

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
МЕЖДУНАРОДНАЯ АКАДЕМИЯ ИНФОРМАТИЗАЦИИ
МИНИСТЕРСТВО ПРОМЫШЛЕННОСТИ, ИННОВАЦИОННЫХ
И ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ РЯЗАНСКОЙ ОБЛАСТИ
РЯЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ РАДИОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В НАУКЕ И ОБРАЗОВАНИИ

СТНО-2017

**II МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ
И НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ**

Сборник трудов

Том 2

Рязань 2017

УДК 004 + 001.1 + 681.2+ 681.2+ 681.3+681.5
С568

Современные технологии в науке и образовании – СТНО-2017 [текст]: сб. тр. II международного науч.-техн. и науч.-метод. конф.: в 8 т. Т.2./ под общ. ред. О.В. Миловзорова. – Рязань: Рязан. гос. радиотехн. ун-т, 2017; Рязань. – 224 с.

Сборник включает труды участников II Международной научно-технической и научно-методической конференции «Современные технологии в науке и образовании» СТНО-2017. Освещаются вопросы математического моделирования, новых технологий в радиоэлектронике, телекоммуникации, измерительной технике и системах, биомедицинских технологиях, вычислительных сетях, САПР, машиностроительном и нефтехимическом производстве, в образовании, экономике, гуманитарной сфере и космических технологиях.

Авторская позиция и стилистические особенности сохранены.

Организационный комитет:

Таганов А.И. – председатель, проректор по научной работе РГРТУ, д.т.н., проф.;

Миловзоров О.В. – координатор конференции, зам. директора ин-та магистратуры РГРТУ по научной работе, к.т.н., доц; Устинова Л.С. – отв. за информационную поддержку, нач. отдела информационного обеспечения; Трубицына С.Г. – секретарь оргкомитета, ведущий инженер.

Члены оргкомитета: Алпатов Б.А. – д.т.н., проф.; Бабаян П.В. – зав. каф. АИТУ, к.т.н., доц.; Бухенский К.В. – зав. каф. ВМ, к.ф.-м.н., доц.; Витязев В.В. – зав. каф. ТОР, д.т.н., проф.; Демидов С.В. – директор Гуманитарного института, д.и.н., проф.; Еремеев В.В. – директор НИИ «Фотон», д.т.н., проф.; Есенина Н.Е. – зав. каф. ИЯ, к.п.н., доц.; Жулев В.И. – зав. каф. ИИБМТ, д.т.н., проф.; Кириллов С.Н. – зав. каф. РУС, д.т.н., проф.; Клейносова Н.П. – директор Центра дистанционного обучения, к.п.н., доц.; Ключко В.К. – зав. каф. ЭиММ, д.т.н., проф.; Коваленко В.В. – зав. каф. ХТ, к.т.н., доц.; Корячко В.П. – зав. каф. САПР, д.т.н., проф.; Костров Б.В. – зав. каф. ЭВМ, д.т.н., проф.; Кошелев В.И. – зав. каф. РТС, д.т.н., проф.; Круглов С.А., – зам. зав. каф. ПЭл, к.т.н., доц.; Мусолин А.К. – зав. каф. АИТП, д.т.н., проф.; Паршин Ю.Н. – зав. каф. РТУ, д.т.н., проф.; Перфильев С.В. – зав. каф. ГМиКУ, д.э.н., проф.; Пржегорлинский В.Н. – зав. каф. ИБ, к.т.н., доц.; Пылькин А.Н. – декан ФВТ, зав. каф. ВПМ, д.т.н., проф.; Степнов И.М. – зав. каф. ЭиФМ, д.э.н., проф.; Холомина Т.А. – зав. каф. МНЭЛ, д.ф.-м.н., проф.; Чеглакова С.Г. – зав. каф. ЭБАиУ, д.э.н., проф.; Чиркин М.В. – зав. каф. ЭП, д.ф.-м.н., проф.

ISBN 978-5-7722-0293-7

© Рязанский государственный
радиотехнический университет, 2017

СЕКЦИЯ «ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА И СИСТЕМЫ В ТЕХНИКЕ И МЕДИЦИНЕ»

УДК.004.054, ГРНТИ 50.43.15

СИСТЕМА КОНТРОЛЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК АЦП В КОМПЛЕКСЕ «МУЛЬТИМАГ»

Ю.А. Анищенко, А.М. Абрамов

*Рязанский государственный радиотехнический университет,
Россия, Рязань, ju-spln@mail.ru*

Аннотация. В данной работе рассматривается система контроля метрологических характеристик АЦП на основе гистограммного метода (теста плотности кодов). Данная система позволяет производить оценку статической погрешности устройства аналого-цифрового преобразования, включенного в систему сбора терапевтической и диагностической информации комплекса «Мультимаг».

Ключевые слова: гистограммный метод, метод плотности кодов, статическая погрешность АЦП.

CONTROL METROLOGICAL CHARACTERISTICS OF THE ADC IN THE COMPLEX "MULTIMAG"

I.A. Anishchenko, A.M. Abramov

*Ryazan State Radio Engineering University,
Ryazan, Russia, ju-spln@mail.ru*

Abstract. A computer-aided automation system for the metrological examination of ADCs using the histogram method (code-density test). This system allows us to estimate the static error of analog-to-digital conversion device included in the system to collect diagnostic information and therapeutic complex «Multimag».

Keywords: histogram method, code density, static ADC error.

1. Введение

«Мультимаг» представляет собой микропроцессорный комплекс хрономагнитотерапии, предназначенный для воздействия слабыми частотно-модулированными магнитными полями на организм человека и мониторинга физиологических показателей пациента во время сеанса [1]. Аналогово-цифровое преобразование применяется для кодирования низкочастотного, медленно меняющегося сигнала.

Основной характеристикой, влияющей на метрологические параметры АЦП, является его функция преобразования (ФП) [2], которая задаёт зависимость между значениями входного аналогового напряжения и выходного кода. Реальная ФП АЦП может значительно отличаться от идеальной (номинальной) функции преобразования. Эти отличия заключаются в отклонениях ширины интервалов квантования от идеальных значений, в расположении ФП относительно осей координат, в отклонении ФП от прямой. Несоответствие номинальной (идеальной для конкретной реализации АЦП) и действительной ФП определяет точностные параметры АЦП: дифференциальную и интегральную нелинейности; зону неопределенности напряжений межкодовых переходов; монотонность ФП; аддитивную и мультипликативную погрешности.

Для коррекции и повышения точности получаемой с аналоговых датчиков терапевтической и диагностической информации требуется оценивать текущую статическую погрешность АЦП.

2. Принцип гистограммного метода

Гистограммный метод применяется для контроля статических метрологических характеристик аналого-цифрового преобразователя, таких как интегральная (INL) и дифференциальная (DNL) нелинейности. DNL и INL — основные характеристики нелинейности функции преобразования АЦП. Выражаются в долях ЕМР (единица младшего разряда, LSB, Least Significant Bit) или в процентах от полной шкалы.

Суть гистограммного метода заключается в накоплении большого числа отсчетов с АЦП. Важным условием является то, что требуется знать плотность вероятности появления отсчетов, то есть должна быть известна функция распределения эталонного сигнала.

Полученная по результатам испытаний АЦП гистограмма показывает, с учетом входного аналогового сигнала, какое число раз на выходе АЦП появляется определенное кодовое значение.

В качестве входного сигнала для гистограммного тестирования используют линейно изменяющийся или синусоидальный сигналы [3]. Выбор эталонного сигнала зависит от параметров тестируемого АЦП. В случае использования линейно изменяющегося сигнала основной проблемой является формирования нарастающего или спадающего напряжения с высокой линейностью. На практике в качестве линейно изменяющегося сигнала используют треугольный сигнал. При применении, в качестве тестового, синусоидального сигнала основной задачей становится его фильтрация от возможного высокочастотного шума.

На рисунке 1 показан типичный вид получаемых гистограмм в случае линейно изменяющегося тестового сигнала. В случае, если АЦП не имеет интегральной и дифференциальной нелинейностей (рис. 1, а), то все коды имеют равную вероятность появления (за исключением граничных кодов, состоящих из одних нулей и одних единиц), и в каждом кодовом интервале должно быть получено одинаковое число отсчетов.

Общим требованием к эталонному сигналу является то, что его частота не должна быть заметно меньше частоты дискретизации АЦП и не являться субгармоникой этой частоты. Не учет вышеприведенных факторов приведёт к появлению динамических ошибок в работе АЦП [4] и к появлению повторяющихся кодовых комбинаций в каждом периоде входного сигнала, что ведёт к искажению данных о DNL.

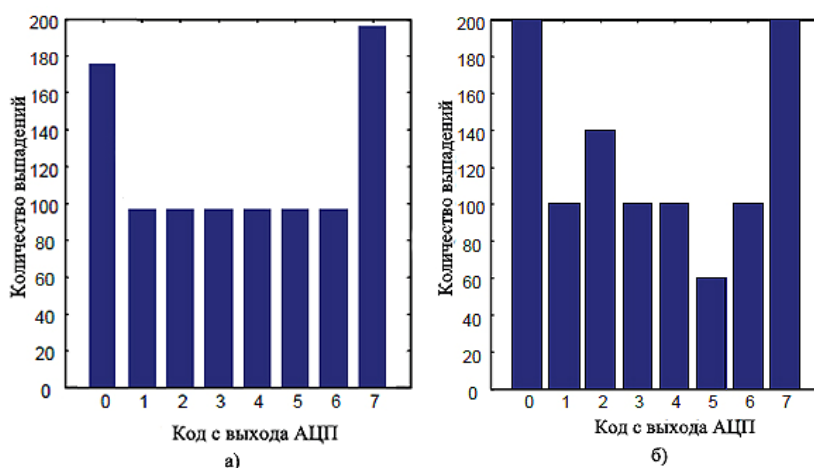


Рис. 1. Общий вид гистограмм при линейно изменяющемся эталонном сигнале для а) идеального АЦП б) неидеального АЦП

3. Реализация тестирования АЦП на базе гистограммного метода

Рассматриваемый гистограммный метод относится к тестам на базе цифровой обработки сигналов (ЦОС), поэтому для реализации данного способа оценки метрологических характеристик АЦП требуется использование ЭВМ. Средой для разработки рассматриваемой системы контроля была выбрана платформа LabView фирмы National Instruments. Следует отметить, что National Instruments предоставляет аппаратное обеспечение, которое разработано с расчетом на интеграцию со средой LabView и позволяет ускорить разработку системы контроля метрологических характеристик АЦП.

На рисунке 2 показана функциональная схема системы контроля метрологических характеристик АЦП в комплексе сбора биометрической информации. Использование платформы LabView позволяет программно задавать эталонный сигнал требуемой формы, который физически реализуется с помощью генератора эталонного сигнала. Также платформа LabView обеспечивает доступ к памяти компьютера, производит необходимые вычисления с

получаемым с микроконтроллера массивом данных с АЦП и выводит информацию на экран монитора в удобной для пользователя форме. Возможно сохранение полученного массива отсчетов с АЦП с целью дальнейшей обработки.

Измеряемые параметры фиксируются аналоговыми датчиками, которые преобразуют измеряемые физические величины в пропорциональные значения напряжения. Процесс аналогово-цифрового преобразования (задание частоты дискретизации, выбор источника опорного напряжения, запуск начала преобразования, флаг окончания преобразования, сохранение и отправка данных на персональный компьютер) управляется микроконтроллером. Также микроконтроллер служит для связи системы сбора биометрической информации с персональным компьютером. Программное обеспечение компьютера управляет генератором эталонного напряжения, задавая требуемые параметры тестового сигнала, запуская формирование тестового напряжения. Получаемые при тестировании АЦП отсчеты обрабатываются в системе LabView. Полученные данные об интегральной и дифференциальной нелинейности используются для корректировки получаемых отсчетов.

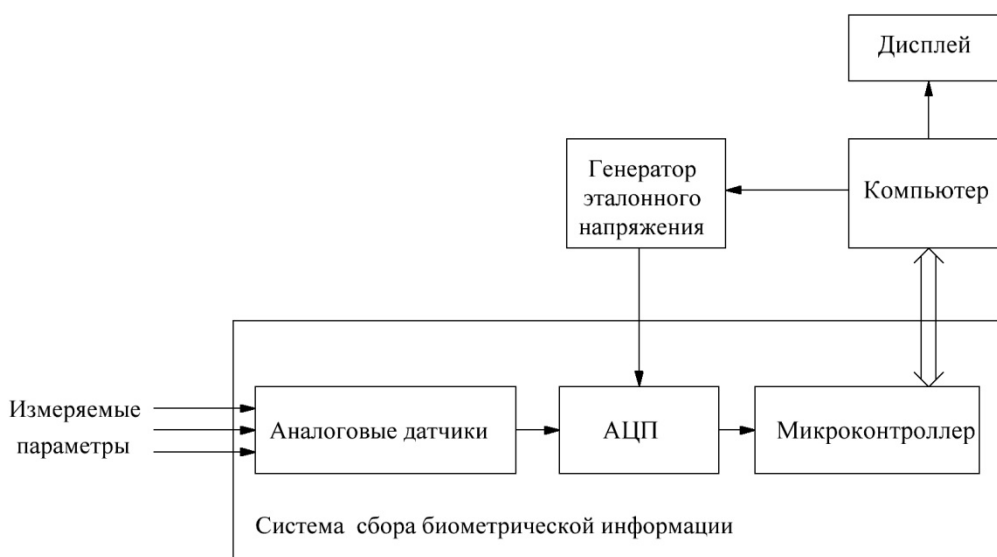


Рис. 2. Функциональная схема системы контроля метрологических характеристик АЦП в комплексе сбора биометрической информации

Важным требованием к разрабатываемой системе является достаточная скорость буферной памяти, используемая для ввода входных данных с АЦП и обеспечение линейности тестового сигнала с генератора эталонного напряжения. При тестировании АЦП с высоким разрешением для формирования тестового сигнала не получится использовать ЦАП в связи с тем, что выходная разрядность ЦАП должна быть выше разрядности тестируемого АЦП. Для преодоления ограничений, вызываемых трудностью формирования тестового сигнала, возможно использования метода скользящей гистограммы [5], который является развитием гистограммного метода и позволяет преодолеть ограничения по точности образцовых средств измерений за счет прецизионных методик.

Выводы

Применение гистограммного метода для тестирования АЦП в системе сбора биометрической информации позволит повысить точность терапевтической и диагностической информации благодаря корректировке результатов измерений, а также произвести поверку АЦП.

Библиографический список

1. Абрамов А.М., Гуржин С.Г., Жулева С.Ю. и др. Принципы построения системы контроля и измерения терапевтической, диагностической и экологической информации комплекса «Мультимаг-М» — Биомедицинские технологии и радиоэлектроника, 2007, № 7. С. 10-13.
2. Быстродействующие интегральные микросхемы ЦАП и АЦП и измерение их параметров / А.-Й.К. Марцинкявичюс, Э.-А.К. Багданскис, Р.Л. Пошюнас и др.; под ред. А.-Й.К. Марцинкявичюса, Э.-А.К. Багданскиса. — М.: Радио и связь, 1988. — 224 с.
3. J. Blair. Histogram measurement of ADC nonlinearities using sine waves. — IEEE Transactions on instrumentation and measurement, vol. 43, No. 3, June 1994.
4. Кестер У.А. Аналого-цифровое преобразование. — М.: Техносфера, 2007. — 1016 с.
5. Абрамов А.М. Метод скользящей гистограммы при метрологических испытаниях цифровых измерительных модулей информационно-измерительных систем: автореф. дис... канд.тех.наук: 05.11.16 Информационно-измерительные и управляющие системы (в технических системах)/ Рязанский государственный радиотехнический университет. Рязань: РГРТУ, 2013. 19 с.

УДК 616-71; ГРНТИ 76.13.15

ПРОБЛЕМЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИСТОЧНИКОВ МЫШЕЧНОГО ПОРАЖЕНИЯ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ЭЛЕКТРОМИОГРАФИИ

О.И. Тювакова

Рязанский государственный радиотехнический университет,

Россия, Рязань, olenkat1993@mail.ru

Аннотация. В статье описана разработка портативного электромиографа. Предлагается способ решения проблемы в определении источников мышечного поражения.

Ключевые слова: электромиография, регистрация электрической активности мышцы, биопотенциал, пирамидальный тракт, нервная клетка.

PROBLEMS OF DEFINITION OF SOURCES OF MUSCULAR DEFEAT WHEN CARRYING OUT THE ELECTROMYOGRAPHY

O.I.Tuvakova

Ryazan State Radio Engineering University,

Russia, Ryazan, olenkat1993@mail.ru

Abstract. The article describes the development of a portable electromyograph. Offers matched solutions to problems in identifying the sources of muscle lesions.

Keywords: electromyography, registration of electric activity of a muscle, biocapacity, pyramidal tract, nerve cell.

Вопросы функционирования нервно-мышечной системы человека являются одной из интенсивно разрабатываемых проблем современной физиологии. Мышечная система человека включает в себя три группы мышц:

1. Скелетные мышцы (они же поперечнополосатые или произвольные);
2. Гладкие мышцы стенок сосудов или внутренних органов;
3. Сердечная мышца.

Опорно-двигательный аппарат человека состоит из костей скелета с суставами, связок и мышц с сухожилиями. Кости и суставы участвуют в движении человека пассивно, подчиняясь действию мышц, являющихся активной частью двигательного аппарата. Всего в теле человека около 600 скелетных мышц: мышцы головы, туловища и конечностей, поражение которых приводит к серьезным последствиям.

Заболевания, связанные с поражением мышечной системы человека, на сегодняшний день сильно распространены. Чтобы поставить точный диагноз, а именно характер болезни мышц, пациенту необходимо сделать определенное обследование, на основе которого врач назначит необходимое лечение. Для определения места, степени и распространенности мышечного поражения используют электромиографию (ЭМГ) – это диагностический метод, с помощью которого специалисты оценивают функциональное состояние скелетных мышц и окончаний периферических нервов. Она относится к наиболее широко используемым методам диагностики функционального состояния человека в оздоровительных, медицинских учреждениях, что является актуальной задачей на сегодняшний день [1].

Предлагается создать миниатюрный портативный четырехканальный электромиограф-электростимулятор, обеспечивающий регистрацию биосигналов мышц накожно и при игольчатом отведении и последующей обработки электромиограмм на ПК с целью определения их амплитудно-временных характеристик, а также позволяющий правильно выбрать мышцы - мишени для инъекции препаратов ботулотоксина (ботокс, лантокс, ксеомин), местных анальгезирующих анестетиков (при проведении мышечных блокад) и противовоспалительных медикаментов, что существенно повысит точность и терапевтическую эффективность процедуры. Предлагаемый прибор обеспечивает все методики обследования, присущие электромиографии: интерференционная ЭМГ, локальная ЭМГ, стимуляционная ЭМГ. Может быть использован в работе неврологического и диагностического отделения для выявления патологии со стороны мышечной и нервной ткани, а также места соединения мышцы и нерва (нейромышечный синапс); для определения причины слабости, паралича или подергивания мышцы; для определения действия и правильной дозировки миорелаксантов.

В соответствии с вышесказанным обобщенная структурная схема приведена на рисунке 1.

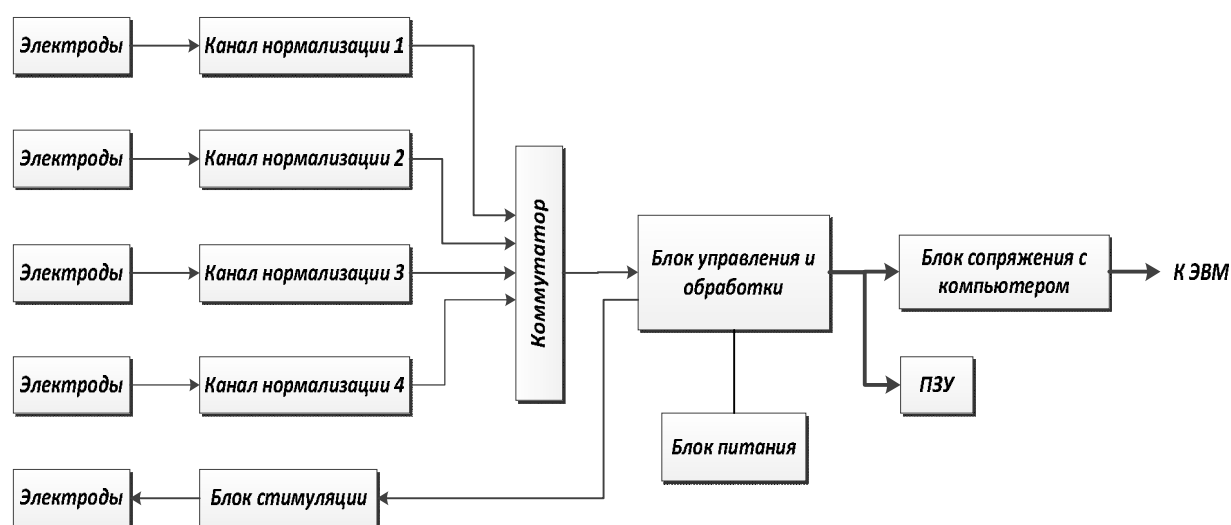


Рис. 1. Структурная схема портативного электромиографа-электростимулятора

Для снятия биопотенциалов с мышц используются накожные электроды, подключенные к соответствующему измерительному каналу. Для проведения электрического сигнала от канала стимуляции к мышечному волокну используются электроды для стимуляции.

Измерительный канал обеспечивает усиление входного сигнала до нужной величины в заданном диапазоне частот с низким уровнем шумов. Аналоговые сигналы с измерительных каналов последовательно с помощью коммутатора передаются на блок управления и обработки, где происходит преобразование их в цифровую форму и предварительная обработка информации: выделение автоматическим путём таких параметров сигнала, как частота следования импульсов, длительность сигнала. Так же вырабатываются команды, с помощью которых блок стимуляции формирует стимулирующие импульсы, передающиеся в дальнейшем на накожные электроды для стимуляции.

Зарегистрированные данные могут либо в реальном масштабе времени передаваться непосредственно через блок сопряжения на ЭВМ, либо передаваться на съемный носитель, который при необходимости можно подключить к удаленному компьютеру (например, USB-флеш-накопитель). Конструктивно прибор выполнен в виде переносной конструкции небольших размеров. Предлагаемый прибор существенно облегчает работу врача как при диагностике пациента, так и при определении действия и правильной дозировки миорелаксантов.

Как известно не всегда полученные результаты после проведения электромиографии помогут лечащему врачу определить источники мышечного поражения, т.е. понять из-за че-

го возникла болезнь, с чем она связана. Зачастую источником недомогания мышцы оказывается центральная нервная система: головной или спинной мозг. И поэтому оперативное лечение потребуется именно в этой области.

Мышца начинает свое сокращение только при поступлении к ней сигналов от центральной нервной системы (ЦНС), которая представлена головным и спинным мозгом. Для изучения функциональной активности коры большого мозга и ее взаимоотношений с подкорковыми структурами используется метод регистрации биотоков мозга – электроэнцефалография (ЭЭГ). ЭЭГ – это диагностический метод, с помощью которого специалисты исследуют активность головного мозга путем записи электрических импульсов, исходящих из различных его областей. Двигательные сигналы, поступающие на мышечное волокно (на миофибриллы - фундаментальные сократительные структуры, имеющие свойство стягиваться под действием импульса), непосредственно передаются от коры большого мозга (а именно от нервной клетки Беца) к спинному (к α -Мотонейрону переднего рога серого вещества спинного мозга) через пирамидный тракт и опосредованно – через множество вспомогательных путей, которые в свою очередь вовлекают мозжечок и разные ядра ствола мозга. Пирамидальный путь человека состоит из двух пучков нервных волокон:

- корково-спинномозгового пути, который идет от коры к спинному мозгу;
- корково-ядерного пути, который идет от коры к двигательным ядрам черепных нервов.

Пучки волокон корково-спинномозгового тракта, постепенно истончаясь, заканчиваются на альфа-мотонейронах передних рогов спинного мозга всех сегментов, которым они передают двигательные импульсы. Аксоны периферических мотонейронов передних рогов сначала выходят в составе передних корешков спинного мозга, далее - в составе нервных сплетений и периферических нервов направляются уже к скелетным мышцам [2]. Такой путь длинный и сложный, но при этом осуществляется за 0,5 секунды. Человек может поддерживать длительное сокращение скелетной мышцы только при постоянных импульсах, исходящих от нервной системы.

Мышцы, находящиеся в туловище, в большей степени получают одностороннюю корковую двигательную иннервацию из противоположного полушария головного мозга. Следовательно, при одностороннем поражении пирамидального пути исчезают движения с противоположной стороны именно в мышцах конечностей, но функция большинства мышц, иннервируемых черепными нервами (мышцы шеи, туловища и промежности) при этом не нарушаются. При поражении клетки Беца, которая находится в пятом слое коры головного мозга, или ее аксона происходит растормаживание мотонейрона, который находится в спинном мозге. Клетка Беца при этом начинает посылать избыточное количество нервных импульсов к мышцам. Происходит повышение мышечного тонуса, в следствии чего повышаются рефлексy и возникает дрожание. При отклонении мышечного тонуса от нормы происходит изменение мышечного сокращения. Установлено, что при снижении тонуса снижается амплитуда волны мышечного сокращения, а при подъеме – наоборот, повышается. При поражении пирамидального пути мышцы могут вообще не получать иннервацию от коры. В таком случае произвольные движения в этих мышцах становятся невозможными, они перестают сокращаться, возникает паралич [3].

