Delta\alpha \quad (17)$$

или в матричном виде

$$T(\alpha_x) = T(\Delta\alpha)T(\alpha_x^*), \quad (18)$$

где $\Delta\alpha$ – желаемая ориентация относительно траектории движения.

$$\dot{\alpha}_x^* = \dot{s}\xi(s). \quad (19)$$

Задача управления траекторным движением автономного робота ставится как

задача поддержания голономных соотношений между выходами системы y_i , заданных в форме (12). Она дополняется описанием желаемого режима продольного движения основной точки $s(t)$, обычно устанавливаемого с помощью эталонной переменной $s^*(t)$ или эталонной скорости продольного движения $V_s^* = \dot{s}^*(t)$.

В рассмотрение вводятся ошибки тракторного движения [4–6]. Нарушение условий (12) характеризуется ортогональным отклонением

$$e = \varphi(y), \quad (20)$$

принимаящем на множестве S нулевые значения. Текущие нарушения угловых соотношений определяются угловой ошибкой

$$\delta = \alpha_x - \alpha_x^* + \Delta\alpha \quad (21)$$

или в матричном виде

$$T(\delta) = T(\alpha_x)T^T(\Delta\alpha)T^T(\alpha_x^*). \quad (22)$$

Таким образом, задача тракторного управления автономным роботом заключается в определении (в замкнутой форме) входов u_y и u_α , которые обеспечивают:

- стабилизацию движения робота относительно кривой s , что подразумевает обнуление вектора пространственных отклонений e ;
- стабилизацию заданной угловой ориентации робота относительно кривой s , что подразумевает обнуление вектора пространственных отклонений δ ;
- поддержание требуемого режима продольного движения мобильного робота $s = s^*(t)$, часто задаваемого с помощью простейшей эталонной модели

$$\dot{s}^* = V_s^* = \text{const}, \quad (23)$$

или обнуления скоростной ошибки

$$\Delta V_s = V_s^* - \dot{s}. \quad (24)$$

Синтез алгоритмов управления движением

Алгоритм синтеза управления тракторным движением при использовании предложенного метода заключается в:

1. переходе от декартовых координат к задачно-ориентированной модели, выраженной с помощью тракторных координат, введение в рассмотрение новых задачно-ориентированных входных переменных (вектора пространственных отклонений e , длина пройденного пути s , угловое отклонение σ) и преобразование управления:

$$\begin{vmatrix} \dot{s} \\ \dot{e} \end{vmatrix} = T(\alpha_x^*) \left(T^T(\alpha_x) B_y u_y + \omega^0 E x - T(\alpha^0) V^0 \right), \quad (25)$$

и

$$\dot{\delta} = -\dot{s}\xi(s) + B_\alpha u_\alpha - \omega^0. \quad (26)$$

Продифференцируем уравнения (25) и (26)

$$\begin{vmatrix} \ddot{s} \\ \ddot{e} \end{vmatrix} = \left(\xi(s)\dot{s} + 2\omega^0 \right) E \begin{vmatrix} \dot{s} \\ \dot{e} \end{vmatrix} + \left(\omega^0 \right)^2 T(\alpha_x^*) x + \frac{1}{m} T(\alpha_x^*) T^T(\alpha_x) F_z, \quad (27)$$

$$\ddot{\delta} = \frac{1}{J} M - \frac{\partial \xi}{\partial s} \dot{s} - \xi(s) \ddot{s}; \quad (28)$$

2. введение виртуальных (локальных) управлений

$$\left(\omega^0 \right)^2 T(\alpha_x^*) x + \frac{1}{m} T(\alpha_x^*) T^T(\alpha_x) F_z = \begin{vmatrix} u_s \\ u_e \end{vmatrix}, \quad (29)$$

$$\frac{1}{J}M = u_{\delta}. \quad (30)$$

Перепишем уравнения (27)–(30) в упрощенном виде:

$$\ddot{s} - \xi(s)\dot{s}\dot{e} - 2\omega^0\dot{e} = u_s. \quad (31)$$

$$\ddot{e} + \xi(s)\dot{s}^2 + 2\omega^0\dot{s} = u_e. \quad (32)$$

$$\ddot{\delta} + \frac{\partial \xi}{\partial s}\dot{s} + \xi(s)\dot{s} = u_{\delta}; \quad (33)$$

3. синтез локальных регуляторов.

$$u_s = K_s \Delta V, \quad (34)$$

$$u_e = K_{e1}e + K_{e2}\dot{e} + \xi(s)\dot{s}^2 + 2\omega^0\dot{s}, \quad (35)$$

$$u_{\delta} = K_{\delta1}\delta + K_{\delta2}\dot{\delta} + \frac{\partial \xi}{\partial s}\dot{s}^2 + \xi(s)\dot{s}, \quad (36)$$

где $K_s, K_{e1}, K_{e2}, K_{\delta1}, K_{\delta2}$ – выбираются в соответствии с желаемой динамикой;

4. синтез регулятора, решающего указанную траекторную задачу.

$$F_z = mT(\Delta\alpha_x) \begin{pmatrix} u_s \\ u_e \end{pmatrix} - (\omega^0)^2 T(\alpha_x^*)x, \quad (37)$$

$$M = Ju_{\delta}. \quad (38)$$

Результат моделирования для случая движения робота вокруг движущегося объекта представлен на рис. 4. На рис. 5 представлены две возможные стратегии поведения обхода препятствия. «Объезд» подразумевает возвращение на прежнюю траекторию, а при стратегии «отъезд» выбирается новая траектория после достижения безопасной дистанции от препятствия.