Предлагается изучить состояние пирамидального тракта на основе сравнения сигналов ЭЭГ и ЭМГ. Для условного изображения такого взаимодействия составим модель «черного ящика», которая показана на рисунке 2.

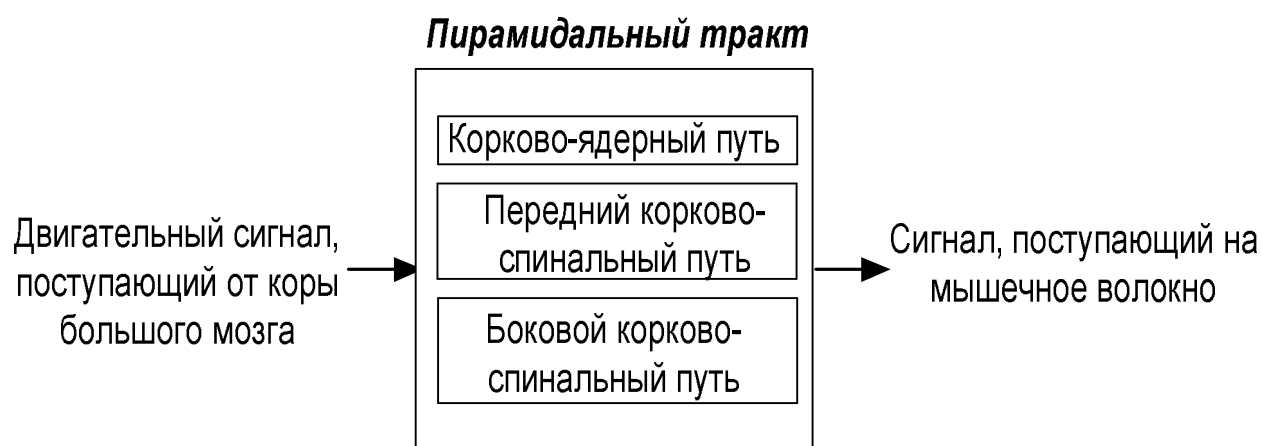


Рис. 2. Модель «черного ящика» взаимодействия сигналов

Программа произвольных сокращений формируется в структурах мозга, а команды поступают к мышцам по пирамидному пути (корково-спинномозговые, корково-ядерные, коркворетикулярные и другие нервные волокна). Задача стоит в определении передаточной функции, по виду которой можно определить патологию прохождения сигнала по пирамидальному пути.

Библиографический список

1. Одинак М.М., Живолупов С.А. Руководство для врачей "Заболевания и травмы периферической нервной системы (обобщение клинического и экспериментального опыта)" - Санкт-Петербург, изд. "СпецЛит", 2009. - 568 с.
2. Рангайян Р.М. Анализ биомедицинских сигналов. Практический подход/пер. с англ.; под ред. А.П. Немирко. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. - 440с.
3. А. А. Скоромец, А. П. Скоромец, Т. А. Скоромец. Топическая диагностика заболеваний нервной системы - СПб.: Политехника, 2007. - 399с.

УДК 658.562.3; ГРНТИ 59.13.21

МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВА ПРИБОРА ОПРЕДЕЛЕНИЯ НОМЕРА КАССЕТЫ, ПОСТРОЕННОГО НА ДАТЧИКАХ ХОЛЛА

Д.С. Борисова

*Рязанский государственный радиотехнический университет,
Россия, г. Рязань, borisova.d.s@yandex.ru*

Аннотация. В данной работе рассматривается необходимость и алгоритм метрологического обеспечения прибора определения номера кассеты. Дан метод проверки корректной работы устройства, а также обоснование выбора типа испытания и описан порядок его проведения.

Ключевые слова: прибор определения номера кассеты, датчики холла, магнитный контроль, испытание на стойкость к ударам.

METROLOGICAL SUPPORT PRODUCTION OF DEVICE FOR DETERMINING THE CASSETTE NUMBER BUILT ON THE HALL SENSORS

D.S. Borisova

*Ryazan State Radio Engineering University,
Russia, Ryazan borisova.d.s@yandex.ru*

Abstract. In this paper considered the need for and the algorithm of metrological maintenance of the device definitely cassette numbers. Described a method for checking the correct operation of the device, as well as the rationale for the choice type test, and described order of its holding.

Keywords: device for determining the cassette number, Hall sensors, magnetic control, test for resistance to shock.

Прибор определения номера кассет (ПОНК-1) предназначен для:

- определения и индикации номера кассеты с банкнотами;
- определения положения и полярности кодирующих магнитов в идентификационной метке кассеты.

Устройство построено на базе микроконтроллера MSP430F112 и имеет 4 датчика Холла TLE4945L, питается постоянным напряжением 9 Вольт. В качестве элемента питания используется батарея или аккумулятор типа «Крона». Система имеет следующие габаритные размеры: 136х68х43 мм, вес: 150 гр. Конструкция представлена на рисунке 1.

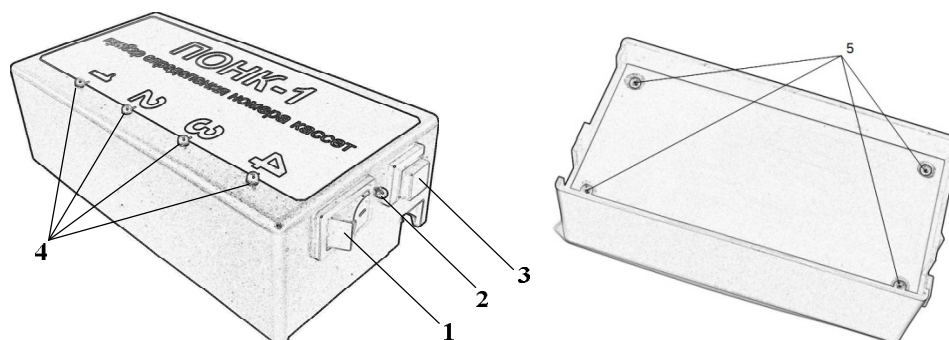


Рис. 1. Общий вид прибора

- 1 – выключатель «Питание», 2 – светодиод «Работа», 3 – кнопка «Режим»,
4 – индикаторные светодиоды, 5 – шурупы крепления основания

Для контроля правильности работы устройства и его ПО, был разработан специальный прибор для магнитного контроля. Он представляет собой набор, состоящий из 10 контрольных меток. На рисунке 2 (а), (б) представлен процесс проведения контроля с помощью меток. К устройству подносят планку, на обратной стороне которой расположены постоянные магниты. Оператор сверяет светодиодную индикацию с фактическим наличием магнита, а также правильность определения прибором номера кассеты путем поднесения заранее известной метки, составленной из магнитов. Все метки имеют различную идентификацию, состоящую из комбинации, составленной из постоянных магнитов. Каждая из комбинаций определяет заранее известный номер кассеты. Оператор в ходе контроля случайным образом выбирает 2 метки и проверяет правильность отображения их устройством. Также были созданы 2 несуществующие метки, т.е. метки, комбинация которых не используется для идентификации номера кассет. При попытке считать такую метку устройство сможет показать только наличие магнитов в ней, но считать номер кассеты не удастся. Использование двух правильных и двух несуществующих меток при проведении контроля будет достаточным, т.к. с высокой долей вероятности будут задействованы все датчики Холла, и если отобразились данные контрольные метки, то и отобразятся остальные.

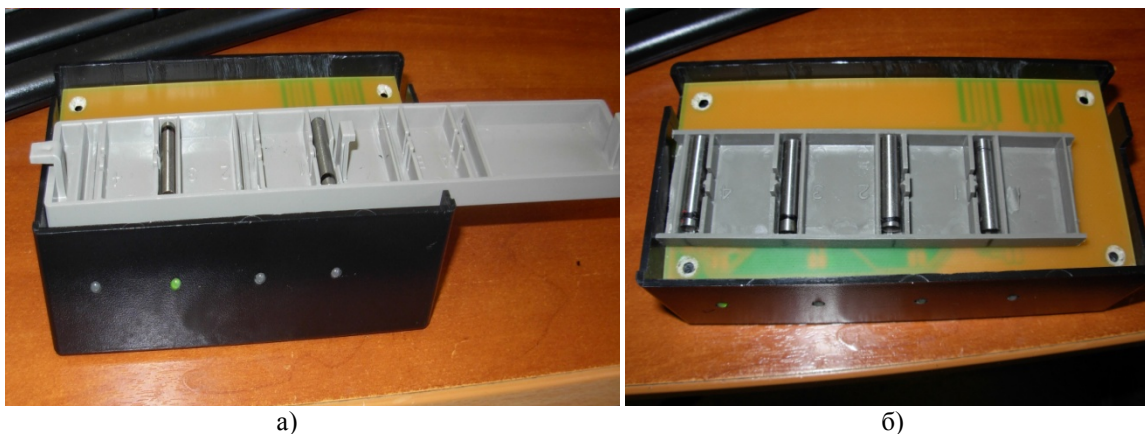


Рис. 2. Проведение контроля с помощью магнитных меток

Так как прибор является переносным, а не стационарным, целесообразно провести его последовательные испытания на стойкость к ударам. Испытания будут проводиться в соответствии с требованиями ГОСТ Р 51371-99 «Методы испытаний на стойкость к механическим внешним воздействующим факторам машин, приборов и других технических изделий. Испытания на воздействие ударов»

В конкретном случае испытания будут проводиться по методу 105-1 «Испытание на устойчивость при воздействии механических ударов многократного действия (испытание на ударную устойчивость)», так как он наиболее полно отвечает цели проведения испытаний.

Цели испытания - проверить способность изделий выполнять функции и сохранять значения параметров в пределах, указанных в стандартах и ТУ на изделия и ПИ, в условиях воздействия механических ударов многократного действия с заданными параметрами.

Испытание включает в себя ряд операций, проводимых последовательно:

- начальная стабилизация - воздействие на изделие определенными внешними условиями в целях полного или частичного устранения обратимых изменений, которые могли произойти с изделием в результате воздействия внешних факторов, имевших место до испытания (если требуется);

- выдержка;

- конечная стабилизация - воздействие на изделие определенными внешними условиями в целях устранения обратимых изменений, возникших в результате выдержки, или в целях стабилизации его свойств для обеспечения однозначности измерений (если требуется);

- заключительные проверки и заключительные измерения (если требуются).

Стенд должен обеспечивать получение в контрольной точке ударов, параметры которых установлены соответствующими техническими требованиями на изделия. Для испытаний на воздействие ударных нагрузок применяется либо ударный стенд, либо электродинамический вибрационный стенд, в зависимости от требуемых нагрузок. Ударные нагрузки характеризуются длительностью ударного импульса и пиковым ударным ускорением. Данный вид испытаний проводится на ударном стенде ТЕКО УС 5000. Технические характеристики ударного стенда ТЕКО УС 5000:

- максимальное ускорение 3500g;
- длительность импульса 0,1 – 30 мс;
- максимальный вес образца 3 кг;
- форма импульса ударного ускорения – гаверсинус.

Прибор закрепляется на испытательном стенде по аналогии с тем положением, в котором он находится во время транспортировки, а именно – жестко, прочно фиксируя прибор в одном положении.

Затем проводят визуальный осмотр прибора и измерения его параметров по методике, описанной в разделе 3.3. Считается, что в начале испытаний электрическая цепь не оборвана и контактное сопротивление стабильно. Начальная стабилизация не проводится, так как в ней нет необходимости.

Затем проводят испытания путем воздействия механических ударов многократного действия. Форма импульса ударного ускорения - полусинусоидальная. Значение пикового ударного ускорения $70 \text{ м} \cdot \text{с}^{-2}$ (7g), что соответствует 2-ой степени жесткости. Испытание проводят путем воздействия ударов поочередно в каждом из трех взаимно перпендикулярных направлений по отношению к изделию. Изделие подвергают воздействию 20 ударов при каждом направлении воздействия, при этом частота следования ударов должна быть такой, чтобы был возможен контроль проверяемых параметров изделия. Контроль параметров изделия проводят после каждой серии ударов (20 ударов). Для проверки ударной устойчивости рекомендуется выбирать параметры, по изменению которых можно судить об ударной устойчивости изделия в целом. В данном случае это искажение выходного сигнала или изменение его значения, целостность электрической цепи, нестабильность контактного сопротивления и т.д.

Оценивают результаты испытаний путем проведения контроля работоспособности устройства. В случае, если прибор неработоспособен или работает некорректно, выдавая ошибочные сигналы при установке правильных меток, необходимо разобрать корпус и проверить электрическую цепь изделия на целостность и стабильность контактного сопротивления. Проверку проводят с помощью мультиметра и пирометра. Если обнаруживается неисправность, то прибор не отвечает нужной степени надежности. Необходимо проанализировать все этапы технологического процесса на наличие ошибки или доработать технологический процесс, повысив надежность устройства.

Библиографический список

1. ГОСТ Р 51371-99 «Методы испытаний на стойкость к механическим внешним воздействующим факторам машин, приборов и других технических изделий. Испытания на воздействие ударов».

УДК 551.501.75; ГРНТИ 90.03.03

ОСОБЕННОСТИ ПОДГОТОВКИ ДАННЫХ ДЛЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ РАДИОЛОКАЦИИ ПРОФИЛЯ ВЕТРА

В.М. Калмыков*, Д.В. Ермилов*, С.И. Соловьев, Д.Б. Белов****

** АО Центральное конструкторское бюро аппаратостроения,
Россия, Тула, rts6@cdbae.ru*

*** Тульский государственный университет,
Россия, Тула, sergei59bk.ru, imselov@mail.ru*

Аннотация. Рассматривается методика подготовки экспериментальных данных сравнительных испытаний двух измерительных установок для проверки в векторной форме гипотезы о воспроизводимости результатов их измерений.

Ключевые слова: скорость ветра, направление ветра, радиолокация, измерительная система, сравнительные испытания, воспроизводимость результатов, векторный анализ

FEATURES OF PREPARATION OF DATA FOR MEASURING SYSTEM OF THE RADAR-LOCATION OF THE PROFILE OF WIND

V.M. Kalmykov *, D.V. Ermilov *, S.I. Solovyev **, D.B. Belov **

** Central design bureau of apparatus engineering,
Russia, Tula, rts6@cdbae.ru*

*** Tula State University,
Russia, Tula, imselov@mail.ru, sergei59bk.ru*

Abstract. The technique of preparation of experimental data of comparative tests of two measuring installations for check in a vector form of a hypothesis of reproducibility of results of their measurements is considered.

Keywords: wind speed, direction of wind, radar-location, measuring system, comparative tests, reproducibility of results, vector analysis.

В настоящее время ведется активная работа по внедрению беззондовой измерительной системы радиолокации профиля ветра (РПВ), которая позволяет определить скорость и направление ветра на высотах от 50 до 3000 м и более. Она использует для измерения принцип радиолокации естественных метеопреобразований (взвешенных частиц, осадков в виде дождя или снега, облаков), поскольку направление и скорость их движения практически идентичны соответствующим параметрам движения воздуха, который их увлекает своим потоком. Достоинствами данной измерительной системы являются автономность, малое время подготовки к работе, а также обеспечение требуемой зоны (места) измерения параметров ветра.

Создание такой системы (метеокомплекса) потребовало изучения и установления ее точностных характеристик. При отсутствии эталонных средств измерений и возможности создания эталонных потоков воздуха на большой высоте эта задача свелась к поиску статистических методов, позволяющих обоснованно оценить точность проводимых измерений па-

раметров ветра. Для этого проводятся предварительные исследования точностных характеристик метеоконкомплекса, которые заключаются в следующем.

В одном и том же месте (полигон), в одно и то же время проводились синхронные измерения параметров (скорости и направления) ветра с помощью опытного образца метеоконкомплекса и каких-либо других средств измерений, которые в этой ситуации играли роль образцовых. В качестве таковых использовались:

1. Метеомачта с установленными на ней датчиками скорости и направления ветра, которые прошли процедуру аттестации и поверки;
2. Измерительная установка, основанная на запуске шаров-пилотов, которые передают информацию о параметрах ветра на землю. На земле эти данные преобразуются с помощью специальных средств измерений, обрабатываются и приводятся к стандартному виду, удобному для применения на практике.

Каждая установка, использующаяся в качестве образцового средства измерений, имеет свои достоинства и недостатки и свою область применения. Так метеомачты способны измерять параметры ветра только на высотах от 50 до 300 метров, а шаропилотные установки на высоте от 400 до 2400 и более метров.

Следует отметить, что использующиеся на метеомачтах датчики скорости и направления ветра прошли все метрологически необходимые процедуры аттестации и поверки, а шаропилотные нет в силу невозможности проведения этих процедур применительно к таким установкам. Тем не менее, они широко применяются на практике в различных областях народного хозяйства и зарекомендовали себя как вполне работоспособные устройства.

Далее производится сравнение результатов измерений параметров ветра, полученных испытуемым метеоконкомплексом с той или иной установкой, принимаемой за образцовое средство измерений.

Сравнение результатов базируется на проверке гипотезы о воспроизводимости результатов измерения параметров ветра образцовой установкой и испытуемой измерительной системой РПВ [1].

Для решения поставленной задачи результаты проведенных испытаний проверяются воспроизводимость по методике, регламентированной в действующем стандарте [2], отдельно по скорости и направлению ветра. Статистическая проверка гипотезы о воспроизводимости результатов позволяет сделать вывод о том, что измерению подвергается один и тот же объект, т.е. параметры ветра, измеряемые обоими средствами измерений являются одними и теми же, а некоторое их количественное расхождение обусловлено наличием случайных погрешностей в результатах испытаний.

Анализ традиционно применяемых методик обработки результатов измерений параметров ветра позволил выявить следующую их особенность — они рассматривались как независимые друг от друга скалярные величины, хотя по физической сути эти величины являются векторными и в отрыве друг от друга рассматриваться не могут. Для реализации данного подхода к трактовке параметров ветра, который далее будем называть векторным подходом, а предлагаемые методики векторными, необходимо использовать проекции скорости ветра на оси X и Y , которые можно рассчитать по формулам:

$$X_{Vi} = V_i \times \sin \alpha_i$$

$$Y_{Vi} = V_i \times \cos \alpha_i$$

где X_{Vi} и Y_{Vi} — проекции вектора скорости ветра на оси X и Y в i -м измерении соответственно; V_i и α_i — модуль и угол направления вектора скорости ветра в i -м измерении соответственно.

Проверка гипотезы о воспроизводимости этих результатов осуществляется применительно к проекциям векторов скорости ветра на каждую из осей координат. Рассматриваемая гипотеза принимается в целом, если она оказывается правдивой для проекций на обе оси одновременно.

Среднее арифметическое значение $\bar{V}$ вектора скорости ветра, как результата многократного измерения, можно рассчитать следующим образом. Сначала определяем проекции среднего вектора скорости ветра на оси X и Y :

$$\bar{X}_{\bar{V}} = \sum_{i=1}^n V_i \times \sin \alpha_i ;$$

$$\bar{Y}_{\bar{V}} = \sum_{i=1}^n V_i \times \cos \alpha_i .$$

Если необходимо рассчитать модуль $\bar{V}$ и направление $\bar{\alpha}$ (угол к оси Y) среднего вектора скорости, то следует использовать формулы:

$$\bar{V} = \sqrt{\bar{X}_{\bar{V}}^2 + \bar{Y}_{\bar{V}}^2} ;$$

$$\bar{\alpha} = \arctg \frac{X_{\bar{V}}}{Y_{\bar{V}}} .$$

Однако построить доверительный интервал и представить результат измерения в принятой форме для этих величин не удастся, поскольку они не являются независимыми друг от друга величинами (они синхронно изменяются с изменением проекций $\bar{X}_{\bar{V}}$ и $\bar{Y}_{\bar{V}}$ среднего вектора скорости ветра на оси X и Y). Его можно построить только для указанных выше проекций:

$$\bar{X}_{\bar{V}} - t \cdot S_{\bar{X}_{\bar{V}}} \leq X_{\bar{V}} \leq \bar{X}_{\bar{V}} + t \cdot S_{\bar{X}_{\bar{V}}} ;$$

$$\bar{Y}_{\bar{V}} - t \cdot S_{\bar{Y}_{\bar{V}}} \leq Y_{\bar{V}} \leq \bar{Y}_{\bar{V}} + t \cdot S_{\bar{Y}_{\bar{V}}} .$$

где t — относительная ширина доверительного интервала значений проекций $\bar{X}_{\bar{V}}$ и $\bar{Y}_{\bar{V}}$ среднего вектора скорости ветра на оси X и Y соответственно, выбираемые по таблицам нормированного нормального распределения вероятности или распределения вероятности Стьюдента в зависимости от числа измерений; $X_{\bar{V}}$ и $Y_{\bar{V}}$ — проекции на оси X и Y результирующего вектора скорости ветра соответственно.

Изложенная методика была применена для обработки результатов сравнительных испытаний (приведены в таблице 1) установок РПВ и ВММ.

Таблица 1 - Результаты измерений скорости и направления ветра на высоте 300 м

№ пп	Установка ВММ		Метеокомплекс РПВ	
	Скорость V	Направление α	Скорость V	Направление α
1	11,7	321,72	11,14	314,23
2	10,1	318,24	9,575	324,45
3	10,5	315,72	14,7	342,78
4	9,7	326,76	13,96	342,41
5	9,8	330,66	10,42	329,78
6	9,8	330,66	9,929	327,77
7	10,2	331,74	10,92	331,77
8	13,1	340,2	10,23	341
9	6,7	335,04	8,736	334,45
10	11,2	344,16	19,01	354,37
11	13,9	345,96	14,16	343,69
12	14	358,8	15,27	352,46

В соответствии с векторным подходом данные результаты были приведены к следующему виду (таблица 2).

Таблица 2 - Подготовительные расчеты для обработки данных по векторной методике

№ пп	Установка ВММ		Метеокомплекс РПВ	
	X_{ivi}	Y_{ivi}	X_{2vi}	Y_{2vi}
1	-7,248	9,184	-7,982	7,771
2	-6,727	7,534	-5,567	7,790
3	-7,331	7,517	-4,352	14,041
4	-5,317	8,113	-4,219	13,307
5	-4,802	8,543	-5,245	9,004
6	-4,802	8,543	-5,295	8,399
7	-4,829	8,984	-5,165	9,621
8	-4,437	12,326	-3,331	9,673
9	-2,827	6,074	-3,768	7,882
10	-3,057	10,775	-1,865	18,918
11	-3,372	13,485	-3,977	13,590
12	-0,293	13,997	-2,004	15,138

По результатам таблицы 2 в соответствии со стандартом [2] была проведена проверка гипотезы о воспроизводимости результатов сравнительных испытаний. Данная проверка показала, что с принятым уровнем доверия 0,95 проверяемая гипотеза принимается, что свидетельствует о соответствии результатов измерения, полученных испытуемой установкой РПВ, результатам, полученным образцовой установкой ВММ с тем же уровнем доверия.

Библиографический список

1. Калмыков В.М., Ермилов Д.В., Соловьев С.И., Белов Д.Б. Методика оценки точности измерений параметров ветра беззондовым метеокомплексом // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. Вып. 11. Ч. 2. Тула: Изд-во ТулГУ. 2016. С. 396-401.
2. ГОСТ Р 50779.23-2005 (ИСО 3301:1975). Статистические методы. Статистическое представление данных. Сравнение двух средних в парных наблюдениях.

УДК 57.087.1; ГРНТИ 76.13.25

ИЗМЕРИТЕЛЬНО – ДИАГНОСТИЧЕСКОЕ КРЕСЛО ПАЦИЕНТА ФИЗИОТЕРАПИИ

Чан Туан Зунг

Рязанский государственный радиотехнический университет,
Россия, Рязань, dungdk4@gmail.com

Анотация. Актуальность внедрения мониторинга пациента заключается в комплексном подходе регистрации биосигналов организма пациента с помощью датчиков.

Ключевые слова: датчик пульса, датчик дыхания, фотоплетизмография, автоматическая регулировка усиления, вихретоковый метод

MEASURING - DIAGNOSTIC CHAIR PHYSIOTHERAPY

Tran Tuan Dung

Ryazan State Radio Engineering University,
Russia, Ryazan, dungdk4@gmail.com 76.13.25

Annotation. The urgency of the implementation of patient monitoring is an integrated approach of registration of biosignals of the patient by means of sensors.

Keywords: heart rate sensor, respiration sensor, photoplethysmography, automatic gain control, eddy current method.

Диагностическая система должна обеспечивать естественную подвижность пациента при выполнении им функциональных проб, тестовых профессиональных операций и других диагностических, профилактических и лечебных мероприятий и в то же время позволять врачу оперативно получать объективную картину состояния систем организма человека через различные характеристики человека как: пульс, функций дыхания и так далее.

Целью разработки является создание диагностического кресла для мониторинга основных параметров состояния здоровья человека (прежде всего сердечной и дыхательной деятельности) в условиях стационарного лечения и физиотерапевтических процедур. При этом концентрируем внимание на максимальной комфортности пациента при проведении диагностики. Для сердечной деятельности пациента в работе используется метод «фотоплетизмография» (рис. 1) [1]. Данный метод имеет ряд достоинств: высокая линейность преобразования, возможность получения достаточно больших по амплитуде полезных сигналов, низкий суммарный шум, низкое потребление энергии, низкая стоимость системы.