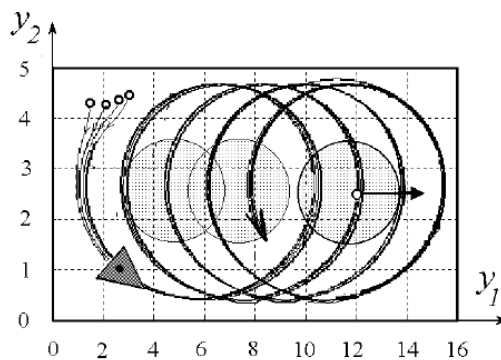


Рис. 4. Движение вокруг движущегося объекта

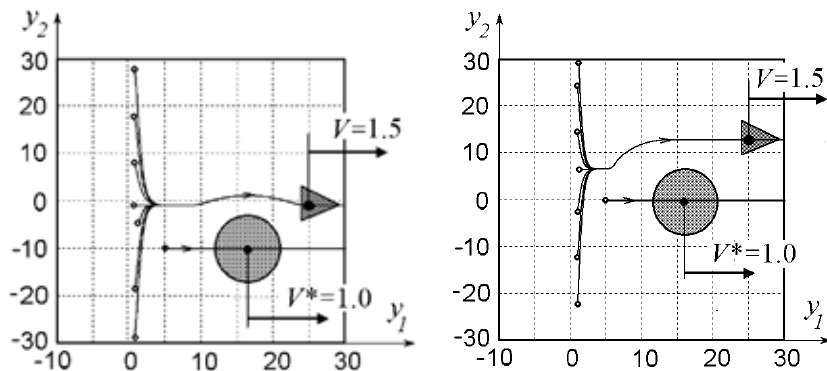


Рис. 5. Стратегия «объезд» (а); «отъезд» (б)

Заключение

Разработанная структура и алгоритмы системы управления подвижными объектами (автономными роботами) могут быть полезны для разработчиков систем управления мобильными аппаратами (колесными, подводными, летательными). Дальнейшим развитием полученных результатов является переход к более сложным и достоверным динамическим моделям роботов, а также решение данной задачи для случая отсутствия информации о форме и параметрах движения препятствия.

Литература

1. Бурдаков С.Ф., Мирошник И.В., Стельмаков Р.Э. Системы управления движением колесных роботов. – СПб: Наука, 2001. – 232 с.
2. Мирошник И.В. Согласованное управление многоканальными системами. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1990. – 128 с.
3. Мирошник И.В., Фрадков А.Л., Никифоров В.О. Нелинейное и адаптивное управление сложными динамическими системами. – СПб: Наука, 2000. – 550 с.
4. Мирошник И.В., Чепинский С.А. Управление многозвенными кинематическими механизмами // Научно-технический вестник СПбГУ ИТМО. – 2002. – Вып. 3. – С. 144–149.
5. Мирошник И.В., Чепинский С.А. Траекторное управление кинематическими механизмами нетривиальной конструкции // Научно-технический вестник СПбГУ ИТМО. – 2004. – Вып. 14. – С. 5–10.
6. Бушуев А.Б., Исаева Е.Г., Морозов С.Н., Чепинский С.А. Управление траекторным движением многоканальных динамических систем // Известия вузов. Приборостроение. – 2009. – Т. 52. – № 11. – С. 50–56.
7. Canudas de Wit C., Siciliano B. and Bastin G. Theory of robot control // Springer-Verlag, London. – 1996.
8. Isidori A. Nonlinear control systems. 3rd edition // Springer-Verlag, Berlin. – 1995.
9. Miroshnik I.V. and Nikiforov V.O. Trajectory motion control and coordination of multilink robots // Prepr. 13th IFAC World Congress. San-Francisco. – 1996. – V. A. – P. 361–366.

УДК 004.942

МЕТОД ОПТИМИЗАЦИИ СКОРОСТЕЙ ДВИГАТЕЛЕЙ ПРЕЦИЗИОННЫХ МЕХАНИЗМОВ ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ КИНЕМАТИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ПРИ ПРОХОЖДЕНИИ ЗАДАННОЙ ТРАЕКТОРИИ

С.Е. Антонов

Научный руководитель – к.т.н., доцент А.В. Лямин

Рассматривается задача обеспечения оптимального быстродействия прецизионного параллельного механизма при следовании вдоль заданной траектории, с учетом выполнения требования по точности перемещения. Предложен алгоритм пошаговой оптимизации скоростей двигателей опор механизма с вычислительной сложностью достаточной для функционирования в реальном времени. Описана возможность интеграции алгоритма с динамической моделью устройства.

Ключевые слова: механизмы параллельной кинематики, оптимизация управления, алгоритмы управления двигателями.

Введение

Перспективным направлением исследований является разработка прецизионных установок, позволяющих проводить высокоточные исследования. Механизмы параллельной кинематики (устройства, исполнительное звено которых соединяется с основанием с использованием нескольких независимых кинематических цепей) обладают рядом преимуществ, таких как: повышенная точность, обусловленная их параллельной структурой; жесткость; надежность; возможность манипулировать большими нагрузками [1]. Недостатком таких систем является повышенная математическая сложность программного обеспечения [2]. Исследователи механизмов параллельной кинематики отмечают недостаток в эмуляторах, с помощью которых можно было бы производить полноценное исследование и определение реальных возможностей проектируемых параллельных механизмов с количеством степеней свободы меньшим 6-ти [1]. Примеры использования параллельных механизмов приведены на рис. 1.