Датчик пульса состоит из инфракрасного светодиода (излучающий свет) и фотодиода (Фотоприемник). Инфракрасный светодиод излучает свет в инфракрасном спектре и затем ловит отражение этого инфракрасного сигнала от пальца. Свет частично поглощается кровью, мускулами, кожей, костью, поэтому с изменением объема крови изменяется интенсивность света, по этой интенсивности можно судить о работе сердца. Выходной сигнал имеет несколько составляющих, он регистрирует волны первого, второго и третьего порядка. Волны второго и третьего порядка относятся к медленным колебаниям (Свет поглощается мускулами, кожей, костью, их можно назвать постоянной составляющей). Волны 1-го порядка относятся к быстрым колебаниям и соответствует пульсу (можно называть переменной составляющей). Они отражают движение объема крови в измеряемой точке во время систолы и диастолы и могут использоваться в качестве источника информации о пульсе. В разрабатываемом средстве предполагается разместить датчик в ручке кресла.

Поскольку амплитуды сигналов отличаются у разных людей, необходимо гибко подбирать коэффициент усиления. Данный функционал реализуется с помощью блока автоматической регулировки усиления.

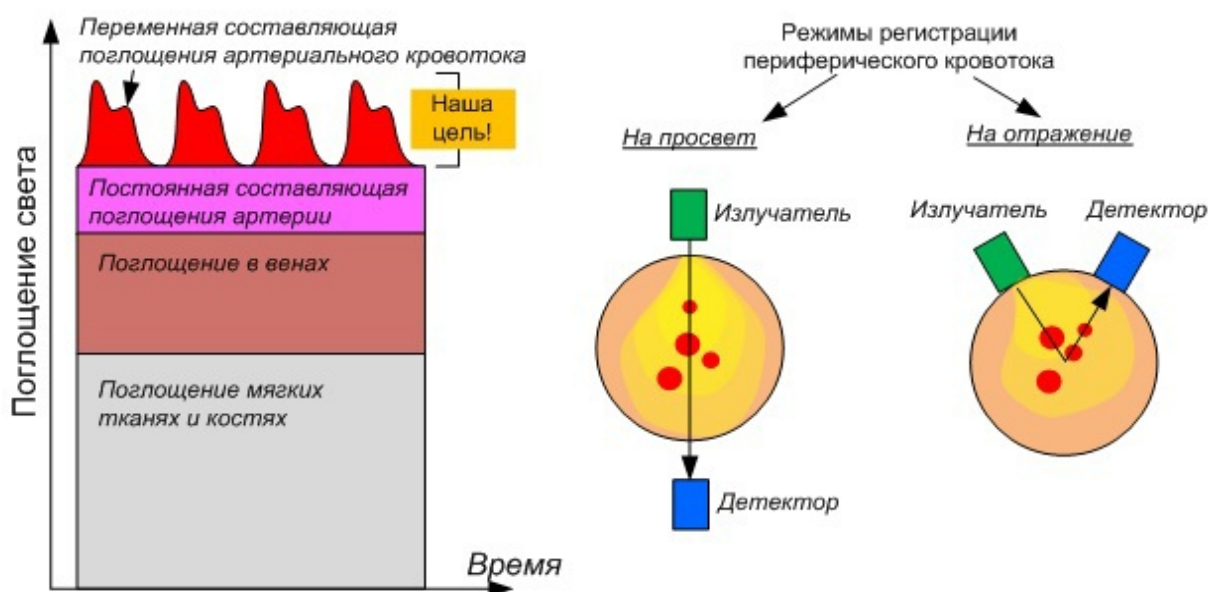


Рис. 1. Принцип фотоплетизмографии для регистрации сердечной деятельности

Для регистрации дыхательной деятельности существуют различных методы: импедансная пневмографии, вихретоковый метод, термисторный метод и так далее.

В данной работе для регистрации дыхательной деятельности пациента используется вихретоковый метод (рис. 3) [2]. Достоинством вихретокового контроля является то, что его можно проводить при отсутствии контакта между катушкой и грудной клеткой, поэтому его часто называют бесконтактным. При работе, переменный электрический ток, проходящий через катушку возбуждения, создает переменное магнитное поле B_1 .

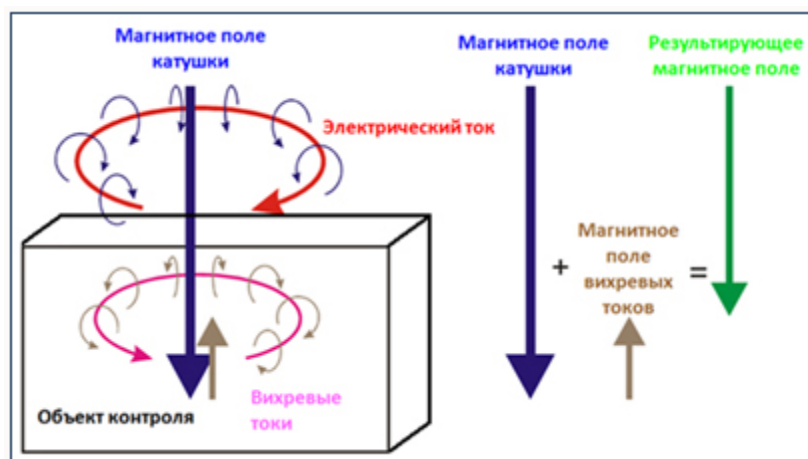


Рис. 2. Действие вихревых токов в объекте контроля

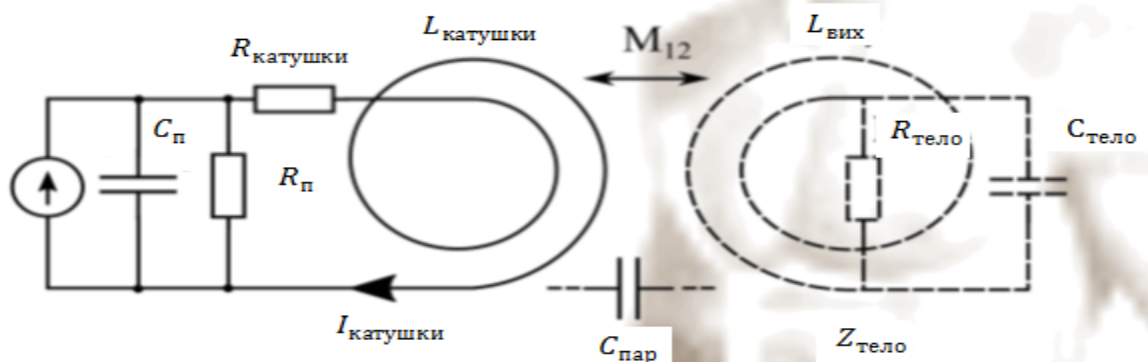


Рис. 3. Принцип вихретокового метода регистрации дыхательной деятельности

Поскольку катушка помещена в непосредственной близости от проводящего объекта контроля (грудная клетка), магнитное поле порождает в нем вихревые токи. В свою очередь и вихревые токи создают в объекте контроля и в окружающем пространстве магнитное поле B_2 , размеры и ориентация зависит от распределения грудного импеданса. Взаимодействие этих двух магнитных полей порождает изменения полного сопротивления катушки, создающей магнитное поле и эдс, наводимой в дополнительной катушке, называемой измерительной. Подобные изменения регистрируются с помощью микросхемы, которые позволяют оператору получить важную информацию о дыхании. Катушки датчика дыхания располагаются в кресле пациента физиотерапии [3].

Взаимодействие этих двух магнитных полей порождают изменения полного сопротивления катушки, которая называется отраженное сопротивление катушки. Комплекс отраженного импеданса катушки записывается :

$$Z_{\text{катушки,отр}} = R_{\text{катушки}} + j\omega L_{\text{катушки}} - \frac{\omega^3 C_{\text{тело}} M_{12}^2}{j\omega C_{\text{тело}} (R_{\text{тело}} + j\omega L_{\text{вих}}) + 1}$$

Регистрация сердечной и дыхательной деятельности пациента позволяет врачу физиотерапевту следить за состоянием пациента во время процедуре и в том числе организовать обратную связь.

Библиографический список

1. Мошкевич В.С. Фотоплетизмография (Аппаратура и методы исследования) - Медицина, 1970.

2. Клюев В.В. (Ред.) Неразрушающий контроль. Том 2. Книга 2(Вихретоковый контроль) - Машиностроение, 2003.

3. Патент № 2064777. Максимов Г.И., Сивачев А.В., Шубин Н.Т., Корчагина Г.А. Устройство для измерения параметров дыхания.

УДК 004.942; ГРНТИ 27.35.43

АКТУАЛЬНОСТЬ РАЗРАБОТКИ МОДЕЛИ ФИЗИОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ГАЗООБМЕНОМ ОРГАНИЗМА ЧЕЛОВЕКА

С.А. Мордовина, А.А. Абрамов

*Рязанский государственный радиотехнический университет,
Россия, Рязань, mordovina.s.a@yandex.ru*

Аннотация. В данной работе описан этап разработки моделей физиологических систем и обоснована актуальность разработки модели физиологической системы управления газообменом организма человека.

Ключевые слова: система управления, физиологическая система, система дыхания человека.

RELEVANCE OF THE HUMAN GAS EXCHANGE PHYSIOLOGICAL CONTROL SYSTEM MODEL DEVELOPMENT

S.A Mordovina, A.A. Abramov

*Ryazan State Radio Engineering University,
Russia, Ryazan, mordovina.s.a@yandex.ru*

Abstract. This paper describes the stage of physiological systems modelling and the relevance of the human gas exchange physiological control system model development

Keywords: control system, physiological system, human respiratory system.

1. Введение

Физиологические системы имеют сложную иерархическую структуру. Сложность присутствует на каждом уровне, включая органы, клетки и биохимические молекулы, что мешает описывать, интерпретировать или объяснять их поведение без помощи некоторых моделей. При обсуждении физиологических систем особенно полезны динамические модели, так как живые физиологические системы редко находятся в стабильном состоянии. На практике часто бывает невозможно измерить какую-либо характеристику живого объекта исследования непосредственно, и поэтому адекватная динамическая модель зачастую может помочь в процессе создания выполняемой оценки значения величины, представляющей интерес. Применение физиологических моделей в биологии и медицине включает в себя содействие пониманию происходящих процессов, проверку гипотез, разработку логически выведенных методов измерения, обучение, моделирование и экспериментальную (опытно-конструкторскую) разработку [1].

Моделирование, связанное с приложениями к области физиологии (включая моделирование дыхательной системы), имеет долгую историю. Понятие контроля (управления) дыханием возникло еще в 1900-е годы, это было признано благодаря работам, например, Krogh и Lindhard (1913), Douglas и Haldane (1909). Однако, использование теории систем формального математического управления в описании управления дыханием не начиналось примерно до 1950-х годов, до работ Gray (1946), Grodins и др. (1954), Defares (1964) [2-6].

2. Этап разработки моделей физиологических систем

Разработка моделей и моделирование физиологических систем представляет собой междисциплинарный процесс с участием ученых биомедицины, физиологов, врачей, инженеров, программистов и т.д. Динамическое поведение многих математических, биохимических и физических моделей физиологических систем было получено с помощью моделирования. Некоторые такие модели были успешно применены к разработке методов оценки параметров либо для оптимизации наборов параметров, или для оценки тех параметров, которые имеют важное значение для контроля или лечения в медицинских учреждениях.

Моделирование и имитация в технике и в физиологии, или в области наук о жизни в целом, имеют некоторые общие проблемы, так что возможно открыто применять аналогичные методы в решении проблем по этим различным дисциплинам.

Следует отметить, что моделирование физиологической системы, как правило, обратнo последовательности процесса моделирования в инженерной науке и теории систем, так как физиологическая система уже создана и оптимизирована за счет естественных процессов. Главная цель технического моделирования — системный синтез и оптимизация там, где может быть использована математическая модель, например, для выработки оптимальной стратегии управления процессом или для поддержания процесса в диапазоне нормальных условий работы. С другой стороны, моделирование и имитация физиологических систем является итеративным процессом с участием модели развития, компьютерного моделирования, а затем с неоднократной наладкой структуры модели и ее параметров для того, чтобы модель соответствовала работе реальной биологической системы. Полученная модель считается адекватной, если для предполагаемого применения модели получен уровень соответствия между результатами моделирования и данными, полученными от реальной физиологической системы для переменных, которые являются важными для этого применения.

После того как разработанная физиологическая модель установлена, должен проводиться процесс оценки точности и пригодности модели для предполагаемого применения. Процедуры зависят от принципов проверки достоверности модели, которые включают в себя следующие аспекты [7]:

- 1) эмпирическая действительность (показан адекватный уровень согласованности между моделью и соответствующими данными);
- 2) теоретическая обоснованность (модель показывает полную согласованность с общепринятыми теориями);
- 3) прагматическая действительность (модель удовлетворяет всем требованиям применения по назначению предполагаемого применения);
- 4) эвристическая действительность (модель имеет потенциал для объяснения и проверки гипотез).

Применение соответствующих методов проверки модели приводит к трем возможным результатам [8]:

- 1) наборы экспериментальных данных, используемые в оценке модели, не могут быть объяснены никакой комбинацией модельных структур и значениями параметров, которые рассматривают; модели-«кандидаты», следовательно, все сфальсифицированы, следует пересмотреть структуру модели и основные используемые предположения;
- 2) одна или несколько комбинаций структурных параметров модели и значений параметров совпадают, что считается достаточным для предполагаемого применения, но уровень неопределенности слишком высок для некоторых параметров; в этом случае модель может иметь малую прогностическую ценность и может потребоваться переработка структуры модели;
- 3) модель показывает удовлетворительное согласие с экспериментальными результатами, полученными из реальной системы и включает в себя значения параметров, которые считаются правдоподобными; в этом случае модель является приемлемой действительностью в терминах конкретных испытаний, которые могут быть использованы для предполагаемого применения до момента, когда дальнейшее доказательство покажет, что модель адекватна.

При разработке сложных физиологических моделей неизбежно, что информация, на которой основана конкретная модель, поступает из различных источников. Даже если существует тесное сотрудничество между экспериментатором-физиологом и разработчиком модели, то в практическом проекте некоторые субмодели будут разработаны на основе опубликованных результатов экспериментов, выполненных другими. В таких ситуациях доступные наборы данных ограничены, и данные должны быть тщательно проверены с тем, чтобы гарантировать, что есть некоторое разделение между данными, используемыми для оценки па-

параметров модели и других форм настройки модели и данными, используемыми в конечном итоге для тестирования модели или субмодели, чтобы оценить их пригодность для целевого применения. Попытки проверки модели с использованием данных, которые были уже использованы в целях настройки модели или параметров, как правило, приводят к ложным и чрезмерно оптимистичным выводам.

В тех случаях, когда модель была разработана и протестирована с использованием ограниченных экспериментальных наборов данных для субмодели очень важно провести тщательное тестирование общей модели и рассмотреть как можно больше ситуаций, и использовать доказательства из многих источников. Даже в случаях такого рода, когда большое количество данных взято из экспериментов, проведенных на системе, могут возникнуть серьезные проблемы с точки зрения какой-либо формы детальной внешней проверки, поскольку неизбежно отсутствует информация о значениях параметров, соответствующая каждому из предметов, используемых в экспериментальных исследованиях. Во многих случаях наиболее подходящая форма внешней проверки для сложных физиологических моделей включает в себя качественное соответствие особенностей, а не детализированные пошаговые сравнения во всей экспериментальной записи. В лучшем случае может быть возможным сравнить тенденции, или провести сравнение устойчивых уровней состояния, или рассмотреть пиковые значения и их времена возникновения, или оценить частоту и скорость затухания или роста колебательного ответа. Несмотря на то, что применение некоторых методов валидации модели, которые полезны в инженерном приложении, могут быть неуместными в физиологии, общие принципы проверки достоверности модели аналогичны во всех областях применения независимо от уровня неопределенности в структуре модели и параметрах. Моделирование всегда является итеративным процессом из повторяющихся шагов, которые включают разработку модели, настройку и оценку параметров, повторное тестирование. Подробности всех этих итерационных шагов зависят от характера применения и цели, для которой разрабатывается модель.

3. Актуальность моделирования системы дыхания человека

Для описания поведения дыхательной системы были разработано множество моделей. Некоторые из них предназначены для общих целей описания всех функциональных возможностей дыхательной системы, но большинство предназначены для описания конкретной функции в пределах системы дыхания. Например, Barstow и Mole разработали модель, состоящую из компартмента мышц и компартмента легких, где кислородный обмен между ними обеспечивается артериальным и венозным кровообращением [9]. Данная модель продемонстрировала влияние кровообращения на кинетику легочного поглощения кислорода.

Принято считать, работа Grodins и др. является первой, направленной на проектирование общей модели дыхательной системы управления [10].

Система дыхания и протекающие в ней процессы массопереноса газов является важнейшей для организма человека и животных функциональной системой. Исследование этих процессов позволяет давать оценки физического состояния и работоспособности человека в процессе труда, при занятиях физической культурой и спортом, в высокогорной и космической физиологии, для клинической диагностики. Однако до сих пор недостаточно изучены механизмы функциональной самоорганизации системы дыхания, вклад систем внешнего дыхания и кровообращения в этот процесс, роль гипоксического и гиперкапнического стимулов регуляции, их совместного воздействия и многие другие важные вопросы. Невозможность осуществления таких исследований была связана с трудностями экспериментального определения ряда важнейших параметров и с отсутствием адекватных математических моделей динамики этих процессов. Поэтому актуальным является исследование основных направлений развития моделирования системы дыхания и выбор оптимальных моделей.

Многообразие теоретических проблем физиологии дыхания, значительное количество накопленного за последние десятилетия фактического материала потребовало использования методов системного анализа, позволяющих вскрыть связи между изменениями в окружающей и внутренней среде, отдельными компонентами, управляющими воздействиями и пара-

метрами процесса. Такой подход привел к разработке большого количества математических моделей как отдельных подсистем системы дыхания, так и совместного их функционирования как единого целого. Моделирование управления системой дыхания помогает глубже понять законы и механизмы движения газов на отдельных участках пути в организме.

Наряду с традиционными для биологии и медицины подходами использование достижений математических наук и вычислительной техники создает новые возможности для исследования свойств и функций физиологических объектов. Математические модели становятся новым эффективным инструментом научно-теоретических исследований явлений живого организма. Опыт отечественного и зарубежного моделирования дыхательной системы человека показывает, что описание основных закономерностей процесса массопереноса респираторных газов в организме является определяющим этапом модельных разработок, оказывающим влияние на весь ход дальнейших исследований. Действительно, от выбора структуры модели, глубины понимания механизмов процесса переноса газов в организме, логики функциональных связей в системе, масштабности ограничений зависит не только форма представления математической модели, но и, в конечном счете, ее научно-техническая и практическая значимость [11].

Выводы

Моделирование и имитация являются важными средствами тестирования и проверки новых медицинских устройств без участия живых объектов. Тестирование человека и животных является дорогостоящим и может представлять материально-технические, этические и политические проблемы. Кроме того, контроль может быть труден или невозможен для получения параметров во время эксперимента на живых субъектах. Хотя моделирование и имитация не заменяют естественных условий тестирования, это может помочь в проверке новых приборов с меньшими затратами, меньшим временем разработки и одинаковой точностью.

Виртуальные модели дыхательной системы человека позволяют за короткое время проводить трудно осуществимые на практике или дорогостоящие эксперименты, в связи с чем становятся новым эффективным инструментом теоретических исследований живого организма [12].

Библиографический список

1. Cobelli C, Carson E (2001) An Introduction to Modelling Methodology. In Modeling Methodology for Physiology and Medicine, Carson, E., Cobelli, C. (eds) pp 1-13. Academic Press: San Diego.
2. Krogh A, Lindhard J (1913) The regulation of respiration and circulation during the initial stages of muscular work. *J Physiol (Lond)*47: 112-136.
3. Douglas CG, Haldane JS (1909) The regulation of normal breathing. *J Physiol (Lond)*38: 420-440.
4. Gray JS (1946) The multiple factor theory of the control of respiratory ventilation. *Science*103: 739-744.
5. Grodins FS, Gray JS, Schroeder KR, Norins AL, Jones RW (1954) Respiratory responses to CO₂ inhalation. a theoretical study of a nonlinear biological regulator. *J Appl Physiol*7: 283-308.
6. Defares JG (1964) Principles of feedback control and their application to the respiratory control system. In *Handbook of Physiology - Respiration I*, pp 649-680.
7. Murray-Smith DJ, Carson ER (1988) The Modelling Process in Respiratory Medicine. In *The Respiratory System*, Cramp DG, Carson ER (eds) pp 296-333. CROOM HELM: London & Sydney.
8. Murray-Smith DJ (1995) Continuous system simulation. Chapman & Hall: Glasgow.
9. Barstow TJ, Mole PA (1987) Simulation of pulmonary O₂ uptake during exercise transients in humans. *J Appl Physiol*63: 2253-2261.
10. Grodins FS, Buell J, Bart AJ (1967) Mathematical analysis and digital simulation of the respiratory control system. *J Appl Physiol*22 : 260-267.
11. Бобрякова И.Л. Основные направления развития моделирования системы дыхания человека. – ПИТАННЯ ІСТОРІЇ НАУКИ І ТЕХНІКИ. – 2010. – № 2. – С. 5-11.
12. Мордовина С.А. Моделирование газового обмена в легких и тканях человека на основе принципа Фика и модифицированной формулы Старра // Труды 12-ой Международной научной конференции «Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии – ФРЭМЭ'2016»/ – Владимир-Суздаль, 2016. – Книга 1. – С. 183-186.

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ АВТОНОМНОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

А.В. Попов, В.И. Жулев

Рязанский государственный радиотехнический университет, Россия, Рязань

Аннотация. Темой работы является разработка устройства контроля и управления автономным водоснабжением.

Ключевые слова: система контроля и управления автономным водоснабжением.

THE DEVELOPMENT SYSTEM OF CONTROL AND MANAGEMENT OF AUTONOMOUS WATER SUPPLY

A.V. Popov, V.I. Zhulev

Ryazan State Radio Engineering University, Ryazan, Russia

Abstract. Theme of the final qualifying work is devices of control and management of autonomous water supply.

Keywords: system of control and management of autonomous water supply.

В докладе представлено система контроля и управления автономным водоснабжением. Автономные системы водоснабжения жилых домов устанавливают в случае отсутствия централизованной системы водоснабжения или в случае невозможности присоединения к ней.

Автономная система водоснабжения состоит из:

- водозаборного сооружения;
- водоподъемной установки;
- регулирующей емкости (гидропневмобака или безнапорного открытого бака);
- разводящих наружных трубопроводов;
- установок для очистки и (или) обеззараживания воды;
- внутренней сети.

На основании вышеизложенного, составлена функциональная схема устройства.

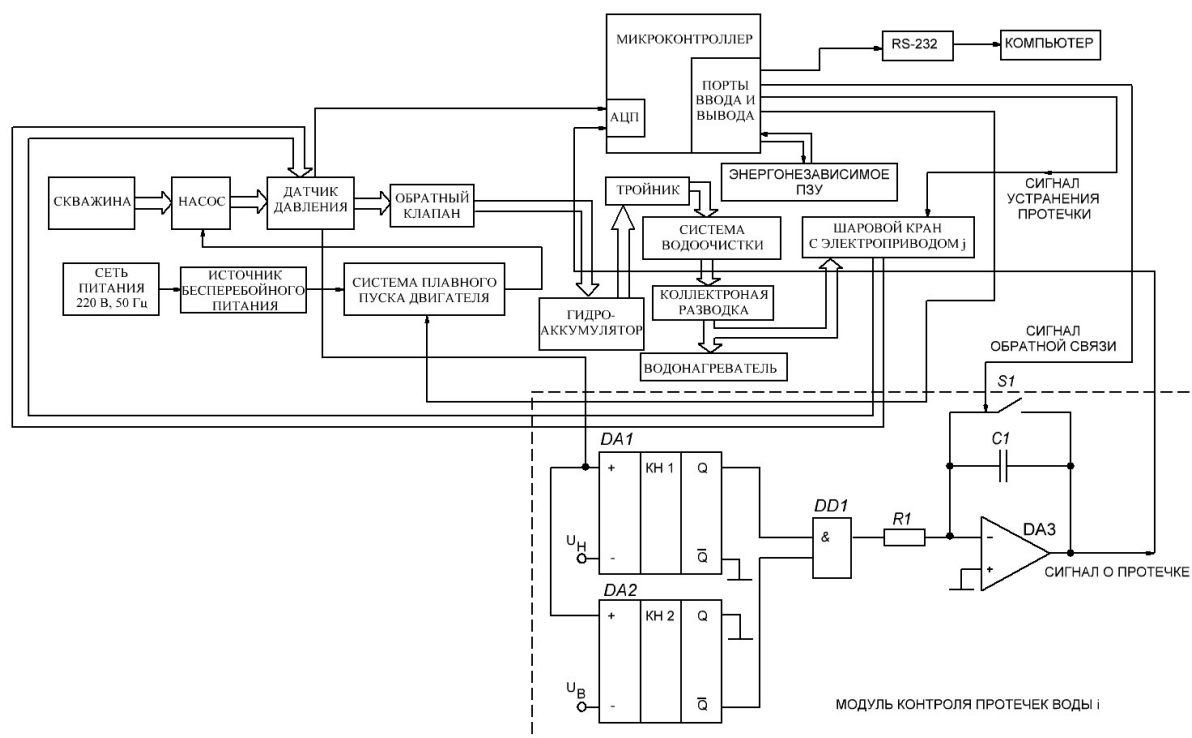


Рис. 1. Функциональная схема системы управления и контроля автономным водоснабжением

Вода поступает из скважины на насос, который обеспечивает подачу воды. На микроконтроллер поступают сигналы с датчика давления и модуля протечек воды, а управляющие

сигналы на шаровой кран с электроприводом и систему плавного пуска двигателя. При давлении низком давлении (0,15 – 0,2 МПа) микроконтроллер выдает сигнал логической единицы на систему плавного пуска двигателя, которая включает водозаборный насос. Когда давление в системе установится на номинальном уровне (0,25 – 0,35 МПа), микроконтроллер выдает сигнал логического нуля на систему плавного пуска двигателя, выключающей насос.

Вода проходит по трубам коллекторной разводки. Давление воды отслеживается при помощи датчика давления. Если давление имеет отклонение от заданного нижнего и номинального уровней, компараторы КН 1 и КН 2 фиксируют это значение и выдают сигнал логической единицы, проходящий через конъюнктор & и накапливается интегратором. Уровни отклонений давления задаются величинами напряжения U_H и U_B , данные величины формируются из напряжения питания схемы. Напряжение U_H – давление в трубе при открытом кране, а U_B – номинальное давление в системе. Интегрирование проходит в течении некоторого промежутка времени (не менее 1 часа, в зависимости от назначения линии водоснабжения), что необходимо для различия состояния не полностью открытого крана и состояния протечки, т.е., исключения ложной тревоги. Когда напряжение на интеграторе достигает определенного уровня, которое соответствует состоянию течи, микроконтроллер выдает сигнал устранения протечки, который закрывает шаровой кран с электроприводом. К микроконтроллеру подключен динамик, который сигнализирует о наличии течи в водопроводе. На панели микроконтроллера имеется кнопка, с помощью которой открывается кран.

Давление в системе автономного водоснабжения будет периодически падать из-за опорожнения гидроаккумулятора и при отсутствии воды в колодце. Поэтому необходим сигнал обратной связи, сбрасывающий интегратор, при работающем насосе или при отсутствии воды в источнике. Сброс интегратора необходим при устранении протечки и открытии шарового крана с электроприводом, т.к. заряд будет сохраняться в течении длительного времени.

Важно, чтобы датчик давления имел порог чувствительности, который необходим для фиксации небольших отклонений давления от номинального [1].

В случае отключения питающей сети, сработает источник бесперебойного питания. Энергонезависимое ПЗУ необходимо, чтобы настройки не сбивались при отключении внешней сети питания. Данные о системе водоснабжения, с помощью интерфейса, отображаются на компьютере пользователя.

В соответствии с функциональной схемой выполнено моделирование работы устройства. Моделирование выполнено с использованием языка разметки HTML, таблицы каскадных стилей CSS (и препроцессора SCSS) и web-языка программирования JavaScript. Для оптимизации работы использовался Gulp — инструмент сборки веб-приложения, позволяющий автоматизировать повторяющиеся задачи, такие как сборка и минификация CSS- и JS-файлов, запуск тестов, перезагрузка браузера и т.д. Макет системы схематично сделан в программе Adobe Illustrator и Adobe Photoshop CC.

Верстка автоматизированной системы водоснабжения представлена на рисунке 2.

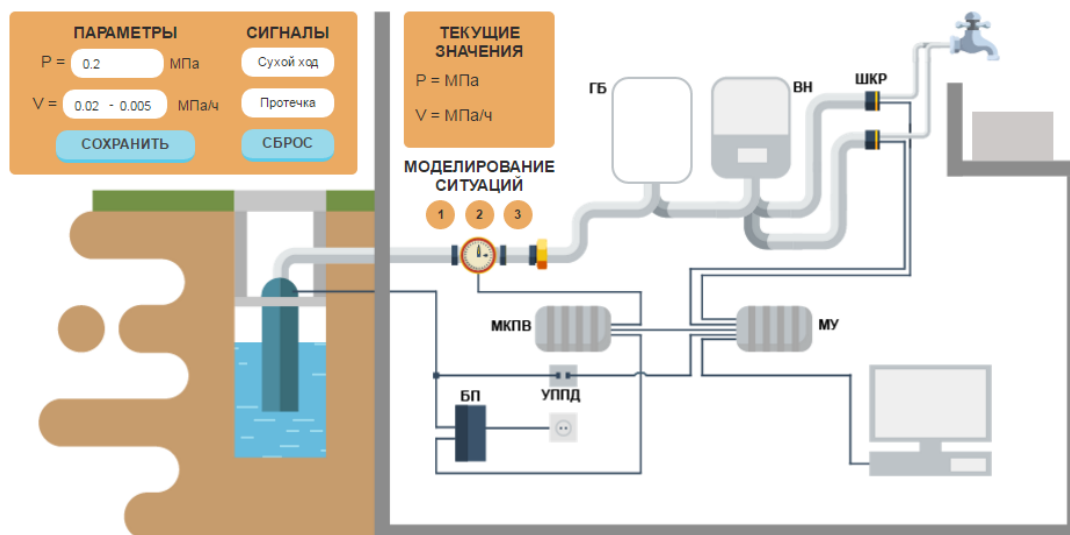


Рис. 2. Верстка автоматизированной системы водоснабжения

БП – источник бесперебойного питания, МКПВ – модуль контроля протечек воды, МУ – модуль управления, УППД – устройство плавного пуска двигателя, ГБ – гидробак, ВН – водонагреватель, ШКР – шаровой кран с электроприводом.

В системе смоделированы 3 ситуации:

- 1 – нормальный режим работы;
- 2 – работа при сухом ходе;
- 3 – работа при протечке воды.

1. Нормальный режим работы устройства

МУ постоянно измеряет уровень давления в магистральной трубе. Измеренное значение давления сравнивается с настраиваемой установкой $P_{\text{мин.}} = 0,2$ МПа. Если давление в магистральной трубе не ниже номинального, то микроконтроллер каждую минуту анализирует изменение давления в сети.

2. Режим работы устройства при сухом ходе

При падении давления в магистральной трубе ниже уровня $P_{\text{мин.}} = 0,2$ МПа микроконтроллер подает сигнал, включающий водозаборный насос. При работе насоса микроконтроллер отслеживает изменение давления в системе и в случае, если роста давления не наблюдается, принимается решение о том, что насос работает на «сухом ходу», т.е. в источнике закончилась вода.

В этом случае загорается сигнал тревоги «Сухой ход», который будет отключен при нажатии кнопки «Сброс».

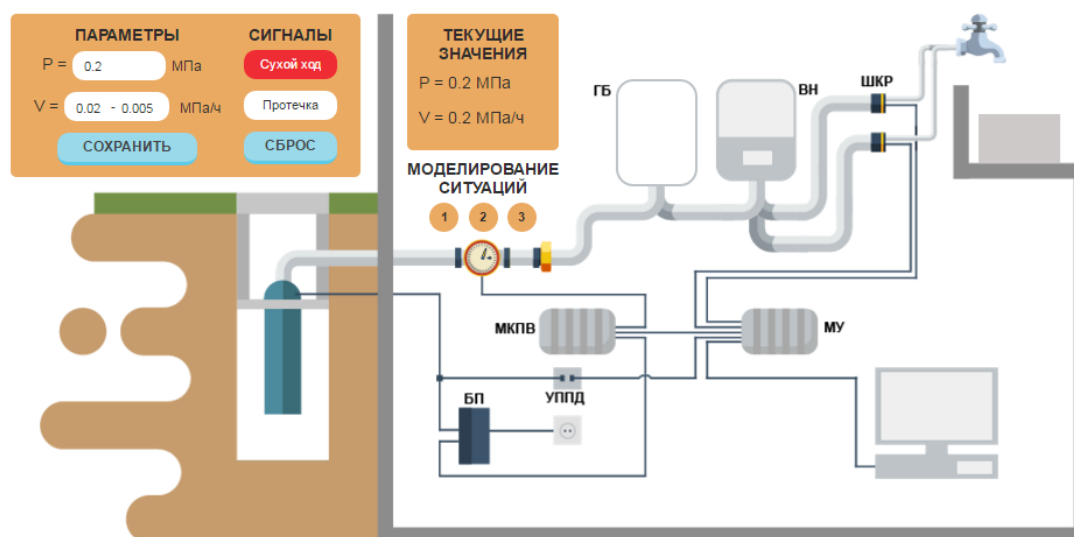


Рис. 3. Режим работы устройства при сухом ходе

3. Режим работы устройства при протечке в системе

Если скорость падения давления находится в пределах 0,02-0,005 МПа/ч, то это свидетельствует о возможной протечке водопровода и микроконтроллер выдает сигнал о закрытии ШКР, перекрывая поврежденную линию водоснабжения.

В этом случае загорается сигнал тревоги «Протечка», который отключается по нажатию кнопки «Сброс».

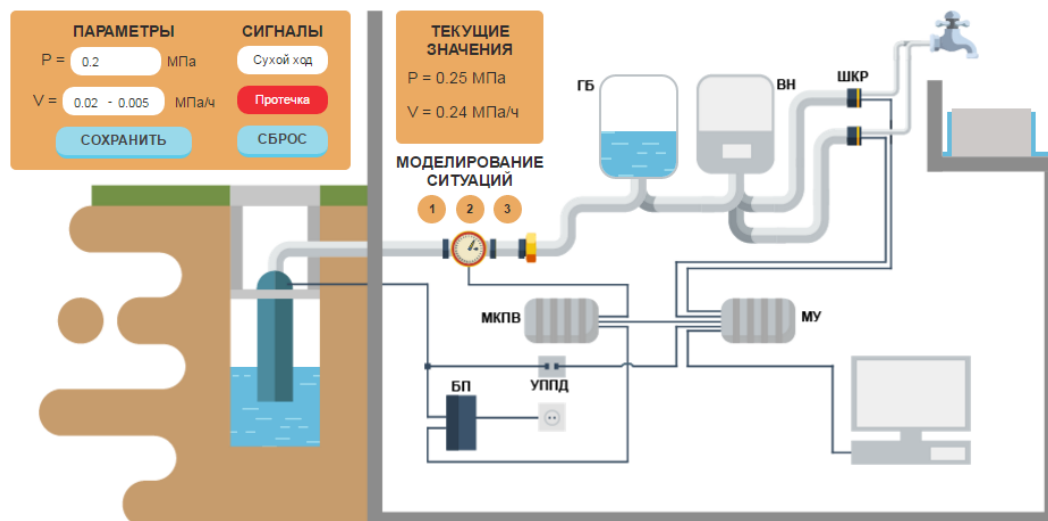


Рис. 4. Режим работы устройства при протечке в системе

Библиографический список

1. Лурье Г.И. Датчики давления для общепромышленного назначения: учеб. пособ. 2005.

УДК 629.066; ГРНТИ 59.71.33

МЕТОДЫ ПОЖАРОБЕЗОПАСНОСТИ НА КОРАБЛЯХ

Д.С. Бушуев

Рязанский государственный радиотехнический университет,
Россия, Рязань, bushuev.serzh@list.ru

Аннотация. В данной работе описан способ исполнения системы пожаробезопасности, которую можно использовать на водных судах; описаны принципы работы датчиков дыма, скорости истечения и датчиков уровня; описан способ связи между компонентами системы пожаробезопасности.

Ключевые слова: пожарная безопасность, Система пожарной безопасности

MEANS OF FIRE SAFETY ON SHIPS

D.S. Bushuev

Ryazan state radio engineering University,
Russia, Ryazan, bushuev.serzh@list.ru

Abstract. In this paper was described a method of fire protection system performance, which can be used on ships; describe the principles of working smoke detectors, decreasing the speed sensor and level sensors; It describes a method of communication between the components of fire safety systems;

Keywords: fire safety, Fire safety system.

1. Введение

Возгорание на кораблях является чрезвычайно опасным явлением. Учитывая особо опасное положение открытого водного пространства, к обеспечению безопасности нужно относиться особо тщательно.

Любой пожар необходимо предотвращать на стадии возгорания и иметь в виду, что возгорание может успеть повредить часть системы пожаробезопасности до момента своего обнаружения. Также важно следить за исправным состоянием всех компонентов системы.

Для постоянного контроля ситуации необходимо соблюдать условие, а именно постоянную диагностику всей системы: связь между компонентами (проводка, системы беспроводной связи); состояние резервуаров с тушащим веществом; исправность датчиков пожара; исправность пульта управления и диагностирующих систем. Для чего

беспроводная связь, посредством телеметрии, между компонентами системы пожаробезопасности является целесообразной.

Достоинства и целесообразность использования беспроводных средств связи заключается в вероятности возгорания или иного повреждения проводки. С одной стороны повреждение линий связи можно легко диагностировать в режиме реального времени, однако невозможность воздействовать на средства оповещения и пожаротушения определенно время, также в случаях ложных извещений пожара, неизбежно приведут к ощутимым потерям как времени так и финансов. Следует отметить, что само техническое исполнение связи с использованием каналов телеметрии чаще более трудоемкое и дорогостоящее.

Отметим, что рассматривается случай, где необходимо использовать заготовленные резервуары с пожаротушащим веществом, а не происходит закачка воды из окружающего водного пространства.

2. Принципы работы

Рассматривается к использованию схема, представленная на рисунке 1. Устройство обработки сигналов имеет двустороннюю связь с датчиками пожара и соответствующими им баками (бак подразумевает собой резервуар с возможностью диагностирования содержащихся в нем объемов веществ и устройство распыления) с пожаротушащим веществом посредством каналов телеметрии.

Принцип работы схемы:

На единицу пространства судна определяется свой датчик пожара и свой бак с пожаротушащим веществом. Датчик и бак каждый по своему каналу имеет двустороннюю беспроводную связь с модулем обработки и передачи сигналов устройства управления.

В случае возникновения возгорания датчик формирует извещение «ПОЖАР» и отправляет сигнал устройству управления посредством каналов телеметрии.

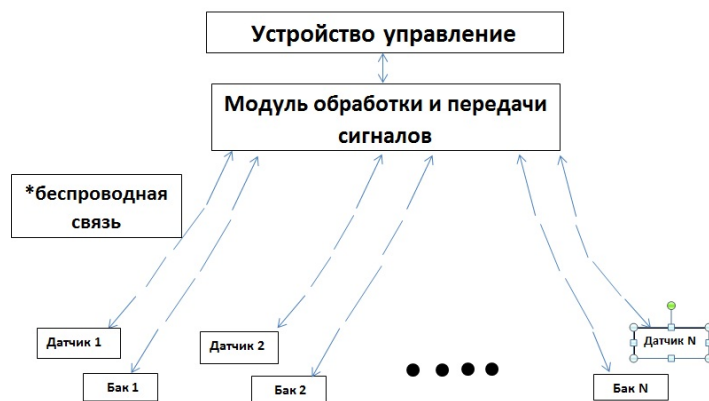


Рис. 1.

Устройство управления удаленное проводит диагностику работоспособности датчика через определенные промежутки времени. Бак в режиме «ПОЖАР» по команде с устройства управления производит распыление пожаротушащих веществ на подконтрольной ему территории. Устройство управления производит удаленную диагностику объемов, содержащихся в баке пожаротушащих веществ.

Принцип работы датчика:

В основе работы датчика лежит оптопара: светодиод, излучающий невидимый свет, и фотодиод (фотоприемник), принимающий излучение. Взаимное расположение светодиода и фотодиода рассматривается на рисунке 2. Импульсы источника излучения обеспечивают засветку чувствительной зоны оптической системы. При отсутствии дыма фотоприемник не

засвечивается источником излучения и электрические импульсы с фотоприемника отсутствуют. При наличии дыма в чувствительной зоне оптической системы излучение светодиода, отражаясь от частиц дыма, попадает на основной фотоприемник. Электрический сигнал с фотоприемника впоследствии участвует в формировании извещения «ПОЖАР».

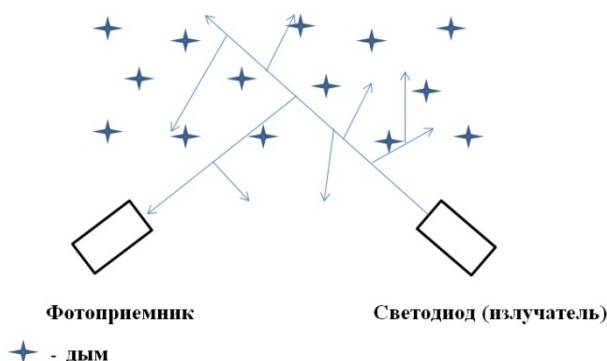


Рис. 2. Излучение светодиодом света, последующее его рассеивание в задымленной области и попадание на фоточувствительную поверхность фотоприемника

Отметим, что при тушении горящей нефти целесообразно использовать распыление обычной воды, практически в газообразном состоянии. Вода подается в распыленном виде. В этом случае вода быстро испаряется и образует пароводяной колпак, изолирующий горящую нефть от окружающего воздуха.

Принцип диагностирования наполненности резервуара с пожаротушащим средством: Рассматривается два варианта исполнения диагностики.

Первый вариант:

Использование датчика скорости истечения (ДСИ). Принцип работы ДСИ заключается в снятии показаний расхода пожаротушащего вещества на основании скорости вращения винта, установленного в трубе, через которую проходит распыление. От скорости прохождения вещества зависит скорость вращения винта. Снятие показателей скорости происходит посредством магнитов.

Второй вариант:

Использование емкостных датчиков уровней по всей внутренней поверхности резервуара с пожаротушащим веществом (рис. 3)

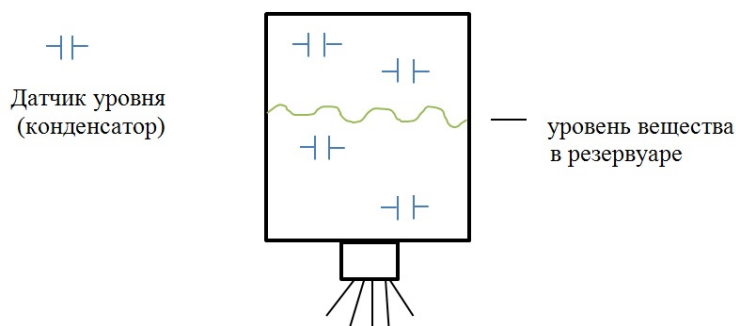


Рис. 3. Резервуар с пожаротушащим веществом. Конденсаторы расположенные по внутренней поверхности выполняют роль датчиков уровня

Выводы

Использование таких средств как оптопара в датчике дыма может стать простым и дешевым решением. Использование же таких средств как телеметрия в связи, вместо недорогой проводки, станет более дорогим и сложным в техническом исполнении проектом, но обещает быть более действенным и незаменимым в определенных ситуациях – а это осново-

полагающий фактор в таких вопросах как безопасность и выживаемость – вопросах, от которых напрямую зависит жизнь на Земле.

УДК 537, 53.08, 621.317; ГРНТИ 29.05.33

К ЗАДАЧЕ ОБ ИССЛЕДОВАНИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ УСКОРИТЕЛЕЙ МАСС

И.М. Купцов, Г.И. Железняк, Д.А. Диких

Московский физико-технический институт (государственный университет),

Российская Федерация, Московская область, Долгопрудный, kuptsov.im@phystech.edu

Аннотация. В данной работе описана реализация эксперимента по измерению параметров одного процесса взаимодействия переменных и постоянных магнитных полей при электромагнитном ускорении масс. При построении экспериментальной установки теоретически рассчитаны необходимые характеристики, на языке C++ написано приложение для обеспечения функционирования электронного хронографа на основе микроконтроллера ATmega328.

Ключевые слова: электромагнитный ускоритель масс, микроконтроллер ATmega328, программирование на C++, потери энергии

THE PROBLEM OF THE STUDY OF ELECTROMAGNETIC MASS ACCELERATORS

I.M. Kuptsov, G.I. Zheleznyak, D.A. Dikikh

Moscow Institute of Physics and Technology (State University),

Russian Federation, Moscow region, Dolgoprudny, kuptsov.im@phystech.edu

Abstract. This paper describes the implementation of the experiment on measuring a single interaction process variables and constant magnetic fields in electromagnetic acceleration of masses. When building the experimental setup theoretically calculated necessary characteristics. In the C++ language written by the application to ensure the functioning of an electronic chronograph based on the microcontroller ATmega328.

Keywords: electromagnetic accelerator of the masses, ATmega328 microcontroller, programming in C++, loss of energy

1. Введение

Электродвигатели и генераторы в электростанциях, жесткие диски для хранения информации, магнитно-резонансные томографы в медицине, колонки, микрофоны и многие другие современные электротехнические устройства имеют схожий принцип действия. Этот принцип в той или иной степени основан на взаимодействии переменных и постоянных магнитных полей, создаваемых движущимися зарядами. Изучение указанных взаимодействий и составляет предмет нашего исследования.

В основе эксперимента лежит свойство ферромагнетиков в неоднородном магнитном поле втягиваться в область более сильного поля. В работе исследуются потери энергии при электромагнитном ускорении масс.

2. Параметры и принципы работы экспериментальной установки

Экспериментальная установка (см. рис. 1) состоит из соленоида, внутри которого находится ствол из диэлектрика. В один из концов ствола вставляется снаряд (сделанный из ферромагнетика). При протекании электрического тока в соленоиде возникает магнитное поле, которое разгоняет снаряд, «втягивая» его внутрь соленоида. На концах снаряда при этом образуются полюса, ориентированные согласно полюсам катушки, из-за чего после прохода центра соленоида снаряд притягивается в обратном направлении, то есть тормозится.

Для наибольшего эффекта импульс тока в соленоиде должен быть кратковременным и мощным. Для получения такого импульса используются электролитические конденсаторы с высоким рабочим напряжением. Для зарядки конденсаторов до необходимого напряжения используется мостовая схема для выпрямления переменного напряжения.

Поскольку активное сопротивление всего колебательного контура составляет порядка 1 Ома, то пиковое значение тока на катушке превосходит 100 А. Поэтому для запуска используется тиристор, который выполняет так же и роль дополнительного сопротивления ве-

личинной 9МОм при обратном направлении тока, которое практически мгновенно гасит колебания, возникающие в контуре, что помогает уменьшить воздействие магнитного поля, противодействующее движению снаряда.

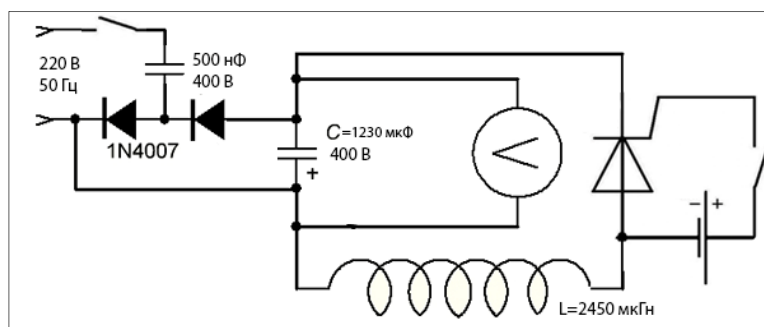


Рис. 1. Схема экспериментальной установки

Параметры катушек, снаряда и конденсаторов должны быть согласованы таким образом, чтобы при выстреле к моменту подлета снаряда к соленоиду индукция магнитного поля в соленоиде была максимальна, но при дальнейшем приближении снаряда резко падала.

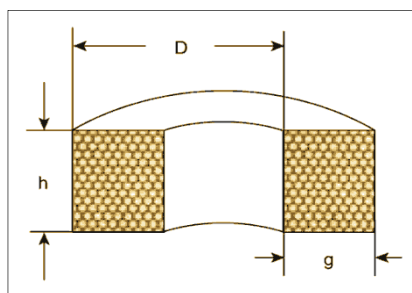


Рис. 2. Параметры соленоида

В нашем случае характеристики установки и расчетные формулы приведены ниже. Индуктивность катушки:

$$L = \frac{8 \cdot 10^{-3} \cdot D^2 \cdot N^2}{3 \cdot D + g \cdot h + 10 \cdot g} = 2450,18(\mu\text{Гн}),$$

где $D=32,2(\text{мм})$; $g=7,2(\text{мм})$; $h=42(\text{мм})$ (см. рис. 2).

Активное сопротивление катушки рассчитаем по формуле:

$$R = \frac{\rho \cdot l \cdot 4}{\pi \cdot D^2} \approx 1(\text{Ом}),$$

в которой параметры проволоки равны $l = 36(\text{м})$, $\rho = 1,7 \cdot 10^{-8}(\text{Ом/м})$, $D = 0,9(\text{мм})$.

Суммарная рабочая емкость конденсаторов: $C = 1230(\mu\text{Ф})$.

3. Измерение кинетической энергии

Нахождение скорости снаряда, а значит и кинетической энергии, можно осуществить различными способами. По нашему мнению, наиболее оптимальным является электронно-оптический метод, так как обладает наименьшим временем измерения и наибольшей точностью. Например, нахождение скорости пули с помощью баллистического маятника имеет заметную погрешность, которая вызвана неточностью измерений параметров маятника или снаряда, а также ошибками определения отклонения маятника из состояния равновесия.

Для реализации электронно-оптического метода измерения был сконструирован электронный хронограф, подключенный к ПК посредством USB-интерфейса и работающий под

его управлением. Благодаря этому стало возможно фиксировать сигналы, возникающие при быстро протекающих процессах и преобразовать их в данные, мгновенно обрабатываемые на компьютере.