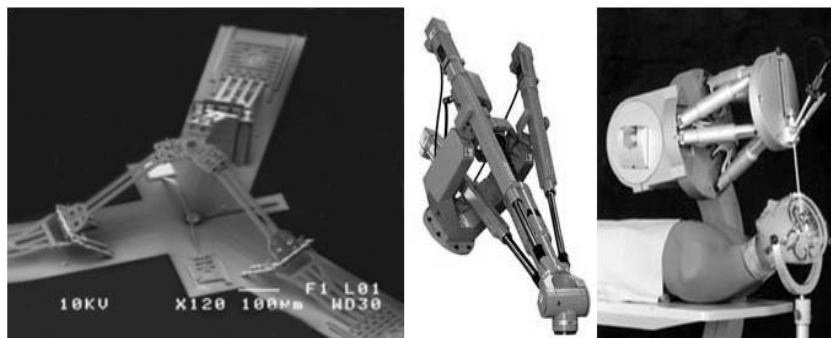


Рис. 7. Применение параллельных механизмов

Целью работы является разработка автоматизированного программно-аппаратного комплекса (АПАК) для исследования параллельных механизмов на примере прецизионных триподов. Проектирование и создание инструментария для исследования параллельных механизмов. Имитационное моделирование работы параллельных механизмов различных конфигураций на этапе проектирования систем. Определения конфигурационного пространства системы. Оценка ограничений, параметров проектируемого трипода на предмет соответствия поставленным задачам. Разработка и верификация различных алгоритмов моделирования, алгоритмов управления нелинейными параллельными кинематическими устройствами. Реализация

подхода автоматизированного моделирования и исследования параллельных механизмов. Данная автоматизированная система для научных исследований (АСНИ) обеспечит возможности решения широкого круга задач: задач терминального управления; задач траекторного управления, слежения; задач связанных с исследованием модели трипода, выявлением кинематических и динамических характеристик системы; задач на планирование движений; задач адаптивного управления системой, с возможностями самообучения.

Разрабатываемый АПАК обеспечит возможности исследования прецизионных триподов, проведения исследований с помощью прецизионных триподов и решения различных задач теории автоматического управления (ТАУ). Также АСНИ может быть использована в обучении для проведения различных лабораторных работ и студенческих исследований в области ТАУ, механики, программирования, робототехники.

Постановка задачи

Рассматривается задача обеспечения оптимального быстрогодействия прецизионного параллельного механизма при его следовании вдоль заданной траектории, с учетом выполнения требования по точности перемещения. Согласно принципу максимума Понтрягина, целью задачи является поиск такого управления $u(t)$ для которого переход из состояния x^0 в состояние x^1 происходит за кратчайшее время. Выгодность управления описывается функционалом L . Управление считается наиболее выгодным, если функционал L имеет минимальное значение [3]. Для задачи максимального быстрогодействия функционал L задается:

$$L = \int_{t_2}^{t_1} f^0(x(t), u(t)) dt, \quad (1)$$

где $f^0(x, u) = f^0(x^1(t), \dots, x^n(t), u(t))$ – заданная функция указанных переменных.

Фазовыми координатами параллельного механизма являются длины его опор q^1, q^2, \dots, q^n . Следовательно, скорость изменения каждой фазовой координаты по времени определяется фазовым вектором:

$$\dot{q}_j^i = \frac{dq_j^i}{dt} = f^i(q_j^1, q_j^2, \dots, q_j^n) = f^i(q_j). \quad (2)$$

Таким образом (2) определяет поведение прибора в процессе изменения времени.

В общем виде, при моделировании, на модель параллельного механизма накладываются следующие ограничения:

- радиусы платформы и основания – ограничивают возможные точки крепления опор при задании конфигурации модели;
- точки крепления опор к платформе и основанию;
- максимальные и минимальные длины опор;
- диаметр опор – используется для проверки пересечений опор при работе устройства, реализованной через поиск минимального расстояния между отрезками в пространстве (при позиционировании модели производится поиск и проверка расстояний между опорами);
- минимальные углы между: опорами и платформой, опорами и основанием – реализовано через расчет и проверку угла между прямыми, которые проходят через опоры и плоскостями основания и платформы;
- степени свободы рабочей платформы;
- степени свободы каждой из опор;
- максимальная скорость изменения длины опор;
- максимальное ускорение каждой из опор.

Моделирование движения проходит через следующие стадии:

1. поиск оптимальной или задание требуемой траектории перемещения платформы;
2. дискретизация, линейная интерполяция траектории с необходимой точностью;
3. определение оптимального закона управления каждой из опор при прохождении рабочей платформы по заданной траектории с учетом требуемой точности перемещения;
4. моделирование перемещения устройства, взаимодействие с реальным устройством, сбор статистических данных, калибровка движения.

В рамках работы будет рассмотрен шаг 3 из приведенного списка.

Метод поиска оптимального управления

Так как решение прямой задачи кинематики для параллельных механизмов является нетривиальной и ресурсоемкой задачей (особенно с учетом накладываемых на модель, в том числе и пользовательских, ограничений), то применяется метод моделирования на основе решения обратной задачи кинематики для моделируемого механизма, с учетом ограничений описанных выше, с возможностью установки дополнительных пользовательских ограничений. Более подробное описание метода можно найти в работе [4], в которой показано, что линейное перемещение рабочей платформы модели ведет к нелинейному изменению длин опор, что необходимо учитывать при формировании закона управления. При построении цифровых систем достаточно просто реализуется ступенчатое управление, при котором скорость электродвигателя в течение некоторого интервала времени остается постоянной [5]. Также в используемых при создании комплекса АСНИ шаговых двигателях возможно точное управление скоростью, если требуемые скорость и момент не выходят за допустимые пределы [6]. Также используя возможности встраивания микропрограмм управления двигателями в трехканальный контроллер SMC-3, который позволяет независимо управлять от 1 до 3 приводов, предоставляет возможность синхронизировать работу нескольких шаговых двигателей, выполнять работу по заданному алгоритму, содержащемуся в энергонезависимой памяти контроллера, можно увеличить точность изменения скоростей двигателей. В противном случае, для прецизионного позиционирования реального устройства, необходимо применять систему реального времени, которая будет гарантировать точность моментов времени, через которое будет производиться отправка данных на контроллер двигателя. Разрабатываемая АСНИ позволяет работать в реальном времени, например на операционной системе Linux со специальным ядром реального времени.

Применим для решения задачи оптимального управления методы динамического программирования и принцип оптимальности Беллмана. Согласно принципу оптимальности Беллмана, управление на каждом шаге должно быть оптимальным с точки зрения процесса [7].

Состояниями системы $\bar{q}_{k,j}$ выберем длины опор в дискретных положения рабочей платформы модели на заданной траектории, где k – номер шага, j – порядковый номер опоры. Обозначим функцию оптимального управления на каждом шаге через $\bar{u}_{k,j}$.

Обозначим показатель эффективности через $Z_{k,j} = \sum_{i=k}^n f_i(\bar{q}_{i-1,j}, \bar{u}_i)$, и величину условного максимума через $Z_{k,j} = \max Z_{k,j}$ тогда, на основе основного рекуррентного соотношения Беллмана, необходимо выбирать такое управление $\bar{u}_{k,j}$, чтобы оно в совокупности с оптимальным управлением на последующих шагах (начиная с $(k+1)$ -го) приводило бы к общему показателю эффективности на $n-k+1$ шагах, начиная с k -го [7]. Что можно выразить аналитически:

$$Z_{n,j}(\bar{q}_{n-1,j}) = \max(f_n(\bar{q}_{n-1,j}, \bar{u}_{n,j})),$$

$$Z_{n,j}(\bar{q}_{k-1,j}) = \max(f_k(\bar{q}_{k-1,j}, \bar{u}_{k,j}) + Z_{k+1}(\bar{q}_{k,j})), k = n-1, n-2, \dots, 1. \quad (3)$$

Следовательно, искомое оптимальное управление можно представить по цепочке:

$$\bar{q}_{0,j} \rightarrow \bar{u}_{0,j} \rightarrow \bar{q}_{1,j} \rightarrow \bar{u}_{1,j} \rightarrow \bar{q}_{2,j} \rightarrow \dots \rightarrow \bar{u}_{n,j} \rightarrow \bar{q}_{n,j}. \quad (4)$$

Из алгоритма прямой прогонки получаем оптимальное управление:

$$\bar{q}_{n,j} \rightarrow \bar{u}_{n,j} \rightarrow \bar{q}_{n-1,j} \rightarrow \bar{u}_{n-1,j} \rightarrow \bar{q}_{n-2,j} \rightarrow \dots \rightarrow \bar{u}_{1,j} \rightarrow \bar{q}_{0,j}. \quad (5)$$

Далее, проверяя допустимость найденных решений $\bar{u}_{n,j}$ для каждой из j опор, выбираем набор управлений \bar{U}_n удовлетворяющий всем опорам в каждой точке траектории.

Оптимальным по времени алгоритмом управления опорами будет являться движение опор с максимальным ускорением до достижения максимальной скорости опоры (также возможен учет динамических характеристик модели). Стоит заметить, что вследствие нелинейности зависимости изменения длин опор от шага платформы: при равноускоренном движении, опора за k шагов в разных областях рабочего пространства будет набирать разную скорость, при учете не достижения максимальной скорости. Таким образом, появляется неопределенность того, насколько при данной скорости и ускорении, опора может изменить свою скорость за k шагов. Для разрешения данной проблемы и повышения производительности вычислений, будет эффективно применять одновременно алгоритм оптимизации в прямом и обратном направлении. Однако, вследствие нелинейности зависимостей, при данном подходе может возникать проблема несовпадения результатов, получаемых прямым и обратным способом, представленная на рис. 2.

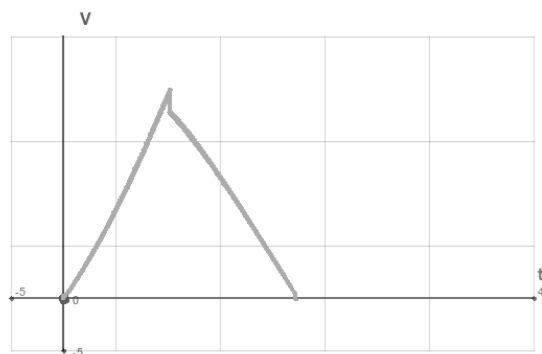


Рис. 8. Разрыв в скоростях получаемых при двунаправленной оптимизации

Решение данной проблемы было выполнено следующим образом: при обнаружении подобного случая, алгоритм выбирает минимальную скорость и продолжает увеличивать ее до тех пор, пока она меньше скорости, полученной противоположенным путем. Таким образом, удается устранить данные разрывы.

Как уже было сказано выше, оптимизация производится с использованием решения обратной задачи кинематики в каждой точке траектории, по которым получают соответствующие длины опор. Скорости опор на каждом шаге траектории определяются через отношение изменения длины опоры за шаг ко времени, проведенном моделью на данном шаге. Далее проводится оптимизация времени на каждом шаге, с учетом максимальных допустимых для опоры скоростей и ускорений.

Таким образом, получаем скорости для всех опор в каждой точке траектории движения рабочей платформы модели. Для учета динамических характеристик и внешних воздействий на устройство, можно использовать уточненную динамическую модель системы, которая, в конечном итоге, будет передавать в алгоритм данные по максимальным ускорениям в каждой точке траектории. Иначе, целесообразно

произвести расчет реального устройства и выявить значение ускорения, которое будет корректно на всей рабочей области устройства, с учетом динамических характеристик и максимальных возможностей двигателей. Примеры результатов работы алгоритма при движении рабочей платформы устройства с тремя опорами и шестью степенями свободы, между двумя случайными точками, с изменением координат по прямолинейному закону, приведены на рис. 3.