Для основы электронного хронографа была использована плата Arduino Nano построенная на микроконтроллере ATmega328 (Arduino Nano 3.0). Платформа имеет 14 цифровых вход/выходов (6 из которых могут использоваться как выходы ШИМ), 8 аналоговых входов, кварцевый генератор 16 МГц, разъем USB и кнопку перезагрузки. Для работы необходимо подключить платформу к компьютеру посредством USB интерфейса. На рисунке 3 представлен общий вид платы и упрощённая принципиальная схема.

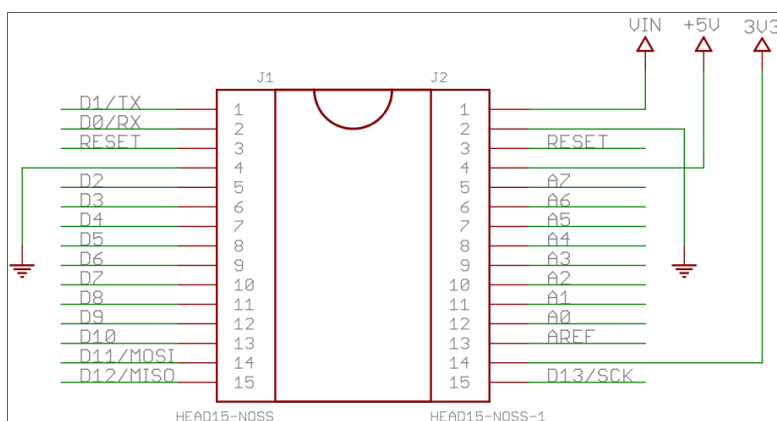


Рис. 3. Принципиальная схема платы Arduino Nano

В качестве датчиков в хронографе используются две пары фотодиод-светодиод с одинаковой рабочей длиной волны излучения в инфракрасном диапазоне (для минимизации влияния внешней среды на процесс измерений). Они расположены друг напротив друга, чем достигается замыкание цепи при попадании излучения светодиода на фотодиод, причем в этом случае через фотодиод течет обратный ток, пропорциональный падающему на него световому потоку и микроконтроллер считывает значение силы тока, отправляя соответствующее значение на ПК. Но при частичном или полном перекрытии фотодиода интенсивность тока резко падает, а в случае полного перекрытия интенсивность падает до порогового значения, обратно пропорционального темновому сопротивлению диода. Это позволяет измерять изменение интенсивности светового потока и, значит, фиксировать прохождение снаряда датчиком.

Разместив второй датчик на некотором расстоянии от первого и, измерив время между срабатываниями датчиков, становится возможным рассчитать скорость снаряда. На рисунке 4 представлена общая схема хронографа.

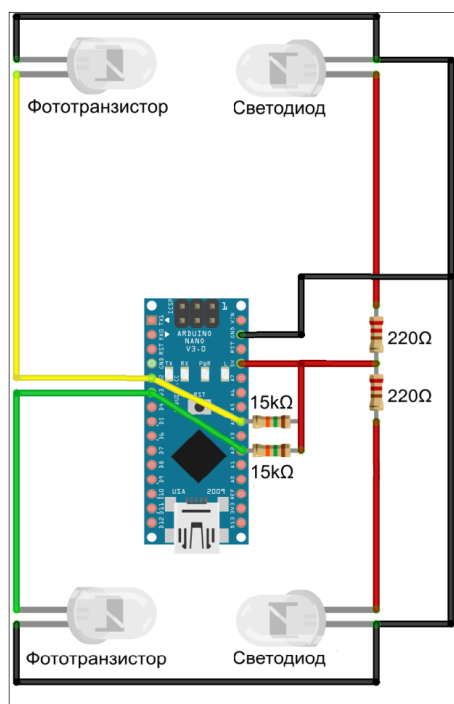


Рис. 4. Общая схема хронографа

Приложение, обеспечивающее работу данного хронографа, написано на языке программирования C++ в среде разработки Arduino. Среда разработки Arduino — это кросс-платформенное приложение на Java, включающее в себя редактор кода, компилятор и модуль передачи прошивки в плату.

Стартовое диалоговое окно написанной нами программы представлено на рисунке 5.

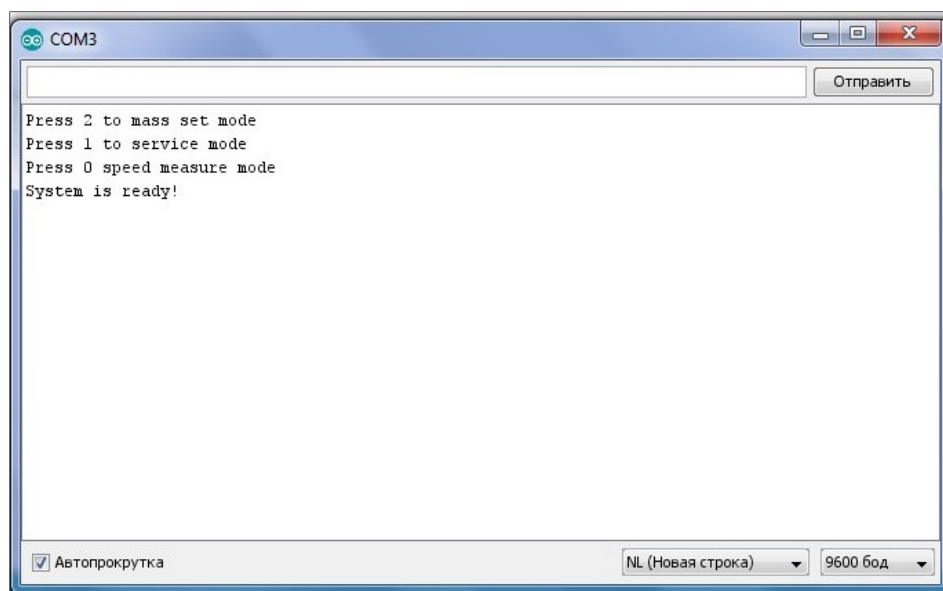


Рис. 5. Стартовое диалоговое окно приложения

Программное обеспечение работает по следующему алгоритму:

1. Задается масса снаряда и расстояние между датчиками.
2. Осуществляется запуск программы, в окне которой отображаются три режима работы. Первый режим переводит датчик в готовность измерения скорости. Второй режим позволяет следить за работой датчиков: на экран с периодичностью в 0,5 секунды выводятся данные об интенсивности светового потока, падающего на каждый из датчиков в отдельности. Этот режим необходим для отладки прибора, проверки сенсоров и нахождения опти-

мального положения датчиков в пространстве (необходимо найти максимальную возможную интенсивность света, падающего на датчики, требуемое значение колеблется в промежутке от 200 до 400, при прерывании луча значение меняется до 900). Третий режим позволяет менять массу снаряда для дальнейшего подсчета энергии.

3. Для измерения скорости выбирается первый режим, затем производится выстрел, снаряд пролетает первый датчик и перекрывает луч светодиода, что фиксируется на порте. При фиксации прохождения снаряда первым датчиком запускается секундомер. Снаряд пролетает второй датчик, данное изменение светового потока фиксируется программой. После прохождения снарядом второго датчика секундомер останавливается.

4. Предусмотрена проверка на ложные срабатывания. Если прохождение снаряда зафиксировано только одним из двух датчиков, то программа выдает ошибку.

5. Производится расчет заданных параметров. Зная массу снаряда (m), расстояние между датчиками (s) и получив данные о времени прохождении снаряда (t), рассчитывается скорость снаряда $v = s/t$ (м/с) и кинетическая энергия снаряда $E = m \cdot v^2 / 2$ (Дж).

6. Полученные результаты выводятся в окно программы (рис. 5).

В результате проведенных экспериментов выяснилось, что построенный хронограф фиксирует снаряд на скорости 100 м/с, при этом систематическая ошибка измерения не превышает 0,3 м/с. Отметим, что данная скорость не является предельной для срабатывания датчиков.

4. Вычисление потерь энергии

Найдем зависимость изменения тока в цепи от времени для дальнейшего определения КПД системы и основных потерь на активном сопротивлении. Для этого воспользуемся первым уравнением Максвелла в интегральной форме:

$$\oint_l E \cdot dl = - \frac{d}{dt} \int_s B \cdot ds.$$

И распишем циркуляцию вектора напряженности электрического поля для нашего контура, учтя, что ЭДС самоиндукции на соленоиде выражается в виде:

$$\varepsilon_{инд} = -L \frac{dI}{dt}.$$

Получим однородное дифференциальное уравнение второй степени:

$$\ddot{q} + 2 \cdot \delta \cdot \dot{q} + \omega_o^2 \cdot q = 0,$$

в котором $\omega_o = \frac{1}{\sqrt{LC}} = 576$ (рад/с) — частота собственных колебаний,

$\delta = \frac{R}{2L} = 204$ (с⁻¹) — декремент затухания.

Интегрируя данное дифференциальное уравнение, решение получаем в виде (см., например, [1-3]):

$$q(t) = A \cdot e^{-\delta \cdot t} \cdot \cos(\omega_o t + \varphi).$$

Константы A и φ находим из начальных условий $q(0) = U \cdot C$; $I(0) = \dot{q}(0) = 0$, поскольку в начальный момент времени вся энергия запасена в конденсаторе и тока в цепи нет.

Получим: $A = \frac{C \cdot U}{\cos(\varphi)} = 0,52$ (Кл); $\varphi = \arctg(-\frac{\delta}{\omega_o}) = -0,34$ (рад).

Воспользовавшись программой WolframAlfa, рассчитаем потери энергии по закону Джоуля-Ленца, которая выделяется на активном сопротивлении катушки, и на нем же произ-

ходит наибольшие потери энергии всего контура: $Q = \int_0^{T/2} J^2(t) \cdot R \cdot dt = 67,5(\text{Дж})$, где $J(t) = \dot{q}$.

Итак, предыдущие выкладки позволяют рассмотреть ЗСЭ в данной системе:

$$\frac{C \cdot U^2}{2} = Q + \frac{m \cdot v^2}{2}.$$

Изначально, вся энергия запасена в конденсаторе, через четверть периода энергия перераспределяется на излучение и кинетическую энергию снаряда. Так же не стоит забывать об индуцированных переменным магнитным полем внутри соленоида токах Фуко, циркулирующих в объеме снаряда и также выделяющих тепло. Но в условиях нашей задачи потери на токи Фуко можно пренебречь, так как характерные размеры проводника много меньше внутреннего сечения катушки.

Тогда получаем: $\eta = \frac{m \cdot v^2}{C \cdot U^2} \cdot 100\% \approx 0,4\%$, то есть КПД менее одного процента.

Выводы

Таким образом, в построенной экспериментальной установке нам удалось реализовать электронно-оптический метод измерения кинетической энергии, что позволило добиться заданной точности вычислений. Авторское приложение, написанное на языке C++ для микроконтроллера ATmega328, позволило изучать скорости более 100 м/с, что для данного эксперимента более чем достаточно. Что касается увеличения КПД системы, то оно может достигаться различными способами: от увеличения размеров снаряда и соленоида до уменьшения диаметра обмотки. Однако такие методы часто приводят к значительному уменьшению скорости снаряда. Поэтому изменение характеристик экспериментальной установки должно проводиться в соответствии с целями исследователя.

Библиографический список

1. Купцов И.М. К задаче о нахождении формы цепи, неподвижно висящей в однородном поле тяжести // Новые информационные технологии в научных исследованиях: сб. труд. всерос. конф. — Рязань: РГРТУ. — 2016. — С. 188-190.
2. Купцов М.И. Интегрирование некоторых классов дифференциальных уравнений: метод. пос. — Рязань: РИНФО, 1999. — 88 с.
3. Купцов М.И., Теняев В.В., Купцов И.М. Об одной модификации метода интегральных многообразий в системах управления // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. — 2016. — № 55. — С. 146-152.

УДК 681.518.3:616-07; ГРНТИ 76.13.15

АНАЛИЗ ЗАВИСИМОСТИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ВАРИАБЕЛЬНОСТИ ДЫХАТЕЛЬНОГО РИТМА ОТ ПСИХОЭМОЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ЧЕЛОВЕКА

О.В. Мельник, С.Ю. Панфилова

Рязанский государственный радиотехнический университет,
Россия, Рязань, omela111@yandex.ru, panfilsu@gmail.com

Аннотация. В статье описывается исследование зависимости показателей variability дыхания от эмоционального состояния испытуемого. Рассматривается программное обеспечение для обработки и анализа сигнала дыхания. Проводится анализ статистической значимости полученных результатов по t-критерию Стьюдента.

Ключевые слова: показатели variability дыхательного ритма, обработка сигнала дыхания, эмоциональная активность, ментальная активность

ANALYSIS OF DEPENDENCE OF INDICES OF VARIABILITY OF THE RESPIRATORY RHYTHM ON THE PSYCHOEMOTIONAL STATUS OF THE PERSON

O.V. Melnik, S.Yu. Panfilova

Ryazan state radioengineering university,

Russia, Ryazan, omela111@yandex.ru, panfilsu@gmail.com

Abstract. In article the research of dependence of indices of variability of breathing on an emotional status of the examinee is described. The software for processing and the analysis of a signal of breathing is considered. The analysis of the statistical significance of the received results on a t-student criterion is carried out..

Keywords: indices of variability of a respiratory rhythm, processing of a signal of breathing, emotional activity, mental activity

Дыхательные движения при эмоциях претерпевают характерные для различных эмоциональных состояний изменения своей скорости и амплитуды [1]. В процессе трудовой деятельности, особенно связанной с высокой концентрацией внимания, важной является оценка степени вовлеченности человека именно в ментальную активность [2].

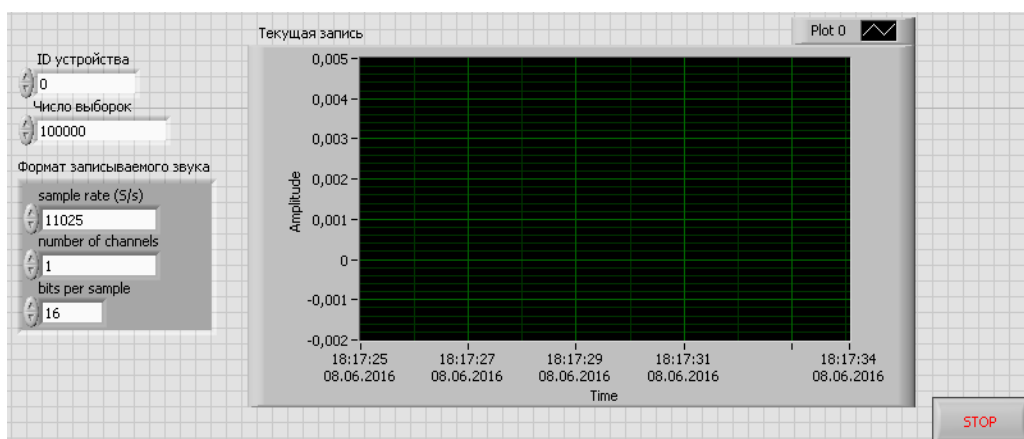
В ходе работы был проведен анализ различных источников, и обнаружено, что показателем при эмоциях является соотношение между продолжительностью вдоха и выдоха. Г. Штерринг (1906) определял это отношение путем деления времени вдоха на время всего цикла (состоящего из вдоха и выдоха) и получил следующие данные, показывающие значительное увеличение при эмоциональных состояниях продолжительности вдоха по сравнению с продолжительностью выдоха [3]:

при покое	0,43
при возбуждении	0,60
при удивлении	0,71
при внезапном испуге	0,75

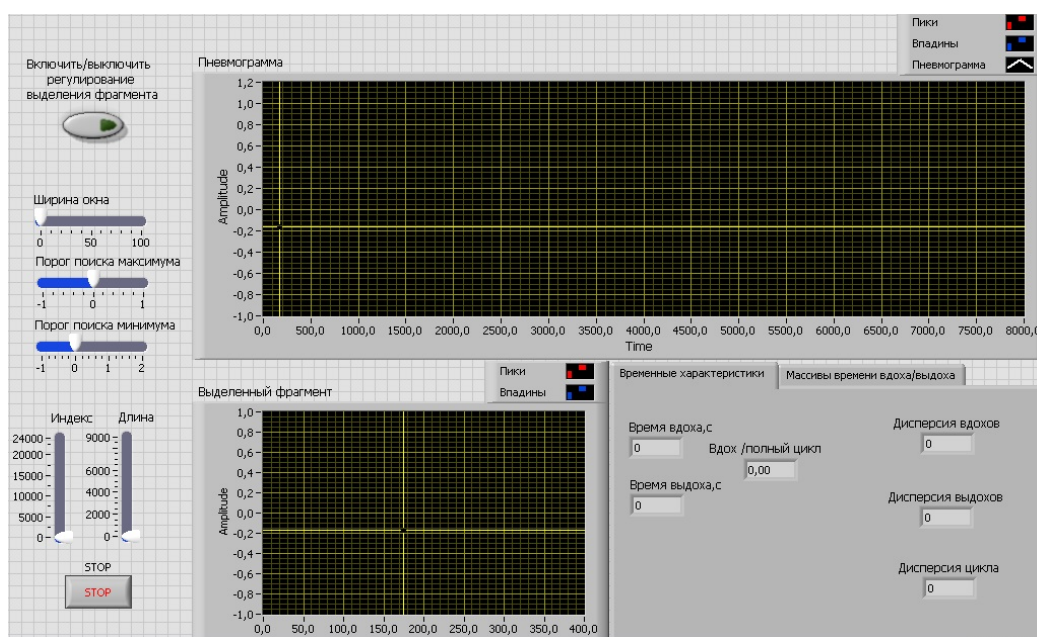
Для проверки гипотезы о возможности использования данных, представленных Штеррингом, было разработано программное обеспечение для обработки и анализа сигнала дыхания. В качестве показателей вариабельности дыхательного ритма, по которым исследовалась зависимость от эмоционального состояния, использовались коэффициент отношения времени вдоха ко времени полного цикла, который, согласно теории Штерринга является основным показателем, а также центральные моменты распределения второго порядка – дисперсии времени вдоха, времени выдоха, времени полного дыхательного цикла.

Программная реализация процедур анализа дыхательных паттернов была выполнена в среде разработки LabVIEW 2012 [4]. Для формирования дыхательного сигнала был применен метод регистрации с использованием терморезистора, закрепляемого в области носа. Для ввода и оцифровки данных использовался микрофонный вход звуковой карты персонального компьютера.

На рисунке 1 представлена лицевая панель системы для анализа паттернов дыхания. Под буквой а представлена часть лицевой панели записи файла, под буквой б представлена часть лицевой панели обработки сигнала. На лицевой панели расположены: развертка записываемой записи пневмограммы, подстройка формата записываемого звука, развертка текущей записи пневмограммы, развертка ее выбранного фрагмента, регуляторы выделения фрагмента текущей пневмограммы «Начальный индекс», «Длина», кнопка включения/выключения выделения фрагмента, кнопка выключения системы, регуляторы обнаружения пиков и впадин «Ширина окна», «Порог поиска максимума», «Порог поиска минимума».



а



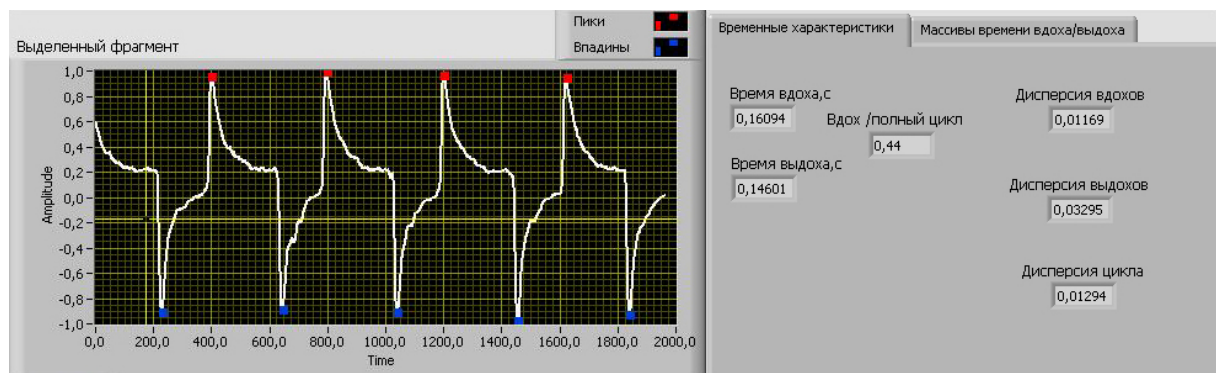
б

Рис. 1. Лицевая панель системы для анализа паттернов дыхания:
а - лицевая панель записи файла, б - лицевая панель обработки сигнала

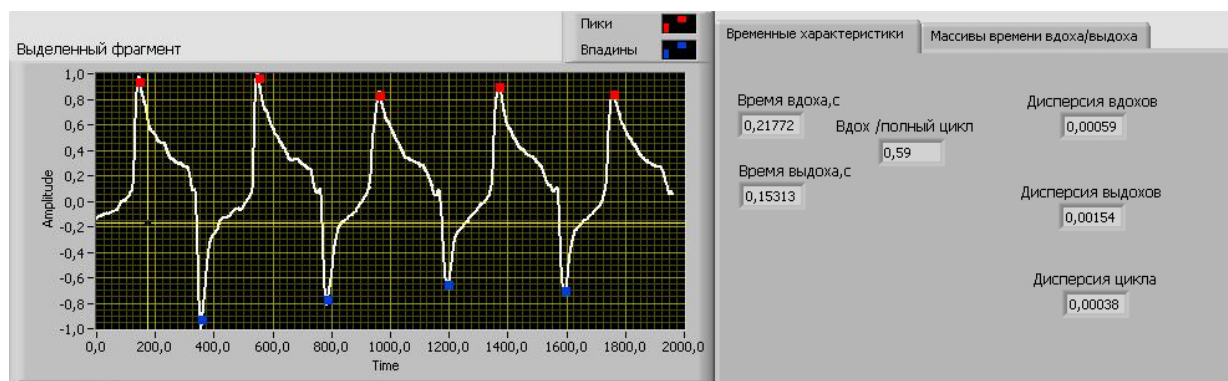
Также, на вкладке «Временные характеристики» расположены индикаторы времени вдоха, выдоха, отношения времени вдоха к полному времени цикла и индикаторы дисперсий времени вдохов, выдохов и полного цикла. На вкладке «Массивы времени вдоха/выдоха» расположены соответствующие массивы времени вдохов и выдохов. Система работает в двух режимах: обработка всей записи пневмограммы и обработка ее фрагмента. Выбор необходимого фрагмента осуществляется с помощью регуляторов выделения фрагмента пневмограммы [4].

Исследование зависимости указанных параметров проводилось на записях пневмограмм, снятых в состоянии эмоциональной и ментальной активности. Участники эксперимента – 7 человек в возрасте 21-22 лет, не имеющие заболеваний дыхательной системы. Состояние эмоциональной активности испытуемых провоцировалось путем просмотра эмоциональных картин, состояние ментальной активности – чтением научно-технической литературы [5].

Результаты работы программы по обработке пневмограмм и характерные паттерны дыхания в состоянии эмоциональной и ментальной активности представлены на рисунке 2.



а



б

Рис. 2. Результаты работы программы по анализу паттернов дыхания:
а – паттерны дыхания в состоянии ментальной нагрузки; б – паттерны дыхания в состоянии психоэмоциональной нагрузки

Можно заметить, что в состоянии эмоционального возбуждения наблюдается преобладание времени вдоха (восходящий участок пневмограммы) над временем выдоха (нисходящий участок), в состоянии же ментальной активности – наоборот. По результатам исследований были получены значения показателей вариабельности дыхательного ритма в зависимости от психоэмоционального состояния человека, указанные в таблице 1.

Таблица 1 - Показатели вариабельности дыхательного ритма в зависимости от вида эмоциональной активности

№	Коэффициент отношения вдох/полный цикл		Дисперсия времени вдохов		Дисперсия времени выдохов		Дисперсия полного цикла	
	Ментальная	Эмоциональная	Ментальная	Эмоциональная	Ментальная	Эмоциональная	Ментальная	Эмоциональная
1	0.37	0.59	0.01610	0.00059	0.00240	0.00154	0.01980	0.00038
2	0.45	0.59	0.02600	0.00320	0.00026	0.00250	0.02770	0.00234
3	0.45	0.58	0.00226	0.00073	0.00022	0.00296	0.00240	0.00433
4	0.39	0.60	0.01400	0.00966	0.00025	0.00004	0.01470	0.00962
5	0.44	0.56	0.01169	0.00568	0.00329	0.00187	0.01294	0.00514
6	0.44	0.57	0.04360	0.00754	0.00040	0.00125	0.07395	0.00379
7	0.43	0.58	0.03370	0.00235	0.00022	0.00133	0.01571	0.00477
Среднее	0.42	0.58	0.02105	0.00425	0.00101	0.00164	0.01466	0.00434

Проведенные исследования показали, что получившиеся значения коэффициента отношения, выдвинутого в теории Г. Штерринга, различны в состоянии ментальной и эмоциональной активности. Также прослеживается зависимость между дисперсиями времени вдохов и времени полного цикла и эмоциональным состоянием человека: наблюдается рост значений данных дисперсий при ментальной нагрузке. Как можно увидеть в таблице 1, основной вклад

в рост дисперсии длительности дыхательного цикла при ментальной нагрузке вносит вариабельность длительности вдоха, в то время как в случае эмоциональной активности возрастает роль вариабельности выдоха, что позволяет предположить различный характер влияния регуляторных процессов на фазы дыхательного цикла. Таким образом, использование данных частных дисперсий представляется перспективным при решении задачи формирования критерия оценки психоэмоционального состояния человека.