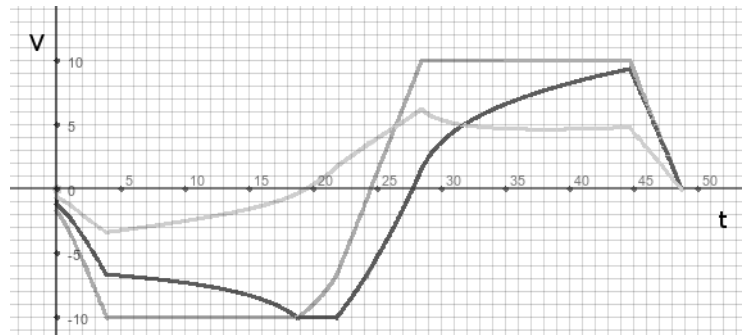


Рис. 3. Пример работы алгоритма при достижении опорами в процессе движения максимальных скоростей и изменением направления движения

Заключение

В рамках работы был предложен и промоделирован метод оптимального по быстродействию управления механизмом с параллельной кинематической структурой. Был получен метод пошаговой оптимизации скоростей двигателей опор с вычислительной сложностью достаточной для функционирования в реальном времени (при использовании системы управления, позволяющей программе функционировать в реальном времени). Дополнительно описана возможность интеграции метода с динамической моделью устройства. Метод может быть использован для всех механизмов, моделируемых с помощью разрабатываемой АСНИ. Также предложенный метод управления может быть реализован и в более сложных механизмах с параллельной кинематической структурой.

Литература

1. Merlet J.-P. Parallel Robots (Second Edition) // Springer. – 2006. – 401 p.
2. Степанов В.П. Оптимизация маршрутов на дорожной сети // Наука и образование. – 2012. – № 5. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://technomag.edu.ru/doc/369475.html>, своб.
3. Понтрягин Л.С. Избранные научные труды, Т.2. – М.: Наука, 1988. – 575 с.
4. Антонов С.Е., Марусина М.Я., Лямин А.В., Киселев С.С., Федосов Ю.В. Программный инструментарий для исследования математических моделей прецизионных триподов // Научно-технический журнал «Приборостроение». – 2011. – № 7. – С. 72–76.
5. Смирнов В.А., Федоров В.Б. Алгоритм управления механизмом с параллельной кинематической структурой // Вестник Южно-Уральского государственного университета. – 2005. – С. 23–26.
6. Ридико Л. Шаговый двигатель // Основы схемотехники. – 2001. – № 6. – 55 с.
7. Ширяева В.Д. Принцип оптимальности. Уравнение Беллмана. – [Электронный ресурс] / ред. Ширяева В.Д. – М.: Рос. гос. б-ка, 2009. – Режим доступа: <http://www.math.mrsu.ru/text/courses/e-learn/7.2.htm>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ.

АЛГОРИТМ УПРАВЛЕНИЯ ТЕЛЕПОРТАЦИЕЙ

И.В. Блинова

Научный руководитель – д.ф.-м.н., профессор И.Ю. Попов

Предложен вариант алгоритма телепортации, основанный на использовании нескольких кубитов. В частности, он позволяет менеджеру телепортации создавать запутанные состояние между A и B и, следовательно, контролировать результат телепортации между ними. В рамках предлагаемого подхода рассматривается проблема обмена секретными ключами.

Вступление

Быстрое развитие наноэлектроники способствует развитию исследований в области квантовых алгоритмов. В настоящее время созданы несколько алгоритмов (например, факторизация Шора, поиск в базах данных Гровера [1] и т.д.). Одним их наиболее значимых алгоритмов является алгоритм телепортации, предложенный Беннеттом и Brassаром [2]. Есть несколько вариантов основной схемы телепортации: однобитовая телепортация, плотное кодирование, обмен запутанности (см., например [3, 4]). Для телепортации более трех кубитов, вспомним протокол Hillery-Buzek-Berthiaume, который расщепляет и реконструирует квантовую информацию по состоянию Greenberger-Horne-Zeilinger при помощи локальных квантовых операций и классической связи (ЛОСС).

Модифицированный протокол телепортации на базе системы трех кубитов 123 представлен в [6, 7]. Этот протокол описывается следующим образом: пусть i, j , и k – различные числа из $\{1, 2, 3\}$.

1. Сделаем измерение одного кубита в системе i .
2. Подготовим произвольное одно-кубитовое состояние, а затем сделаем двух-кубитовое измерение этого кубита и одного кубита из системы j .
3. В системе k , применяем надлежащее унитарное преобразование в зависимости от трех-битной классической информации на основе двух приведенных выше результатов измерений.

В настоящей работе автор предлагает новые варианты протокола телепортации для N -кубитовых состояний. В частности для $N=3$, предположено, что в схеме участвуют три участника (A, B, M). M менеджер, который хочет телепортировать кубит $|D\rangle = \alpha|0\rangle + \beta|1\rangle$ (с неизвестными α, β) в A или B с использованием квантового канала (одно запутанное состояние). Более того, должно быть, чтобы M выбрал получателя (A или B) только на заключительном этапе алгоритма. Это первый вариант протокола. Вторая версия связана с другой возможностью, представленной в схеме. А именно, M контролирует результат телепортации кубитов от A к B , создавая надлежащие запутанные состояния A и B . Это состояние используется для обычной двух-кубитовой телепортации кубитов от A к B (замечено, что A и B не знают типа запутанного состояния, и, следовательно, не могут предсказывать результат телепортации, результат предопределяет менеджер).

Предложен вариант квантового распределения секретного ключа, основанного на обобщении предложенной схемы телепортации для много-кубитового случая. Также обсуждается проблема создания классического секретного ключа в рамках подхода.