Чтобы убедиться в существенности различий получившихся выборок необходимо проверить результаты на статистическую значимость на основе расчета t-критерия Стьюдента. Расчет коэффициента Стьюдента был произведен автоматически с использованием специализированного программного пакета. Результаты проверки на статистическую значимость указаны в таблице 2.

Таблица 2 - Значимость различия экспериментальных выборок

	Коэффициент вдох/полный цикл	Дисперсия времени вдохов	Дисперсия времени выдохов	Дисперсия вре- мени цикла
Значение t-критерия Стьюдента	11.31	2.88	1.06	2.199
Критическое значе- ние t-критерия Стью- дента	2.179, при уровне значимости $p=0,05$	2.179, при уровне значимости $p=0,05$	2.179, при уровне значимости $p=0,05$	2.179, при уровне значимости $p=0,05$
Значимость различия выборок	Различия статисти- чески значимы ($p<0,05$)	Различия статисти- чески значимы ($p<0,05$)	Различия статисти- чески не значимы ($p>0,05$)	Различия стати- стически значи- мы ($p<0,05$)

На основе полученных результатов можно сделать вывод, что получившиеся выборки значимо отличаются друг от друга по таким показателям как коэффициент отношения времени вдоха к полному времени дыхательного цикла, дисперсия времени вдоха и дисперсия времени полного цикла, а, следовательно, существует разница между значениями этих показателей в состоянии ментальной и эмоциональной активности. В силу погрешности проведения исследований, а именно человеческого фактора, который выражается в том, что испытуемые во время проведения исследований могут отвлекаться от поставленной перед ними задачи, существует отклонение коэффициентов при ментальной активности от значения 0,30, выдвинутого Штеррингом но, в целом, выдвинутая гипотеза подтверждается, поскольку выборки статистически различны. Также, исходя из результатов исследования, дополнительными критериями оценки психоэмоционального состояния человека могут служить показатели дисперсий времени вдоха и времени полного цикла, поскольку выборки также статистически различны, а, следовательно, можно говорить о различии в дыхательных паттернах человека в состоянии эмоционального возбуждения и ментальной активности.

Таким образом, показана возможность использования параметров дыхания для оценки психоэмоциональной составляющей функционального состояния организма человека, однако требуются дополнительные исследования зависимости показателей вариабельности дыхательного ритма по выбору оптимальной длины анализируемого фрагмента дыхательного сигнала и уточнению значений пороговых уровней.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-37-60114 мол_а_дк «Методы и автоматизированная система для контроля функционального и психоэмоционального состояния человека в процессе повседневной деятельности».

Библиографический список

1. Vlemingx E., Van Diest I., Van den Bergh O. Emotion, sighing, and respiratory variability//Psychophysiology. – 2014. – Vol.52. – P. 657-666.
2. Мельник О.В., Панфилова С.Ю., Клиновская Ю.Я. Разработка континуальной модели функционального состояния для задачи контроля параметров организма человека в процессе повседневной деятельности// Материалы Международной научно-технической и научно-методической конференции "Современные технологии в науке и образовании (СТНО-2016)". – Рязань, 2016.

3. Мельник О.В., Панфилова С.Ю. Перспективы использования вариабельности дыхательного ритма в оценке функционального состояния организма // Материалы XXIX Всероссийской научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов «Биотехнические, медицинские и экологические системы и комплексы в медицине и экологии» («БИОМЕДСИСТЕМЫ - 2015»). – Рязань, 2015.– С. 309-311.
4. Мельник О.В., Панфилова С.Ю. Программа для оценки психоэмоционального состояния человека на основе анализа параметров дыхательного цикла // Сборник трудов XII Международной научной конференции «Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии» ФРЭМЭ'2016: в 2 т. Т.2. – С. 314-317.
5. Мельник О.В., Панфилова С.Ю. Экспериментальное исследование зависимости параметров дыхательного цикла от эмоционального состояния человека и статистическая обработка результатов // Материалы XXIX Всероссийской научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов «Биотехнические, медицинские и экологические системы и комплексы в медицине и экологии» («БИОМЕДСИСТЕМЫ - 2016»). – Рязань, 2016.– С. 177-181.

УДК 681.518.3:[616-009.1](#)

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ ЧЕЛОВЕКА

М.Н. Митяева, Г.А. Садовский

Рязанский государственный радиотехнический университет

Аннотация. В статье описана работа системы медицинского контроля. Приведены ее функциональная схема, принципиальная схема блока регистрации ЭКГ в отведении DS.

DEVELOPMENT OF THE SYSTEM OF MONITORING OF THE HUMAN CONDITION

M.N. Mitiaeva, G.A. Sadowski

Ryazan State Radio Engineering University

Abstract. The article describes the system of medical control. Given its functional diagram, a schematic block diagram of ECG in lead DS.

Комплекс «Бета-08» используется для оперативного контроля состояния космонавта. Обеспечивает съем, усиление, преобразование и передачу на систему регистрации физиологической информации.

Регистрируемые параметры: Электрокардиография DS (ЭКГ); Пневмография (ЭКГ); Температура тела (ТТ); Пульсоксиметрия.

Комплекс диагностики состояния человека состоит из блока-анализатора врача, состоящего из приемопередающего модуля радиоканала, подключаемого к персональному компьютеру, и программного обеспечения, а так же из регистратор физиологической информации с встроенным в него приемопередающим модулем канала радиосвязи выполнен в едином блоке. [1]

В регистраторе можно выделить 3 основные части:

- устройство аналогового ввода;
- процессор обработки сигналов;
- передатчик информации на центральный пост.

Устройство аналогового ввода с помощью датчиков и электродов осуществляет съем физиологических сигналов пациента. В этом устройстве происходит усиление этих сигналов, предварительная фильтрация, стабилизация и преобразование аналоговых сигналов в цифровые (ЭКГ и ПГ).

После этого оцифрованные сигналы передаются в процессор обработки сигналов, который осуществляет цифровую обработку и фильтрацию сигналов испытуемого.

Выход датчика температуры соединен с соответствующим входом микропроцессора непосредственно.

Канал температуры предназначен для преобразования сигнала датчика температуры в напряжение в диапазоне температур 0 – 50°C.

Выход датчика пульсоксиметра соединен так же непосредственно к входу микропроцессора.

Сигнальный выход микропроцессора соединен с входом приемопередающего модуля радиоканала регистратора. Обработанные сигналы, поступающие от микропроцессора на

вход приемопередающего модуля, транслируются по радиоканалу на блок-анализатор врача, где уже происходит анализ полученных данных.

Так в данном устройстве имеется блок питания с модулем контроля заряда. Функциональная схема приведена на рисунке 1.

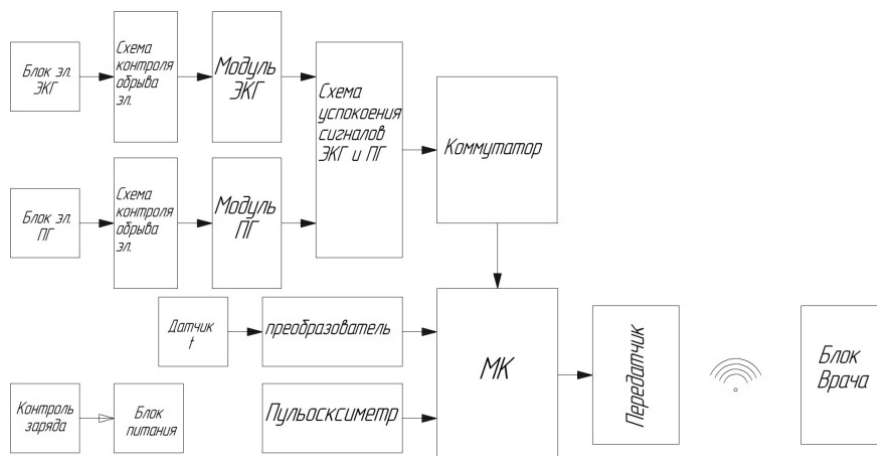


Рис. 1. Функциональная схема регистратора физиологических сигналов космонавта

Реализация модуля ЭКГ

Входная цепь пациента состоит из схемы подавления радиочастотных помех. Резисторы R1-R6 и конденсаторы C1-C6 формируют пассивные ФНЧ второго порядка. Эти фильтры обеспечивают подавление сигналов телевизионных и радиостанций, а также иного высокочастотного оборудования.

Схема контроля плохого контакта электродов в системе отведений позволяет своевременно определять обрыв или плохой контакт электродов. Высокоомные резисторы R7-R9 (100МОм), подключенные к источнику напряжения 5В и сопротивление контакта “электрод-кожа” образуют делитель, напряжение с которого подается на вход дифференциальных усилителей отведений. При плохом контакте электрода увеличивается сопротивление в цепи пациента, а, следовательно, и постоянное напряжение на выходе дифференциальных усилителей ОП1-ОП3, которое поступает через коммутатор каналов на АЦП.

Оцифрованный сигнал из АЦП поступает в микроконтроллер для анализа состояния контакта “электрод-кожа”. В случае обнаружения плохого электродного контакта микроконтроллер передает по последовательному интерфейсу сообщение микропроцессору о неполадках в системе отведений.

Сигналы ЭКГ с выхода дифференциальных усилителей поступают на ФНЧ первого порядка С7-С8, R18-R19. Затем, пройдя через ФВЧ первого порядка С9-С10, R20-R21, сигналы ЭКГ усиливаются операционными усилителями ОП4-ОП6. Кроме усиления эти каскады выполняют функцию активного ФНЧ первого порядка для ограничения полосы частот поступающих на вход АЦП. Далее отфильтрованные сигналы поступают на вход коммутатора.

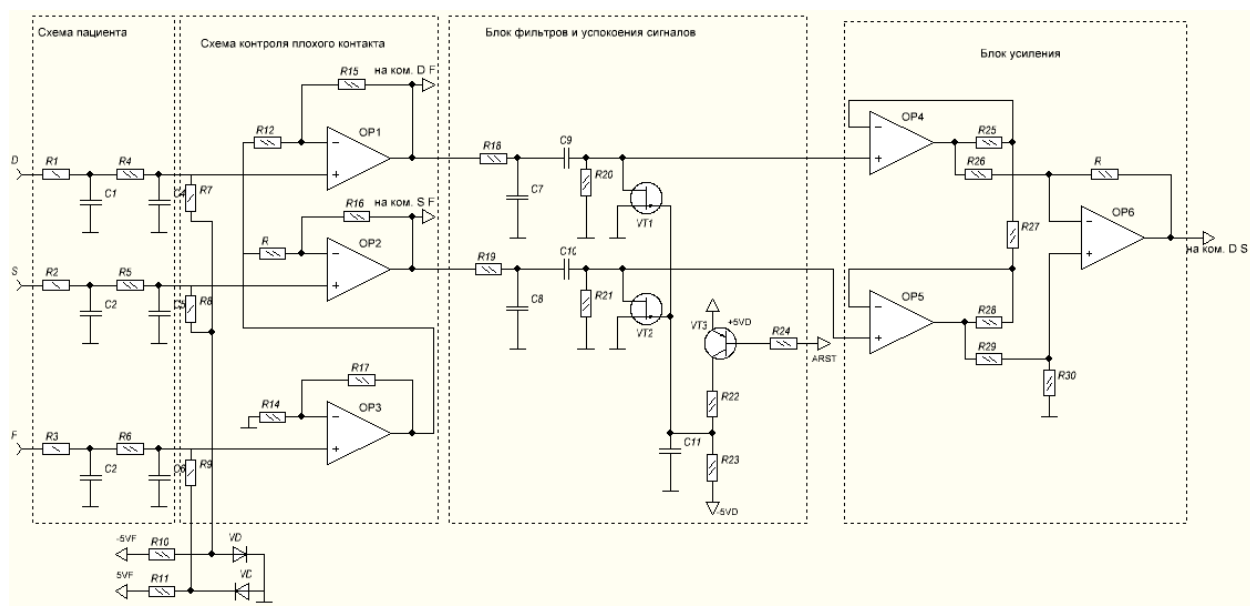


Рис. 2. Модуль ЭКГ

Схема успокоения каналов ЭКГ предназначена для предотвращения ухода изолинии при скачках напряжения, вызванных переходными процессами на участке электрод-кожа, двигательной активностью пациента. Схема выполнена на транзисторах VT1-VT2, которые выполняют роль ключей через которые разряжаются конденсаторы. Транзистор VT3 обеспечивает согласование уровней.

Способ оценки функционального состояния организма включающий измерение электроактивности сердца с выделением органической последовательной выборки RR- интервалов ритма, проведение спектрального анализа с получением значений спектральной плотности сердечного ритма, отличающийся тем, что спектрограмму сердечного ритма разбивают на поддиапазоны в границах классических диапазонов ULF, VLF, LF и HF, проводят ранговые оценки относительной спектральной плотности по 100 поддиапазонам и сопоставляют их с различными качественными и количественными характеристиками состояния организма, полученных на основе стандартных методов диагностики и прогнозирования.

Любые физиологические и предпатологические изменения, имеющие общие механизмы формирования находят отражение в сердечном ритме, и в частности его спектральных характеристиках. Имеющиеся возрастно-половые и индивидуальные особенности спектральных характеристик сердечного ритма определяют его уникальный характер для каждого организма и связаны как с гено- и фенотипом, так и с влиянием внешних факторов, действующих при рождении (зачатии) в эмбриогенезе (внутриутробный период) и сопровождающих закономерные стадии развития, стабильного функционирования и угасания (старение) функций в процессе жизнедеятельности (онтогенез).

Наиболее полная информация о состоянии организма содержится в характеристиках сердечного ритма и в полной мере раскрывается в его спектрограмме.

Для расшифровки этой информации необходимо понимание соблюдения как минимум двух основных условий, определяющих механизм сердечной регуляции. Во- первых, это связано с использованием в «голосе сердца» универсального языка, использующего алфавит аналогичный генетическому коду, а во-вторых - со «словообразованием» и «кардиолингвистикой», которые напрямую связаны с функциональной спецификой спектрограммы сердечного ритма.

Способ осуществляется следующим образом:

Первый этап: больному проводят регистрацию кардиоритма с получением массива последовательных RR-интервалов в цифровом виде. Для этой цели может быть использована любая электрокардиографическая или другая аппаратура, обеспечивающая цифровую регистрацию RR-интервалов, в соответствии с действующими Международными стандартами. При этом предпочтение отдается кратковременной (например, 5-ти минутной) регистрации

кардиоритма с точностью измерения последовательных RR-интервалов не менее ± 0.005 секунд (желательно ± 0.001 секунд). Регистрируются все «физиологические» последовательности без исключения.

Второй этап: проводят анализ спектральной плотности сердечного ритма, например при помощи метода Фурье (полное преобразование одиночных серий по варианту «Hamming»). Метод, получения абсолютных значений спектральной плотности сердечного ритма, принципиального значения не имеет. При этом можно использовать повсеместно принятую систему определения границ частотных диапазонов, например: ULF - <0.015 Гц, VLF - $0.040-0.015$ Гц, LF - $0.150-0.040$ Гц, HF - >0.150 Гц, (HF-I - $0.150-0.300$ Гц, HF-2 - $0.300-0.450$ Гц, HF-3 - >0.450 Гц). Следует отметить, что разделение спектрограммы сердечного ритма на принятые частотные диапазоны также принципиального значения не имеет, так как она представляет единое целое.

Третий этап: проводят ранговые оценки относительной спектральной плотности по 100 поддиапазнам. Учитывая, что между всеми частотными поддиапазнами существует тесная функциональная связь, имеющая наибольшее выражение между соседними (граничащими) участками, мы предлагаем условно разделить их на отдельные, примерно равные участки, в которых и осуществлять ранжирование показателей. При этом первые ранговые оценки проводятся для основных диапазонов сердечного ритма - ULF, VLF, LF, HF, HF-I, HF-2 и HF-3 (всего семь показателей - ранговые оценки от 1 до 7).

Четвертый этап: находят диагностически и прогностически важные признаки, основанные на анализе частоты встречаемости различных ранговых оценок, для практически любых состояний и показателей организма человека. При этом, эталонными и верификационными признаками служат общепринятые классические оценки и методы определения качественных (клинические признаки), количественных (параметрических), например лабораторных, показателей, а также данных инструментального исследования.

Для выделения диагностически и прогностически значимых спектральных признаков, при параллельном использовании анализа вариабельности сердечного ритма и различных эталонных или стандартных способов, используется оценка частоты встречаемости, сила взаимосвязи (ассоциации, корреляции, сопряженности), применительно как к одному признаку, так и к их различным сочетаниям и перестановкам, с определением приемлемого уровня статистической достоверности.

Пятый этап: проводят построение и проверку диагностико-прогностических алгоритмов. Алгоритмы строятся с использованием элементов формальной логики (операторы И, ИЛИ, НЕ, ЕСЛИ, ЛОЖЬ, ИСТИНА) и их связей. При этом, может быть выбрано из избыточного количества абсолютных или относительных признаков рациональное количество показателей, которые обеспечивают высокий уровень статистической достоверности, чувствительности и специфичности. Это относится к альтернативным и качественным оценкам, а для параметрических показателей может быть использован любой приемлемый математический способ, например, формулы линейной или нелинейной регрессии, а также различные модели. Переменные в уравнениях могут быть представлены суммой баллов различного количества спектральных характеристик сердечного ритма.

В программной среде LabView был реализован алгоритм предварительной фильтрации, а так же модуляции и демодуляции сигнала ЭКГ.

Библиографический список

1. Патент РФ № 2010111010/14. Ледовской С.М., Малыгин А.В., Щигленко Н.А., Щербаченко Г.Е. Способ дистанционного мониторинга состояния человека// Патент России № 2442531;
2. Магда Ю.С.; LabVIEW. Практический курс для инженеров и разработчиков//ДМК Пресс - 2012 г. – с. 208.

ПОРЯДОК РАЗРАБОТКИ НОВЫХ МЕДИЦИНСКИХ ИЗДЕЛИЙ

З.М. Клинджева

Рязанский государственный радиотехнический университет,

zarina.klinjeva@yandex.ru

Аннотация. В данной работе описан порядок разработки медицинских изделий, проведен обзор каждого этапа разработки медицинского изделия – проектирование, конструирование, испытание опытных образцов, а также приемка результатов разработки.

Ключевые слова: разработка, медицинские изделия, опытно-конструкторская работа, научное исследование проектирование, техническое задание, технический проект, эскизный проект, конструкторская документация.

THE PROCEDURE FOR THE DEVELOPMENT OF NEW MEDICAL PRODUCTS

Z.M. Klindzheva

Ryazan State Radio Engineering University,

zarina.klinjeva@yandex.ru

Abstract. This work describes a procedure for the development of medical devices, conducted a review of each development stage of medical devices – design, construction, testing of prototype and acceptance of development results.

Keywords: development, medical products, developmental work, research design, technical specification, technical design, conceptual design, design documentation.

1. Введение

Процесс разработки нового медицинского изделия – это достаточно важный этап, на котором разработчиком закладываются конструктивные особенности, основные характеристики, параметры, свойства, внешний облик медицинского изделия (далее МИ).

Данный этап представляет собой умственную деятельность инженерно-технического персонала, который при помощи опытно-конструкторских работ (далее ОКР), которые включают в себя такие важные составляющие как научное исследование, проектирование, конструирование, испытания и приемка результатов разработки реализуют собственную идею или потребность нынешнего рынка. [2]

Проведение ОКР для достижения успешного результата необходимо поручать квалифицированному персоналу, который должен знать и понимать всю специфику работы, учитывая ее нюансы, достоинства и недостатки.

Рассмотрим более подробно каждую из вышеперечисленных составляющих ОКР.

2. Научное исследование на этапе разработки медицинского изделия

Научное исследование - главный путь к усовершенствованию технического уровня МИ, то есть их качества, характеризуемого технической стороной. Цель исследования - найти более приемлемый к притворению в жизнь путь создания (модернизации) МИ.

Суть научного исследования заключается в:

- постановке цели и сроков достижения планируемого проекта;
- обосновании выгоды реализации планируемого проекта;
- анализе научно-технической новизны МИ;
- исследовании тенденции спроса будущего МИ у потребителя;
- исследовании влияния медицинского изделия на здоровье и качество жизни человека;
- планировании использования материалов, которые будут применяться при конструировании медицинского изделия.
- анализе дальнейшей модернизации МИ.

3. Проектирование

Этап проектирования можно назвать самой сложной стадией ОКР, так как на данном этапе закладывается конструктивная особенность изделия, его технические характеристики, анализируется возможность осуществления данного проекта, а также оценивается предполагаемый спрос разрабатываемого изделия у потребителя.

Проектирование включает в себя множество трудоемких крупных и мелких операций, каждая из которых тщательно анализируется квалифицированными работниками из разных сфер деятельности, тем самым приближая разрабатываемое изделие к более совершенной конструкции.

Данный этап предусматривает разработку:

- технического задания (далее ТЗ) на ОКР;
- конструкторской документации на МИ;
- техническое предложение (далее ТП);
- эскизный проект;
- технический проект

Рассмотрим каждую из составляющих этапа проектирования.

При разработке МИ главным документом, на который полагается проектировщик является ТЗ. Данный документ создается с учетом требований потребителя и включает в себя: планируемые характеристики технического уровня и качества, цель применения, специфические требования к изделию, технико-экономические показатели, а также уровень стандартизации и унификации и патентно-правовые показатели. В ТЗ также должны быть учтены требования по безопасности, охране здоровья граждан и окружающей среды, ресурсосбережению, заменимости составных частей МИ и их совместимости с другими деталями. Иными словами, в документе должен содержаться максимальный объем информации, которая облегчит работу инженерно-технического персонала.

ТЗ составляется разработчиком, с учетом всех необходимых требований заказчика – государственный заказ или заказ отдельного потребителя. Разработке ТЗ предшествует этап заключения договора между разрабатываемой компанией и заказчиком.

В случае отсутствия заказчика инициатива исходит полностью от самого разработчика.

В задачи разработчика также входит исследование рынка сбыта, а это:

- изучение потребительских предпочтений;
- наличие потенциальных конкурентов;
- территориальный охват.

Следует отметить, что изменения могут вноситься разработчиком на любой стадии разработки, если это не противоречит обязательным требованиям.

Следующим этапом является разработка ТП. Под данной процедурой понимают подбор материалов, необходимых для технического и технико-экономического аргументирования необходимости разработки конструкторского документа на МИ. На данном этапе анализируется ТЗ, прорабатываются всевозможные конструктивные особенности МИ, проверяется патентная чистота и конкурентная способность разработки. После сбора всех необходимых данных разработчиком на данном этапе составляется и утверждается КД на МИ.

Эскизный проект разрабатывается в случае его внесения в ТЗ. Целью его является установление общих представлений об устройстве МИ, а также принципов работы в виде принципиальных конструктивных, схемных решений. В данном документе конкретизируют и подтверждают требования к МИ, предъявляемые в ТЗ и ТП.

На данной стадии разработчиками закладываются новые технические параметры и требования, производится расчет технико-экономических показателей, которые необходимо достичь в ходе разработки. Далее данный проект рассматривается членами комиссии и утверждается.

Разработка технического проекта происходит в том случае, если специалистам он необходим. Технический проект осуществляют на основе ТЗ, эскизного проекта и протокола анализа ТП. Технический проект необходим для определения окончательного технического решения, в соответствии с которым можно составить полную картину о конструктивной особенности МИ, а также требованиях, предъявляемых к ним. Следует подчеркнуть тот факт, что технический проект полностью должен соответствовать требованиям, заложенным в ТЗ на МИ, должен описывать технологичность и специфику изготовления МИ. [5]

4. Конструирование

В процессе разработки конструкторской документации на стадиях технического предложения, эскизного проекта, а также технического проекта изготавливаются опытные образцы, над которыми проводятся лабораторные исследования, стендовые исследования, моделирующие реальные условия эксплуатации для проверки новейших технических решений. [3]

Изготовление опытных образцов подтверждает соответствие конструкторской документации исходным требованиям.

5. Испытания опытных образцов

Испытания образцов проводят для оценки и контроля их качества. Опытные образцы подвергают следующим испытаниям:

- предварительные;
- приемочные.

Предварительные испытания проводятся с целью проверки соответствия уровня качества опытных образцов требованиям ТЗ, а также для установления готовности образцов к проведению приемочных испытаний.

Приемочные испытания проводятся в условиях, приближенных к реальным условиям эксплуатации МИ. Цель данных испытаний – это убедиться в соответствии всех характеристик изделия ТЗ, а также принятия решения о возможности несерийного, мелкосерийного производства и их реализации.

Опытные образцы несерийного производства подвергаются приемочным испытаниям с целью решения вопроса о допуске их к использованию по назначению.

Предварительные и приемочные испытания проводят по программе испытаний, которую разрабатывают на основе требований ТЗ.

Программа испытаний включает в себя: цель испытаний, объект испытаний, объем испытаний, материально-техническую оснащенность, метрологическое обеспечение, заключение по результатам испытаний.

Перед проведением испытаний подготавливают рабочие места, которые должны быть аттестованы, назначаются ответственные специалисты по подготовке и проведению испытаний.

Приемочные испытания проводятся под контролем комиссии для проверки полноты, достоверности и объективности результатов испытаний, а также полноты информации, соблюдение сроков испытаний и документальное оформление их результатов.