Алгоритм

Пусть имеется состояние $|GHZ\rangle$ (Greenberger-Horn-Zeilinger): $|GHZ\rangle = 2^{-1/2}(|000\rangle + |111\rangle)$ для кубитов A, B, M . Предполагается, что A и B могут делать двух-кубитовые операции. Что касается M , он может делать операции с кубитами M и

D. Все участники общаются по классическому каналу связи. Алгоритм построен следующим образом. Первоначальное состояние может быть представлено в следующем виде:

$$\begin{aligned} |ABMD\rangle &= |GHZ\rangle \otimes (\alpha|0\rangle + \beta|1\rangle) = \\ &= (|\Phi_{MD}^+\rangle \otimes (\alpha|0_A0_B\rangle + \beta|1_A1_B\rangle) + |\Phi_{MD}^-\rangle \otimes (\alpha|0_A0_B\rangle - \beta|1_A1_B\rangle)) + \\ &+ |\Psi_{MD}^+\rangle \otimes (\beta|0_A0_B\rangle + \alpha|1_A1_B\rangle) + |\Psi_{MD}^-\rangle \otimes (\beta|0_A0_B\rangle - \alpha|1_A1_B\rangle), \end{aligned}$$

где $|\Phi_{MD}^\pm\rangle, |\Psi_{MD}^\pm\rangle$ – базис Белла:

$$|\Phi_{MD}^\pm\rangle = 2^{-1/2}(|0_M0_D\rangle \pm |1_M1_D\rangle), |\Psi_{MD}^\pm\rangle = 2^{-1/2}(|0_M1_D\rangle \pm |1_M0_D\rangle).$$

Затем *M* делает измерение в базисе Белла. Возможны четыре результата. *M* информирует (по классическому каналу) *A* и *B* о двух-кубитовых операциях *G*, которые они должны сделать. После этого телепортация закончена. Что касается упомянутых операций, то они таковы: представим ситуацию, что *M* решил создать надлежащий кубит для *A*. Если в результате получим $|\Phi_{MD}^+\rangle$, то соответствующий оператор *G* – *CNOT*. При результате $|\Phi_{MD}^-\rangle$: $g_{11} = g_{22} = g_{43} = 1, g_{34} = -1$.

При $|\Psi_{MD}^+\rangle$: $g_{14} = g_{22} = g_{31} = g_{43} = 1$. При $|\Psi_{MD}^-\rangle$: $g_{31} = g_{22} = g_{43} = 1, g_{14} = -1$.

Таким образом, можно увидеть, что кубит *D* телепортировался от *M* к *A*. Для того, чтобы телепортировать *M* к *B* должны быть существенно изменены последняя двух-кубитовая операция. Таким образом, посылающий определяет получателя кубита только на последнем этапе. Предложенную схему легко переделать для получения запутанного состояния (определяемого менеджером) кубитов *A* и *B*. Это позволяет менеджеру контролировать результат телепортации кубита $|F\rangle$ от *A* к *B*.

Хорошо известно, что можно использовать различные запутанные состояния для осуществления телепортации. Наиболее часто используемые состояния $|CAT\rangle = 2^{1/2}(|00\rangle + |11\rangle)$ и $|EPR\rangle = 2^{1/2}(|01\rangle + |10\rangle)$. Тип унитарного одно-кубитового оператора, используемого *B* для завершения телепортации, зависит от типа используемого запутанного состояния. К примеру, пусть *A* и *B* используют два вышеупомянутых запутанных состояния, и они считают, что у них есть состояние $|CAT\rangle$, чтобы сделать соответствующие операции. Но тип запутанного состояния определяет менеджер, который может изменить состояние в соответствии с описанной выше схемой. В этой ситуации результат телепортации был бы другим, и только менеджер знает результат. Более того, он может контролировать этот результат, изменяя запутанные состояния *A* и *B*. Рассмотрим пример более подробно. Пусть менеджер (*M*) может заменить $|CAT\rangle$ на $|EPR\rangle$ или не изменяет состояние. Во втором случае *B* получает кубит $|F\rangle$. Но если менеджер делает замену, то результат будет другой. А именно, в соответствии с обычной процедурой телепортации после измерения двух-кубитового состояния $|AF\rangle$ в базисе Белла *A* получит один из четырех результатов (первая колонка) и информирует *B* о свойствах одно-кубитового оператора (вторая колонка), *B* применяет оператор и получает следующий результат (третья колонка):

$$\begin{array}{lll} \Phi^+ & I & NOT|F\rangle \\ \Phi^- & \sigma_3 & -NOT|F\rangle \\ \Psi^+ & \sigma_1 & NOT|F\rangle \\ \Psi^- & -i\sigma_2 & NOT|F\rangle \end{array},$$

где $\sigma_j, j=1, 2, 3$ – матрицы Паули. Можно увидеть, что *B* действительно получает $NOT|F\rangle$. Заметим, что *A* и *B* не знают результат телепортации. Только менеджер знает: $NOT|F\rangle$ или $|F\rangle$.

Если изначально A и B планируют использовать $|EPR\rangle$ состояние, и менеджер может заменить (или не заменять) его на $|CAT\rangle$, результат будет абсолютно аналогичным. А именно, в случае замены, указанная выше таблица имеет следующий вид:

$$\begin{array}{l} \Phi^+ \quad \sigma_1 \quad NOT|F\rangle \\ \Phi^- \quad i\sigma_2 \quad -NOT|F\rangle \\ \Psi^+ \quad I \quad NOT|F\rangle \\ \Psi^- \quad \sigma_3 \quad NOT|F\rangle \end{array}$$

2n+1-кубитовый случай

Нетрудно сделать обобщение предложенного алгоритма для случая 2n+1-кубитов. А именно, начальной точкой является следующее запутанное состояние кубитов $A_1, B_1, A_2, B_2, \dots, A_n, B_n, M$:

$$|A_1, B_1, \dots, A_n, B_n, M\rangle = |(2n+1)CAT\rangle = (|00\dots 0\rangle + |11\dots 1\rangle)/\sqrt{2}.$$

Используя процедуру, описанную выше, можно получить соответствующие запутанные состояния между кубитами $A_i, B_i, i=1, 2, \dots, n$. А именно, пусть $i=1$ (для простоты). Начальное состояние

$$(|A_1, B_1, \dots, A_n, B_n, M\rangle \otimes (\alpha|00\rangle + \beta|11\rangle), (|\alpha|^2 + |\beta|^2 = 1).$$

Менеджер M делает измерения в базе $|\Phi_{MDF}^\pm\rangle, |\Psi_{MDF}^\pm\rangle$:

$$|\Phi_{MDF}^\pm\rangle = 2^{-1/2}(|0_M 0_D 0_F\rangle \pm |1_M 1_D 1_F\rangle), |\Psi_{MDF}^\pm\rangle = 2^{-1/2}(|0_M 1_D 1_F\rangle \pm |1_M 0_D 0_F\rangle).$$

Если результат Φ_{MDF}^+ , тогда получили состояние $(\alpha, 0\dots 0, \beta)^T$ ($16(n-1)$ -вектор).