Испытания можно считать завершенными, если составлен акт, подтверждающий выполнение программы испытаний и содержащий заключение о соответствии объекта испытаний требованиям ТЗ. [1]

6. Приемка результатов разработки

Приемка результатов разработки осуществляет приемная комиссия, в состав которой входят заказчик, разработчик, изготовитель. Данная комиссия присутствует в приемочных испытаниях серии опытных образцов.

По окончании испытаний составляется акт, в котором указываются следующие данные: соответствие продукции требованиям ТЗ, результаты оценки разработанной конструкторской документации, рекомендации о дальнейшем использовании опытных образцов, рекомендации по изготовлению установочной серии.

Далее приемочная комиссия утверждает данный акт, который свидетельствует о прекращении действия ТЗ и ввода в действие утвержденной документации.

Выводы:

Достижение высокой эффективности процесса разработки МИ – это сложный процесс, зависящий от финансовой поддержки, а также от инженерно-технического коллектива, от его умения сплотиться и применять свои знания и творческие способности в процессе работы. От того как раскроет себя инженер зависит качество разработки, освоение, а также дальнейшее применение продукции.

Исходя из вышеописанного, на инженерно-техническом персонале лежит достаточно большая ответственность перед обществом за уровень качества продукции.

Библиографический список

1. Брюханов В.А. О действующих государственных стандартах на методы контроля и испытаний // Стандарты и качество. - 1996. - № 11. - С. 18-20.
2. ИСО вчера и сегодня // Стандарты и качество. - 1996. - № 9. - С. 5 - 9.
3. Краткий справочник конструктора радиоэлектронной аппаратуры / Под ред. Р.Г. Варламова. - М.: Сов. радио, 1972. - 856 с.
4. Крейтер С.В. и др. Основы конструирования и агрегатирования: Учеб.пособие. - М.: Изд - во стандартов, 1983. - 224 с.
5. ГОСТ Р 15.201. Система разработки и постановки продукции на производство. Продукция производственно-техническая. / Стандартиформ. – 2010.

УДК 004.932; ГРНТИ 59.29.33

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТАТИЧЕСКИХ МАГНИТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МАГНИТОМЯГКИХ МАТЕРИАЛОВ СТАЛИ 49К2ФА

А.А. Минаев

*Рязанский государственный радиотехнический университет,
Россия, Рязань, alexandr-minaev@mail.ru*

Аннотация. В данной работе будет выполняться максимально возможная автоматизация информационно-измерительной системы, которая определяет статические магнитные характеристики.

Ключевые слова: 49К2ФА, магнитные характеристики, информационно-измерительная система.

AUTOMATED INFORMATION AND MEASURING SYSTEM FOR DETERMINING THE STATIC MAGNETIC CHARACTERISTICS OF SOFT MAGNETIC MATERIALS STEEL 49K2FA

AA Minaev

*Ryazan State Radio Engineering University,
Russia, Ryazan, alexandr-minaev@mail.ru*

Annotation. In this work will be carried out by the maximum possible automation of information-measuring system, which determines the static magnetic characteristics.

Keywords: 49K2FA, magnetic characteristics, information-measuring system.

1. Введение

Определение статических магнитных характеристик магнитомягких материалов является важной задачей на данный момент. Магнитомягкие материалы – материалы обладающие свойствами ферромагнетика или ферримагнетика, причем их коэрцитивная сила по индукции составляет не более 4кА/м. Такие материалы так же обладают высокой магнитной проницаемостью и малыми потерями на гистерезис. Они используются в качестве сердечников трансформаторов, электромагнитах, измерительных приборах, магнитных усилителях, роторов и статоров электрических машин и в других случаях, где необходимо при наименьшей затрате энергии достигнуть наибольшей индукции. Одним из представителей магнитомягких материалов является сталь 49К2ФА. Это прецизионный магнитомягкий сплав. Широко применяется в машиностроении, на оборонных предприятиях нашей страны. Следовательно, для выпуска качественных высокоточных изделий, необходимо с высокой точностью производить измерения магнитных характеристик. Так как в противном случае, при отклонении какой-либо величины от ее нормативного значения, изделие будет работать минимум не корректно. а максимум вообще не будет функционировать.

2. Методика проведения измерений

Все измерения, методики, расчеты и требования производятся в соответствии с ГОСТ 8.377-80. В основном испытываемый образец стали 49К2ФА имеет кольцеобразную форму, он имеет маленькую толщину, поэтому перед проведением измерения несколько образцов накладываются друг на друга и помещаются в специализированный каркас. Для получения результатов измерения необходимо намагнитить испытуемый образец. Соленоид для намагничивания кольцевых образцов в слабых полях, представляет собой прямой провод, который проходит через центральное отверстие образца перпендикулярно к его плоскости, так как у нас несколько образцов, то соленоид проходит через центр всех элементов. Снятие показаний будет проходить через измерительную катушку с помощью веберметра. Измерительная катушка, применяемая для контроля намагниченности испытуемых образцов, наматывается медным изолированным проводом на цилиндрический каркас из изоляционного материала, она должны быть короче образца более чем в 2 раза. Отводимые от катушки провода должны быть свиты вместе, а их концы аккуратно зачищены.

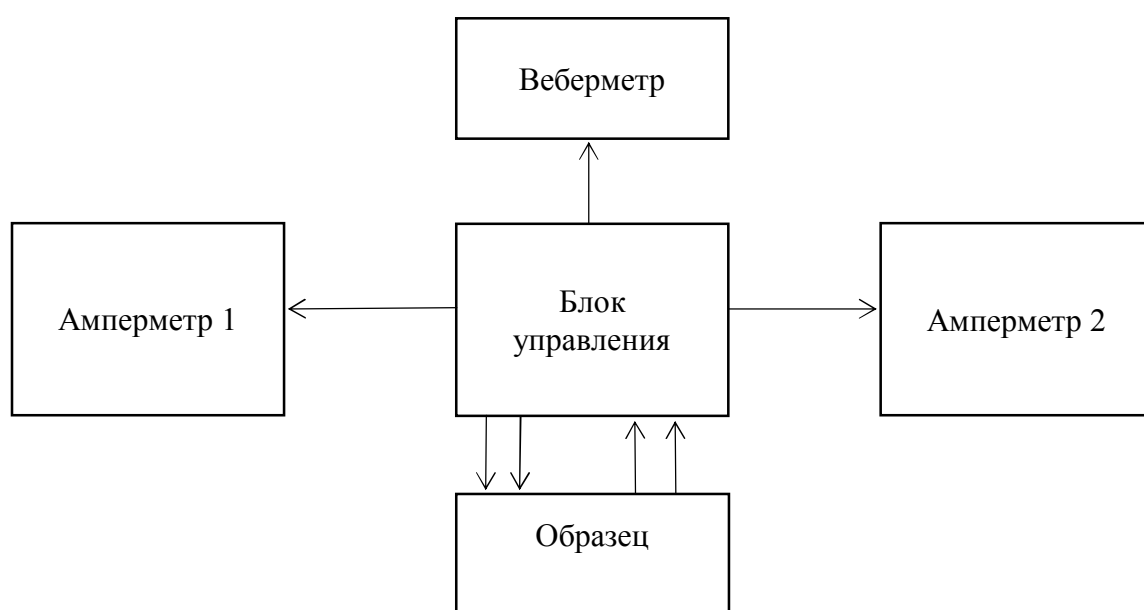


Рис. 1. Структурная схема измерительной системы

На рисунке 1 представлена структурная схема информационно-измерительной системы для определения статических магнитных характеристик. Работа данной системы происходит следующим образом. С помощью блока управления, имеющего два источника питания, намагничиваем образец. Один источник подает ток в одном направлении, второй в обратном направлении, то есть компенсирует. С помощью амперметров идет установка необходимого значения тока. Веберметр в свою очередь выдает на дисплей показания магнитного потока. На данный момент у нас есть все необходимые значения тока и магнитного потока. Это и есть необходимая база для расчета статических магнитных характеристик. А именно; магнитная индукция, магнитный поток, коэрцитивная сила, магнитная проницаемость. Расчет производится в соответствии ГОСТ 8.377-80. По результатам измерений магнитные свойства стали 49К2ФА должны соответствовать ГОСТ 11036.

Таблица 1 - Результат измерений (Пример)

№ образцов	Магнитная индукция В, (Тл) при напряженности магнитного поля Н, (А/м):					Коэрцит. сила Нс, (А/м)	Магнитная проницаемость μ , (мГн/м)
	200	300	500	1000	2500		
1	—	—	—	—	2,287	47,6	16,53
2	—	—	—	—	2,285	41,8	14
Магнитные свойства стали 49К2ФА по ГОСТ 10160					> 2,2	< 120	> 6,9

На данный момент выполнение данной работы занимает значительное количество времени. Так как подготовка образцов, сам процесс измерения и расчеты очень длительный процесс.

Выводы

В ходе выполнения данной научно-исследовательской работы я попытаюсь максимально автоматизировать данную информационно-измерительную систему для определения статических магнитных характеристик. Первоочередная задача — это написание небольшой программы для автоматического расчета магнитных характеристик по ГОСТ 8.377-80. Следующая задача — это максимально возможная компьютеризация данной системы при помощи плат сбора данных National Instruments. Автоматизация данной системы позволит максимально упростить ее работу, повысить точность, и в разы сократить время.

Библиографический список

1. З.Фактор и др. Магнитомягкие материалы. М.: Энергия, 1964 — 312 с.
2. Э.А.Бабич и др. Технология производства ферритовых изделий. М.: Высшая школа, 1978, 1978 — 224 с.
3. В.А.Злобин и др. Ферритовые материалы. Л.: Энергия, 1970 --112 с.
4. ГОСТ 8.377-80
5. ГОСТ 11036

УДК 681.2.083; ГРНТИ 59.31.31

РЕГИСТРАЦИЯ КОЛЕБАНИЙ ТВЕРДОГО ОБЪЕКТА С ПРИМЕНЕНИЕМ ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ЛАЗЕРНОГО ДИОДА

К.Р. Ловягин, С.Г. Гуржин

*Рязанский государственный радиотехнический университет,
Россия, Рязань, lovkir@mail.ru*

Аннотация. В данной работе описана реализация метода регистрации колебаний твёрдого объекта с применением полупроводникового лазерного диода, работающего в режиме автодинного детектирования. Представлены теоретические основы метода и результаты эксперимента.

Ключевые слова: автодинный эффект, лазерный диод, регистрация колебаний

REGISTRATION OF SOLID OBJECT VIBRATIONS USING SEMICONDUCTOR LASER DIODE

K.R. Lovyagin, S.G. Gurzhin

*Ryazan state radio engineering university,
Russia, Ryazan, lovkir@mail.ru*

Abstract. This paper deals with the implementation of solid object vibrations registration method using semiconductor laser diode in self-mixing detection mode. The theoretical basis of the method and the results of the experiment are represented.

Keywords: self-mixing effect, laser diode, vibrations registration

1. Введение

Одним из наиболее распространённых способов регистрации дыхания и сердцебиения является регистрация и дальнейшая интерпретация движений грудной клетки пациента. На сегодняшний день единственным достаточно разработанным методом, позволяющим дистанционно отслеживать перемещения объектов в диапазоне 0,1 мм (сердцебиение) – 10 мм (дыхание), является биорадиолокация. Также разрабатываются системы, основанные на принципах ультразвуковой эхолокации [1]. Основные недостатки указанных типов систем – громоздкость аппаратуры, сложность математической обработки сигнала, воздействие сканирующего электромагнитного излучения на пациента в случае использования биорадиолокации и значительная зависимость результатов измерений от условий внешней среды в случае использования ультразвуковой эхолокации. Кроме того, оба способа имеют широкую диаграмму направленности, что не позволяет проводить измерения в локальной области. Указанных недостатков лишены системы, использующие в качестве датчика перемещения полупроводниковый лазерный диод в режиме автодинного детектирования [2].

2. Принцип автодинного детектирования в полупроводниковом лазере

Автодинный эффект заключается в смешении внутрирезонаторной электромагнитной волны с излучённой электромагнитной волной, вернувшейся в резонатор лазера после взаимодействия с внешним отражателем (*мишенью*). Данное явление является всеобщим и проявляется во всех типах лазеров, в том числе в газовых лазерах, плоскостных полупроводниковых лазерах, вертикально-излучающих лазерах (VCSEL), инфракрасных лазерах, терагерцовых квантового-каскадных лазерах (THz QCL), лазерах на квантовых точках.

Все автодинные системы работают согласно единому основополагающему принципу: луч испускается лазером, распространяется в среде до внешнего отражателя, частично отражается и возвращается в резонатор лазера, где взаимодействует с резонансными модами лазера.

Благодаря двойному прохождению через внешний резонатор и отражению от мишени, отражённый луч накапливает информацию о каждом из этих объектов. За счёт смешения внутри резонатора отражённый луч искажает внутрирезонаторное электрическое поле, передавая накопленную информацию наружу, где она становится пригодной для измерения через такие параметры, как оптическая мощность излучения, частота излучения и напряжение лазера. Изменения оптической мощности обычно отслеживаются при помощи фотодетектора; изменения напряжения могут быть измерены непосредственно.

Сущность эффекта автодинного детектирования в полупроводниковом лазере поясним на основе рисунка 1.

Рисунок 1 иллюстрирует модель составного резонатора. Передняя грань лазерного диода и движущийся отражатель образуют так называемый внешний резонатор (внешний по отношению к резонатору самого лазерного диода). В общем случае длина внешнего резонатора $L_{\text{вн}}$ есть функция времени и определяется законом перемещения отражателя вдоль продольной оси системы; $L_{\text{л}}$ – длина резонатора лазерного диода.

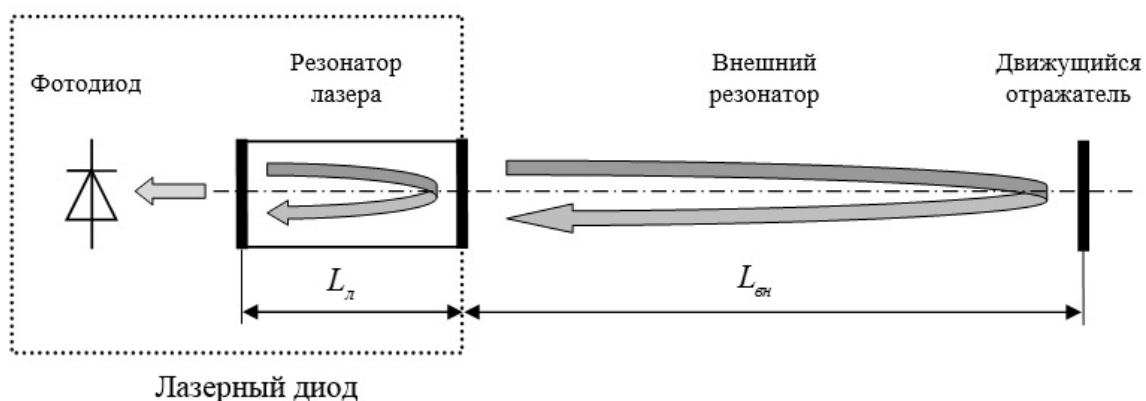


Рис. 1. Полупроводниковый лазер с внешней оптической обратной связью [2]

Эффект автодинного детектирования заключается в следующем. Излучение лазерного диода, распространяясь вдоль продольной оси системы, достигает движущегося отражателя и возвращается в резонатор лазера. Если отражатель неподвижен, то выходная мощность лазера остаётся постоянной, а её значение определяется сдвигом фаз между испускаемым и отражённым лучами. В случае движущегося отражателя выходная мощность лазера становится периодической функцией времени. Изменения выходной мощности лазерного диода фиксируются встроенным в корпус лазера фотодиодом. Полученный сигнал позволяет восстановить закон движения отражателя относительно продольной оси лазера.

На рисунке 2 показан пример автодинного сигнала для случая линейного перемещения отражателя с изменением направления движения на противоположное. Отметим, что в зависимости от уровня оптической обратной связи форма сигнала изменяется, соответственно автодинный сигнал на рисунке 2 приведён только в качестве примера.

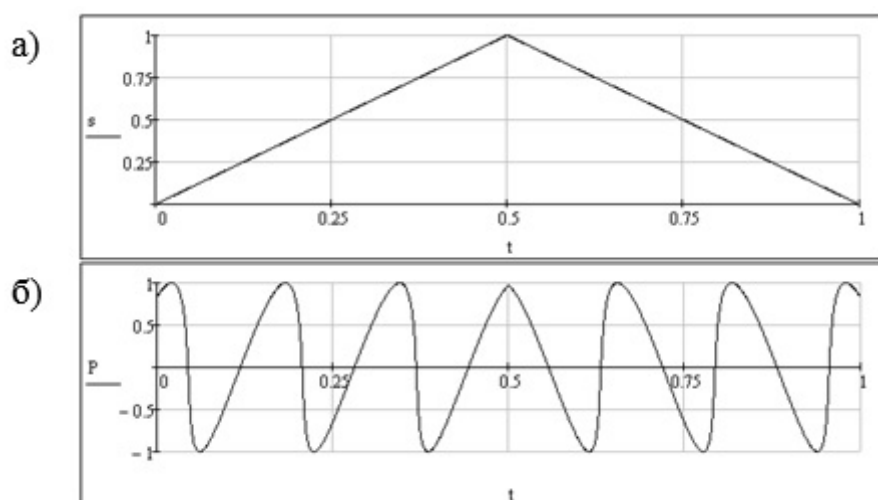


Рис. 2. Пример автодинного сигнала: а) закон движения отражателя (мкм); б) автодинный сигнал (отн. ед.); время в секундах

Как уже было сказано, принципы автодинной интерферометрии могут быть реализованы с использованием любого лазера, однако большинство разработанных на сегодняшний день систем содержат в своей основе полупроводниковый лазерный диод, что обусловлено его малыми размерами, невысокой в сравнении с другими типами лазеров стоимостью и наличием встроенного мониторингового фотодиода.

3. Проведение эксперимента и результаты

Для получения реальных автодинных сигналов был проведён эксперимент, упрощённая схема которого показана на рисунке 3 (масштаб не соблюлён).

В качестве отражателя был использован лист глянцевого светло-синего картона размером 117х94 мм. Нижний конец листа опирался на стол на расстоянии ≈ 45 мм от передней грани лазера, верхний конец удерживался рукой. За счёт физиологического тремора руки лист картона совершал колебания с малой амплитудой, соответственно менялась длина внешнего резонатора. Лазерный диод (ADL-65052TL), будучи жёстко закреплённым на макетной плате, выступал в качестве источника и приёмника излучения. Автодинный сигнал снимался с мониторингового фотодиода и регистрировался осциллографом С1-67. Изображение на экране осциллографа фиксировалось с помощью цифровой фотокамеры.

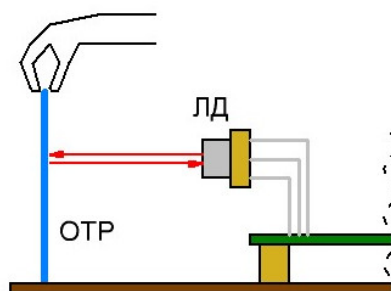


Рис. 3. Схема эксперимента по получению автодинных сигналов:
ОТР – отражатель; ЛД – лазерный диод

На рисунке 4 представлен внешний вид экспериментального макета (слева) и фокусирующей линзы (справа, масштаб по отношению к макету не соблюден), необходимой для фокусировки лазерного луча на мишени. Использовалась линза от лазерной указки, навёрнутая на отрезок корпуса шариковой ручки.

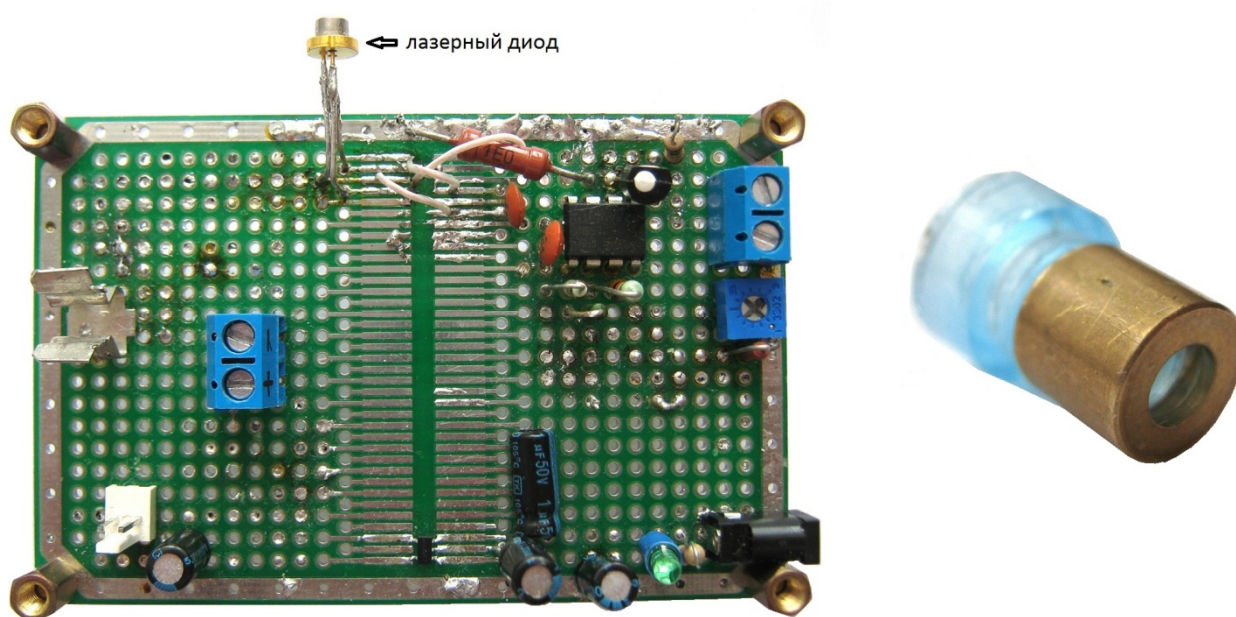


Рис. 4. Внешний вид макета (слева); фокусирующая линза (справа)

На рисунке 5 представлена функциональная схема разработанного макетного образца. Разъём X1 используется для подключения питания от источника 6 В. Светодиод HL1, ток через который задаётся резистором R1, сигнализирует о наличии питающего напряжения. Конденсатор C1 имеет большую ёмкость (100 мкФ) и используется для фильтрации входного питающего напряжения. Конденсаторы C2 и C3 меньшей ёмкости сглаживают напряжение соответственно на входе и выходе стабилизатора DA1, который даёт стабильное напряжение 3,3 В для питания основной части схемы. Резисторы R2, R3 задают опорное напряжение (в пределах 0...30 мВ) для источника тока на DA2, VT1, R4. Конденсатор C4 сглаживает скачки напряжения на выводах лазерного диода для защиты его от перегрузок. Фототок от мониторингового фотодиода преобразуется резистором R5 в напряжение, которое и является автодинным сигналом. Клеммник X2 используется для регистрации напряжения на лазерном диоде, клеммник X3 — для подключения коаксиального кабеля, передающего автодинный сигнал на осциллограф.

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ БЛОКА УПРАВЛЕНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

Д.А. Нагорян, О.А. Бодров

Рязанский государственный радиотехнический университет,

Россия, Рязань, dnagoryan@mail.ru

Аннотация. В данной работе рассматривается принцип работы системы измерения электрических параметров блока управления летательного аппарата.

Ключевые слова: измерения электрических параметров, блок управления.

В настоящее время современные мелкосерийные и серийные производства электронных приборов затрачивают большой ресурс на проверку реализованной аппаратуры. Под проверкой аппаратуры понимается совокупность воздействующих факторов и (или) режимов функционирования объекта при испытаниях [1]. Испытания продукции являются основой объективной оценки ее технического уровня и качества изготовления, а так же принятия соответствующих решений на всех стадиях жизненного цикла изделий [2]. В связи с этим появляется большой спрос на системы, позволяющие эффективно, а главное быстро произвести сбор данных и проанализировать корректность работы исследуемого объекта. Измерительная техника, как совокупность методов и средств для получения количественной информации о характеристиках изделий, является одним из решающих факторов прогресса. Электроизмерительная техника имеет исключительно большое значение для научно-исследовательской деятельности. Чем совершеннее и точнее измерительные приборы, тем глубже и правильнее могут быть изучены исследуемые параметры.

В настоящее время электроизмерительная техника интенсивно прогрессирует во всех направлениях:

1. Расширяется частотный диапазон, повышается точность и быстродействие, улучшается конструктивная часть, уменьшаются габариты;
2. Расширяется номенклатура и улучшаются характеристики разнообразных измерительных преобразователей, применяемых при измерении электрических параметров;
3. Разрабатываются и выпускаются различные программы для охватывания большей области исследований[4].

Целью работы является проведение исследования и разработка системы измерений электрических параметров блока управления летательного аппарата. Для реализации данной задачи была выбрана система сбора данных DAQ (Data Acquisition), которая позволит в режиме реального времени при помощи датчика преобразователя снимать такие параметры как напряжение, ток, сопротивление и другие электрические характеристики, изменяющиеся с течением времени [3]. Измерительным преобразователем называют средство электрических измерений, предназначенным для выработки сигнала измерительной информации, удобной для передачи, дальнейшего преобразования, хранения или обработки. Что такое DAQ система? DAQ выступает в качестве интерфейса между компьютером и сигналами внешнего мира. В первую очередь она функционирует как устройство, которое оцифровывает входящие аналоговые сигналы, так что компьютер может интерпретировать их. Три ключевых компонента устройства сбора данных, используемых для измерения сигнала являются схема формирования сигнала, аналого-цифровой преобразователь и шина компьютера. Система PXI представляет собой надежный специализированный компьютер на основе платформы, который обеспечивает максимальную аппаратную и программную совместимость. Преимущество данной системы состоит в том, что это модульная система, совмещающая в себе такие приборы как генераторы, источники питания, мультиметры, осциллографы, частотомеры и т.д. Программная реализация системы измерения производится в среде LabVIEW. LabVIEW содержит многофункциональные инструменты для проведения любых видов измерений и разработки любых приложений. При помощи этих инструментов пользователь может работать в широком спектре приложений и тратить на разработку меньше времени. LabVIEW подходит

для решения большого круга задач, повышения производительности и инноваций. Выбранная среда программирования помогает преобразовывать данные в значимые результаты с помощью мощных функций анализа.