Чтобы получить состояние $A_1 B_1, \alpha|0_{A_1} 0_{B_1}\rangle + \beta|1_{A_1} 1_{B_1}\rangle \otimes \beta|10\dots 0\rangle$, необходимо умножить вектор слева на $16(n-1) \times 16(n-1)$ матрицу G_{Φ^+} со следующими элементами $g_{ii} = 1, i \neq 12n-11, 16(n-1), \quad g_{12n-11, 12n-11} = g_{16(n-1), 16(n-1)} = 0, \quad g_{12n-11, 16(n-1)} = g_{16(n-1), 12n-11} = 1, \quad g_{ij} = 0$ в других случаях.

Если измерения показывают другой результат, матрица меняется. Ниже приведен список результатов измерений, соответствующие векторы состояний и надлежащие матрицы G .

При получении Φ_{MDF}^- имеем состояние вектора $(\alpha, 0\dots 0, -\beta)^T$ и матрицу G_{Φ^-} со следующими элементами $g_{ii} = 1, i \neq 12n-11, 16(n-1), \quad g_{12n-11, 12n-11} = g_{16(n-1), 16(n-1)} = 0, \quad g_{12n-11, 16(n-1)} = -1, \quad g_{16(n-1), 12n-11} = 1, \quad g_{ij} = 0$ в других случаях.

При получении Ψ_{MDF}^+ имеем состояние вектора $(\beta, 0\dots 0, \alpha)^T$ и матрицу G_{Ψ^+} со следующими элементами $g_{ii} = 1, i \neq 1, 12n-11, 16(n-1), \quad g_{12n-11, 12n-11} = g_{1,1} = g_{16(n-1), 16(n-1)} = 0, \quad g_{12n-11, 1} = g_{1, 16(n-1)} = g_{16(n-1), 12n-11} = 1, \quad g_{ij} = 0$ в других случаях.

При получении Ψ_{MDF}^- имеем вектор $(\beta, 0\dots 0, -\alpha)^T$ и матрицу G_{Ψ^-} со следующими элементами $g_{ii} = 1, i \neq 1, 12n-11, 16(n-1), \quad g_{12n-11, 12n-11} = g_{1,1} = g_{16(n-1), 16(n-1)} = 0, \quad g_{12n-11, 1} = 1, \quad g_{1, 16(n-1)} = -1, \quad g_{16(n-1), 12n-11} = 1, \quad g_{ij} = 0$ в других случаях.

Менеджер информирует A_1, B_1 о типе матрицы G по классическому каналу. Они применяют матрицу к вектору и получают надлежащее запутанное состояние.

Простая модификация процедуры позволяет получить надлежащее запутанное

состояние кубитов A_i, B_i для каждого i . Теорема о запрете клонирования не позволяет сделать телепортацию неизвестного двух-кубитового состояния (т.е. для произвольных α, β) для всех пар A_i, B_i одновременно. Но если имеем дело с известным базисным вектором (например, *CAT*, или *EPR*), тогда это возможно, и только менеджер определяет получателей и тип запутанных состояний.

В этой ситуации процедуру выбора матрицы G для получения надлежащем состоянии довольно обычная. Выбираем новый ортогональный базис, в котором содержится наш вектор как элемент. Затем, можно построить унитарную матрицу, преобразующую начальный основной вектор в надлежащий (тензорное произведение собственных двух-кубитовых состояний для каждой пары). Преобразование в исходном базисе и дает искомую унитарную матрицу.

Конечно, участники могут определить, какие пары (A_i, B_i) получили запутанное состояние для следующей телепортации, но они не знают какое состояние необходимо (*CAT* или *EPR*). Что же касается перехватчиков – он не может определить даже получателей. Эта схема может быть использована для распределения секретного ключа. А именно, пусть происходит распределение ключа между некоторыми квантовыми состояниями (в нашем случае – B_1, \dots, B_n). Авторизованное (authorized) множество состояний это такое множество, которого достаточно для восстановления исходного секрета [8]. Обратите внимание, что неавторизованное (unauthorized) множество таково, что, имея его, нельзя получить никакой информации о секретных квантовых состояниях (т.е. матрица плотности неавторизованного множества одинакова для всех закодированных состояний).

При произвольном распределении ключа большинство множеств оказываются ни авторизованными, ни неавторизованными (только в совершенной схеме квантового распределения ключа всякое множество или авторизованное, или неавторизованное). Используя предложенную схему, менеджер может создать надлежащие двухкубитовые состояния в выбранных парах A_i, B_i . Затем, A_i выполняет телепортацию стандартного исходного состояния B_i , и B_i получает надлежащее состояние, если он входит в число отобранных менеджером получателей (или какое-то другое состояние в противном случае), т.е. менеджер предопределяет результаты этих телепортаций. Таким путем менеджер создает авторизованное множество состояний (среди B_1, \dots, B_n). Менеджер – единственная персона, которая знает авторизованное множество.

Как вариант, эта схема – способ создания классической секретной последовательности. Интересно, что хотя A_i и B_i создают эту последовательность, они не знают результат. Более того, классический секретный ключ (последовательность) кодируются перепутанными состояниями A_i, B_i (т.е. информация хорошо защищена благодаря теореме о запрете клонирования) и появляется как классический ключ только на последней стадии (после последней телепортации).

Работа частично поддержана ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» (контракты Р689 НК-526Р, 14.740.11.0879 и 16.740.11.0030, грант 2012-1.2.2-12-000-1001-047), грантом 11-08-00267 РФФИ, ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научного и технологического комплекса России 2007–2013» (контракт 07.514.11.4146).

Литература

1. Grover L.K. Quantum computers can search arbitrarily large databases by a single query // *Phys. Rev. Lett.* – 1997. – V. 79. – P. 4709–4712.

2. Bennett C.H., Brassard G., Crepeau C., Josza R., Peres A., Wotters W.K. Teleporting an unknown quantum state via dual classical and Einstein-Podolsky-Rosen channels // Phys. Rev. Lett. – 1993. – V. 70. – P. 1895–1899.
3. Plenio M.B., Vedral V. Teleportation, entanglement and thermodynamics in the quantum world // Contemp. Phys. – 1998. – V. 39. – № 6. – P. 431–446.
4. Gottesman D., Chuang I.L. Demonstrating the viability of universal quantum computation using teleportation and single-qubit operations // Nature. – 1999. – V. 402. – P. 390–392.
5. Hillery M., Buzek V., Berthiaume A. Quantum secret sharing // Phys. Rev. – 1999. – A 59. – № 3. – P. 1829–1834.
6. Lee S., Joo J., Kim J. Entanglement of three-qubit pure states in terms of teleportation capability // Phys. Rev. – 2005. – A 72. – 024302/1-4.
7. Lee S., Joo J., Kim J. Teleportation capability, distillability, and nonlocality on three-qubit states // Phys. Rev. – 2007. – A 76. – 012311/1-4.
8. Gottesman D. Theory of quantum secret sharing // Phys. Rev. – 2000. – A 61. – 042311/1-8.

СОДЕРЖАНИЕ

Быковская Е.А., Максакова И.Б. Обоснование необходимости очистки рек и каналов Санкт-Петербурга от донных отложений	3
Прохожев Н.Н., Зеленина М.Л. Применение искусственных нейронных сетей для контроля уровня вносимых искажений в изображение при встраивании цифровых водяных знаков	9
Каминский П.В., Христофорова И.С. Разработка модели развития сельскохозяйственного предприятия, путем переработки вторичного сырья	13
Ковалева М.О. Возрастная структура изолированной популяции.....	15
Лосенков А.А., Никифорова Л.В. Дифференциальный алгоритм оценивания частот мультigarмонического сигнала.....	21
Мидянка А.И. Механизм постоянного улучшения бизнес-процессов	25
Никифорова Ю.М. Методы совершенствования контроля содержания диоксида серы в приземном слое атмосферы городов	28
Оболенсков А.Г. Разработка стенда для контроля параметров позиционно-чувствительного датчика мультискан	33
Пещеров Р.О., Музыка Д.А. Беллмановская оптимизация управляемых динамических систем управления с последствием на конечном промежутке времени	37
Платонова Т.К. Моделирование и прогнозирование инвестиционных процессов региона (на примере Ростовской области)	45
Платунова С.М. Учебно-исследовательская подсистема автоматизированного анализа характеристик сети компьютерных классов	51
Плотников М.Ю., Дейнека И.Г. Расширение функциональных возможностей схемы электронной обработки сигналов волоконно-оптического акустического датчика интерферометрического типа.....	54
Прилепин Е.С., Прохожев Н.Н. Применение генетических алгоритмов в задачах оптимизации параметров встраивания цифровых водяных знаков в область дискретно-косинусного преобразования изображения.....	59
Савченко В.П. Оптимизация технологии производства оптических изделий из полимерных материалов.....	63
Сиваков И.А. Использование информационной матрицы Фишера для оценки погрешности нестационарной теплометрии при параметрической идентификации на примере батарейного приемника теплового потока.....	66
Сивякова М.В. Разработка модели управления инновационно-инвестиционным проектом машиностроительного предприятия	72
Созинова Е.Н. Применение метода экспертных оценок в информационной безопасности	75
Сомонов В.В. Перспективы внедрения волоконных лазеров для лазерной термообработки черных металлов.....	79
Сумцов А.В. Методика и программная реализация ввода и обработки исходных данных для автоматизированной системы	82
Теппо К.С. Моделирование поверхностных электромагнитных волн с использованием упорядоченных структур.....	87
Федосенко А.С., Муратов М.А. Оценка методической погрешности поляризационного метода контроля неустойчивости оси диаграммы направленности лазерных источников	92

Хвостов Д.А., Пантюхина К.А. Обучающийся интеллектуальный агент использующий мягкие вычисления	95
Христофоров М.В. Геоинформационный веб-сервис по оценке качества дорог.....	103
Шаветов А.В. Нелинейный изгиб чувствительных элементов в тактильных сенсорах.....	108
Шаветов С.В., Капитанюк Ю.А. Подвижная маятниковая научно-исследовательская платформа.....	112
Яговкин В.И. Введение игровой составляющей в интерактивные тренажерные комплексы	118
Капитанюк Ю.А., Хованский А.В. Траекторное управление мобильным роботом относительно подвижных объектов	124
Антонов С.Е. Метод оптимизации скоростей двигателей прецизионных механизмов параллельной кинематической структуры при прохождении заданной траектории	130
Блинова И.В. Алгоритм управления телепортацией	135

Сборник трудов I Всероссийского конгресса молодых ученых /

Главный редактор д.т.н., проф. В.О. Никифоров. - СПб: НИУ ИТМО, 2012. - 142 с.

**СБОРНИК ТРУДОВ I ВСЕРОССИЙСКОГО
КОНГРЕССА МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ**

Сборник трудов конгресса молодых ученых

Главный редактор доктор технических наук,
профессор В.О. Никифоров Дизайн обложки
Л.М. Корпан Редакционно-издательский отдел
НИУ ИТМО Зав. РИО Н.Ф. Гусарова Лицензия
ИД № 00408 от 05.11.99. Подписано в печать
27.09.12. Заказ 2541. Тираж 100 экз.