На рисунке 1 представлены основные узлы функционирования. При помощи электронно-вычислительной машины в программе LabVIEW проектируем виртуальную схему и задаем параметры (заведомо известные) "1", которые будут подаваться с блока питания на исследуемый блок "2" (напряжение, ток, частота и т.д.). После отработки блока управления летательным аппаратом выходные сигналы "3" поступают на блок коммутации. Функциональное назначение данного блока состоит в том, что он согласует исследуемый блок с системой сбора данных "4". Конечное отображение функционирования исследуемого блока получаем на ЭВМ.

В настоящее время используются сборщики данных, которые измеряют один электрический параметр. В серийном производстве используются технологические блоки, выполняющие функции согласования исследуемого объекта с несколькими измерительными аппаратами, блоками питания и задающими генераторами. При этом требуется больше временных и аппаратных затрат, а достоверность полученных характеристик отдельных узлов сборок оставляет желать лучшего.

Преимущество системы DAQ состоит в её быстродействии, простоте эксплуатации и достоверности измеряемых электрических параметров, так как все измерительные модули согласованы между собой, а считывание информации и передача её на ЭВМ ограничивается лишь скоростью передачи данных по шине. Действия оператора происходят при помощи ЭВМ и являются интуитивно понятными.



Рис. 1. Схема функционирования

Библиографический список

1. Сергеев А.Г. Метрология. Учебник. М.: Логос, 2004 (повторное издание 2005 г.).
2. И. Ф. Шишкин, Г. Ф. Сергушев. Испытания и испытательное оборудование. Учебное пособие. Санкт-Петербург, 1999г.
3. <http://sine.ni.com/np/app/main/p/ap/daq/lang/ru/pg/1/sn/n17:daq/> National Instruments.
4. А. В. Фремке, Е. М. Душина. Электрические измерения. Ленинград «Энергия» 1990г.

УДК 621.22; ГРНТИ 55.03.05

ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ДИАГНОСТИКИ СОСТОЯНИЯ РАБОЧЕЙ ЖИДКОСТИ В ГИДРОСИСТЕМАХ МАШИН

А.С. Алаев, Н.Н. Трушин

Тульский государственный университет,
Россия, Тула, sanya7oct@yandex.ru

Аннотация. Рассмотрен критерий и способ его измерения, на котором будет построена автоматизированная информационно-измерительная система диагностики фактического состояния рабочей жидкости в гидросистеме технологического оборудования.

Ключевые слова: диэлектрическая проницаемость, рабочая жидкость, критерий, диагностика, загрязнение.

INFORMATION SYSTEM OF DIAGNOSTICS OF A CONDITION OF A WORKING FLUID IN HYDRAULIC SYSTEMS OF MACHINES

A.S. Alaev, N.N. Trushin

Tula State University
Russia, Tula, sanya7oct@yandex.ru

Abstract. Criteria and method of measurement, in which the automated information-measuring system of diagnosis of the actual state of the working fluid in the hydraulic system of the technological machine will be built is considered.

Keywords: permittivity, working fluid, criteria, diagnosis, pollution.

Современные технологические системы, включая производственно-технологическое оборудование, являются сложными и дорогостоящими системами. Выход из строя такого оборудования влечет за собой значительные материальные потери и временные затраты, связанные с выводом оборудования из эксплуатации на ремонтно-восстановительный период. Обслуживание по фактическому техническому состоянию позволяет снизить затраты на обслуживание, уменьшить количество самих обслуживаний и сократить число отказов [1].

Особенностью конструкции современных машин является широкое применение гидравлического привода. Как показывают результаты исследований, отказы гидроприводов составляют до 54% всех отказов машин, причем около 60% из них, прямо или косвенно, связаны с повышенной загрязненностью рабочих жидкостей. Наиболее интенсивное загрязнение рабочих жидкостей происходит в процессе эксплуатации. На техническое состояние рабочих жидкостей существенное влияние оказывают условия, в которых эксплуатируется гидрофицированное оборудование, которые вызывают загрязнение гидросистем этих машин продуктами износа трущихся поверхностей элементов гидросистемы, атмосферной пылью и рядом других причин. При этом отсутствуют средства оперативного контроля чистоты жидкостей [2].

В настоящее время замена рабочей жидкости в гидрофицированном оборудовании производится не по фактическому состоянию, а по сроку, указанному в эксплуатационной документации и документации по техническому обслуживанию [3]. Однако замена рабочей жидкости в плановом порядке не всегда эффективна, поскольку ее ресурс может быть еще не выработан, либо она уже израсходовала свой ресурс. В случае, если ресурс рабочей жидкости еще не выработан, наблюдается необоснованный перерасход рабочей жидкости, что ведет к увеличению затрат на техническое обслуживание и к увеличению количества обслуживаний. Поэтому актуальной является задача оперативной диагностики фактического состояния рабочей жидкости в процессе ее эксплуатации.

В этой связи актуальной является задача повышения эффективности эксплуатации гидрофицированного оборудования за счет рационального использования ресурса рабочей жидкости путем диагностирования их по электрическим параметрам. Для этого нужно оперативно получать информацию о состоянии рабочей жидкости в гидроприводе с помощью различных методов и инструментов оценки. По результатам такой диагностики будут приниматься решения о продолжении эксплуатации рабочей жидкости или ее замене. Учитывая влияние чистоты рабочей жидкости и объемы ее расхода, одним из способов повышения надежности работы технологических машин может служить постоянный контроль качества рабочей жидкости с помощью экспресс-анализа, что не предусмотрено существующим регламентом технического обслуживания машин и корректирование периодичности замены гидравлического масла.

Точно оценить фактическое техническое состояние оборудования можно только в результате непрерывного наблюдения за работой оборудования, регистрации, учета и анализа всех параметров, а также возникающих отказов. Для реализации процесса непрерывного наблюдения следует использовать специальные информационные технические средства, которые должны являться неотъемлемой частью самого оборудования [4].

Целью информационной системы диагностики является повышение достоверности и оперативности контроля эксплуатационных свойств и текущего состояния рабочей жидкости в гидросистемах технологических машин.

Учитывая основные недостатки единичных показателей, характеризующих техническое состояние рабочей жидкости в гидросистеме для определения состояния рабочей жидкости в гидроприводе стали использоваться электрофизические показатели. Так в работе Ю.А. Власова [5] в качестве одного из критериев, по которому производится оценка параметров работающего масла, применялась диэлектрическая проницаемость работающего и свежего масел.

Одной из причин использования диэлектрической проницаемости как критерия старения масла является то, что масло является неполярным диэлектриком, диэлектрическая проницаемость которого способна меняться при воздействии на него полярным диэлектриком. Поэтому любое изменение физико-химического состава рабочей жидкости в процессе работы (например, ее загрязнение примесями) влечет изменение диэлектрической проницаемости ϵ рабочей жидкости [6]. В процессе эксплуатации гидрофицированных машин химические и электрофизические свойства рабочей жидкости в гидроприводе претерпевают изменения. Этот процесс называется старением. Так в процессе эксплуатации происходит насыщение рабочей жидкости частицами загрязнений, продуктами окислений, а также наблюдается изменение ее физико-химических свойств.

Диэлектрометрический метод основывается на том, что протекающие в диэлектрике процессы сопровождаются изменениями диэлектрической проницаемости, которые определяются по изменениям емкости конденсатора. Путем измерения диэлектрической проницаемости можно получить информацию о качестве и составе исследуемого вещества.

Для измерения диэлектрической проницаемости в работе Ю.А. Власова [5] используется электроемкостной метод. Его суть заключается в измерении емкости конденсатора, в который помещен объект контроля (в данном случае – масло). Определение степени старения рабочей жидкости гидропривода происходит косвенным путем, а именно с использованием зависимости емкости конденсатора от диэлектрической проницаемости ϵ :

$$\tilde{N} = \frac{\epsilon \cdot \epsilon_0 \cdot S}{d}, \quad (1)$$

где d – расстояние между пластинами (толщина диэлектрика), S – площадь электродов, ϵ_0 – диэлектрическая постоянная, ϵ – диэлектрическая проницаемость диэлектрика, помещенного в пространство между пластинами конденсатора [5].

Для измерения емкости конденсатора с помещенным в него маслом в работе [5] использовался резонансный метод. Его суть состоит в том, что один из двух колебательных

контуров с конденсатором C_x является измерительным, а другой с переменным конденсатором C_r – индикаторным. В исходном состоянии, когда в конденсатор помещено свежее масло, частоты измерительного и перестраиваемого контуров совпадают. При внесении в конденсатор работавшего масла емкость измерительного конденсатора увеличивается, а, следовательно, изменяется и частота измерительного контура. Следующей операцией является настройка схемы на резонанс, для чего изменяется емкость переменного конденсатора C_r .

Данный способ является очень сложным для реализации, поскольку точно подстроить емкость переменного конденсатора для возникновения резонанса в резонансной схеме измерения емкости конденсатора очень сложно. Также данную систему очень сложно встроить не только в новое оборудование, но и в уже существующее.

Поэтому в качестве метода измерения емкости конденсатора, помещенного в рабочую жидкость гидросистемы предлагается непосредственное измерение емкости конденсатора с использованием соответствующего измерительного устройства или бортового микроконтроллера. Этот способ позволяет существенно упростить определение емкости конденсатора, позволяет повысить оперативность проводимого контроля технического состояния рабочей жидкости. Кроме того, информационная система, основанная на данном способе измерения емкости, позволит оценивать состояние рабочей жидкости по этому критерию в динамике.

Для постоянной диагностики фактического состояния рабочей жидкости необходима автоматизированная информационно-измерительная система, которая будет собирать и обрабатывать информацию о состоянии рабочей жидкости гидросистемы технологического оборудования в течение всего его периода работы. На рисунке 1 приведена структура такой информационно-измерительной системы.

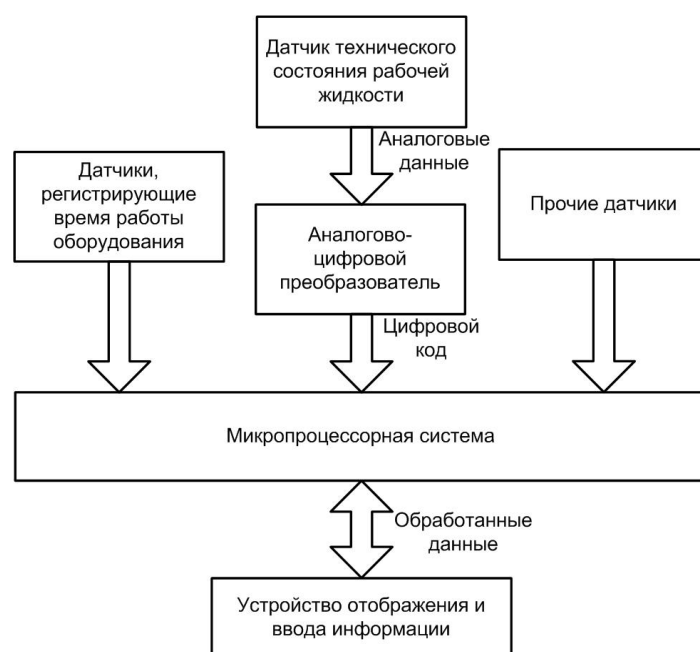


Рис. 1. Структура информационно-измерительной системы диагностики состояния рабочей жидкости

Разработанная структура информационно-измерительной системы диагностики состояния рабочей жидкости основана на работе 3-х датчиков: один из них регистрирует состояние рабочей жидкости в гидросистеме, второй – время работы технологического оборудования, а также прочие датчики. Датчик технического состояния рабочей жидкости является аналоговым и требует преобразования своей выходной информации в цифровой код, далее обрабатываемый в микропроцессорной системе и выводимый на устройство отображения.

Библиографический список

1. Ковалев А.В., Трушин Н.Н., Сальников В.С. Прогнозирование технического состояния технологического оборудования/ Известия ТулГУ. Технические науки. Вып. 11 Часть 2. – Тула: ТулГУ, 2014. – с. 536 – 545.

2. Техническая диагностика гидравлических приводов/ Алексеева Т.В., Бабанская В.Д., Башта Т.М. и др.; Под общ. ред. Т.М. Башты. – М.: Машиностроение, 1989. – 264 с.
3. Чмиль, В. П. Гидропневмопривод: монография / В. П Чмиль; СПбГАСУ. – СПб., 2010. – 176 с.
4. Трушин Н.Н. Организационно – технологическая структура производственного процесса на машиностроительном предприятии: монография/ Тула: ТулГУ, 2003. – 230 с.
5. Власов Ю. А. Методология диагностики агрегатов автомобилей электрофизическими методами контроля параметров работающего масла : дис. ... д-ра техн. наук. Томск, 2015. 368 с.
6. Борисова Г.А., Койков С.Н. Физика диэлектриков. – Л.: Изд-во Ленинградского ун-та, 1979. – 240 с.

УДК 681.518.3:616-07; ГРНТИ 76.13.15

УСТРОЙСТВО ДЛЯ МОНИТОРИРОВАНИЯ ВРЕМЕННЫХ ПАРАМЕТРОВ СЕРДЕЧНОГО РИТМА НА ОСНОВЕ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

О.В. Мельник, Ю.А. Челебаева

*Рязанский государственный радиотехнический университет,
Россия, Рязань, chel-juliya@yandex.ru*

Аннотация. В данной работе показана возможность использования нейросетевых структур, аппаратно реализованных на ПЛИС, в задаче создания устройства для мониторинга сердечного ритма. Предложены структурная схема устройства для мониторинга временных параметров сердечного ритма и нейросетевые структуры для выявления ряда классов аритмий.

Ключевые слова: кардиомонитор, нейронная сеть, электрокардиограмма.

DEVICE FOR MONITORING THE HEART RATE TIME PARAMETERS BASED ON ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS

O.V. Melnik, Y.A. Chelebaeva

*Ryazan State Radio Engineering University,
Russia, Ryazan, chel-juliya@yandex.ru*

Abstract. In this paper the possibility of using of neural network structures, particular hardware implemented on FPGA, in the task of creating a device for heart rate monitoring is shown. A structural diagram of the device for heart rhythm time parameters monitoring and structures of neural network to identify a number of classes of arrhythmias are proposed.

Keywords: the heart monitor, neural network, electrocardiogram.

Введение

Нарушения ритма сердца являются осложнением многих сердечно-сосудистых и экстракардиальных заболеваний. Возникновение аритмий часто значительно утяжеляет клиническое течение заболеваний и нередко является причиной смерти кардиологических больных. Вместе с тем существуют и абсолютно безопасные нарушения ритма [1]. Задачей автоматизированного анализа сердечного ритма в режиме реального времени является обнаружение ранних аритмий с целью их эффективного лечения и предотвращения катастрофических и непосредственно угрожающих жизни аритмий [2].

Признаки нарушений ритма и проводимости сердца заключены в изменениях, как формы анализируемого сигнала, так и временных интервалов между желудочковыми комплексами зубцов электрокардиограммы (ЭКГ). Практически для любого прибора или системы контроля аритмий обработка поступающей ЭКГ выполняется в следующей последовательности [3]:

- 1) Первичная обработка. На данном этапе сигнал усиливается и фильтруется в полосе частот от 0,1 Гц до f_v , причем автоматически стабилизируется изолиния. Величина $f_v=20-100$ Гц и в разных системах различна. Затем происходит аналого-цифровое преобразование сигнала для последующей цифровой обработки.
- 2) Обнаружение QRS-комплексов ЭКГ, формирование значений RR-интервалов (кардиоритмограммы) и нахождение характерных отсчетов описания каждого QRS-комплекса.
- 3) Классификация формы QRS-комплекса, которая производится производится в текущем режиме, например, путем сравнения каждого QRS-комплекса ЭКГ с некото-

рыми эталонами, и формирование информативных параметров аритмий. Диагностическую значимость имеют временное положение QRS-комплекса и характеристики его формы, которые могут быть вычислены по найденным отсчетам начала, конца и вершины каждого зубца.

4) Анализ сердечных аритмий. Для распознавания как правило используются простые логические решающие правила, состоящие из условий, накладываемых на последовательность RR-интервалов и форму желудочкового комплекса

5) **Формирование сигналов тревоги.** Производится по выходной диагностической информации, получаемой на этапах обнаружения QRS-комплекса и анализа аритмий.

Аппаратура для следящего контроля параметров ритма сердца выполняется в виде отдельных приборов – кардиомониторов или в виде модулей мониторинговых систем контроля состояния больных. Согласно принятой классификации мониторинговых систем, различают инструментальные и вычислительные мониторинговые системы. *Инструментальные* системы основаны на аналоговой и дискретной аппаратуре измерения физиологических параметров и обработки данных, надежны и недороги, но обладают ограниченными техническими возможностями. В *вычислительных* системах роль логического блока выполняет цифровая ЭВМ, куда данные с выхода преобразователя поступают через аналого-цифровой преобразователь. На сегодняшний день существует возможность объединить преимущества инструментального и вычислительного подходов к построению устройства для мониторинга сердечного ритма на основе микросхем ПЛИС (программируемые логические интегральные схемы), обладающих свойством многократного перепрограммирования.

Для решения задачи классификации особенностей сердечного ритма на основе обработки кардиоинтервалограммы может быть использован аппарат искусственных нейронных сетей. Применение программируемой логики делает возможным и экономически эффективным выполнение в аппаратной среде интеллектуальной обработки на всех рассмотренных этапах контроля аритмий, начиная от аналого-цифрового преобразования [4, 5], и заканчивая анализом и формированием сигналов тревоги.

Структура устройства для мониторинга временных параметров сердечного ритма

Признаки нарушений ритма и проводимости сердца в общем случае заключены в изменениях как формы анализируемого сигнала, так и временных интервалов между желудочковыми комплексами зубцов ЭКГ. Ряд аритмий, таких, как тахи- и брадикардии, изменчивость синусового ритма, сино-аурикулярные блокады по Мобитц-1 и Мобитц-2, могут быть выявлены на основе анализа только временных интервалов.

Рассмотрим принципы использования нейросетевых структур в задаче контроля временных параметров сердечного ритма, заключенных в кардиоритмограмме (КРГ).

Структурная схема предполагаемого устройства показана на рисунке 1. Устройство состоит из двух основных блоков: нейросетевая подсистема преобразования [4, 5] и нейросетевая подсистема обработки сигналов кардиоритмограммы. С выхода подсистемы преобразования снимаются значения RR-интервалов, на основе которых подсистема обработки выдает диагностические признаки. Обе подсистемы реализуются на основе программируемой логической интегральной схемы (ПЛИС). Конфигурационное ПЗУ хранит конфигурационную последовательность для ПЛИС. Кварцевый генератор задает тактирование устройства.

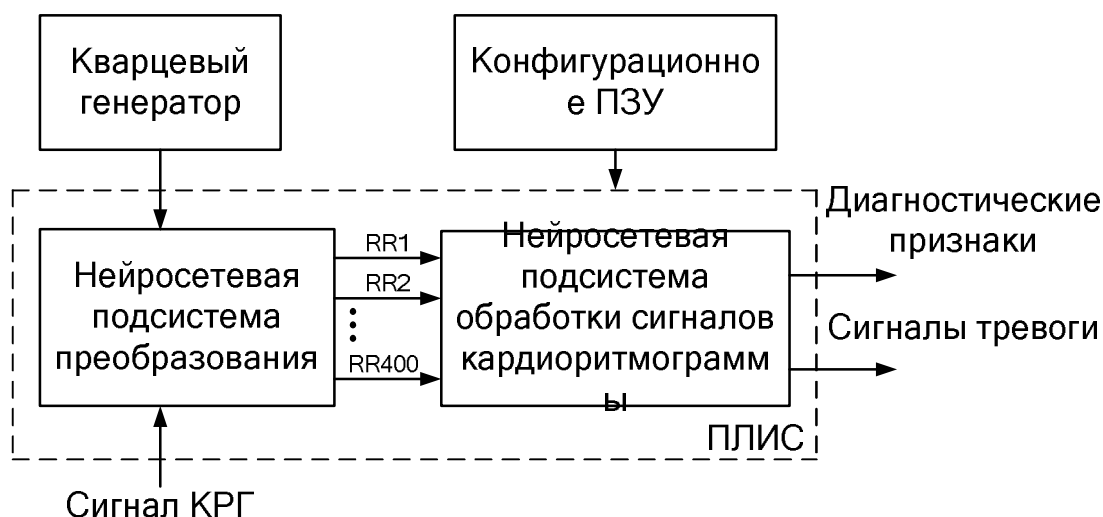


Рис. 1. Структурная схема устройства для мониторингирования временных параметров сердечного ритма

Структуры нейронной сети для анализа кардиоритмограммы

Сеть для нахождения градаций частоты сердечных сокращений (ЧСС) показана на рисунке 2. Такая сеть представляет собой двухслойный персептрон. Входом сети является значение ЧСС, а выходами – градации ЧСС.

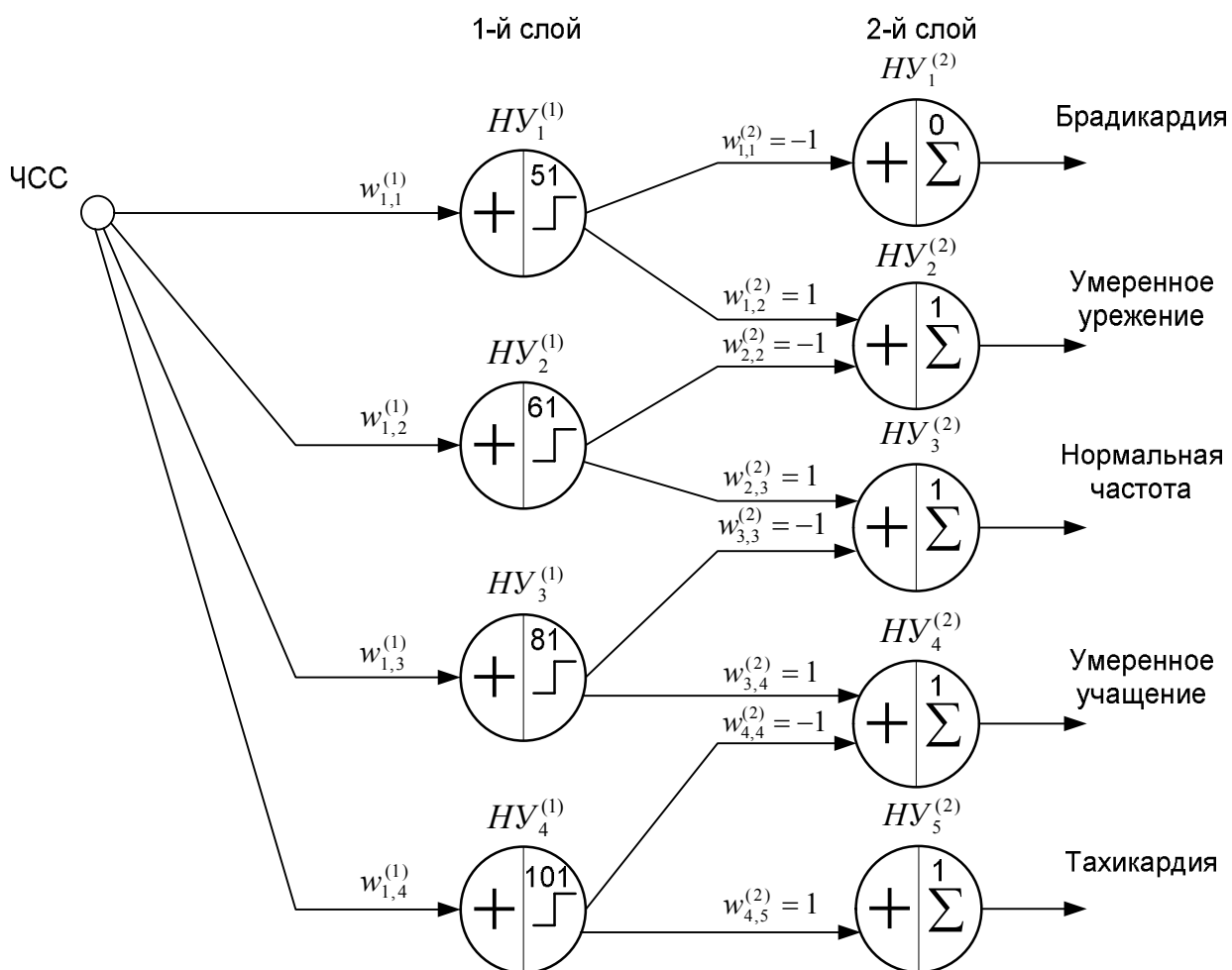


Рис. 2. Нейронная сеть для нахождения градаций ЧСС

Для определения типа синусового ритма на КРГ выбран однослойный персептрон (рис. 3). Входами сети являются минимальное и максимальное значение RR-интервала.

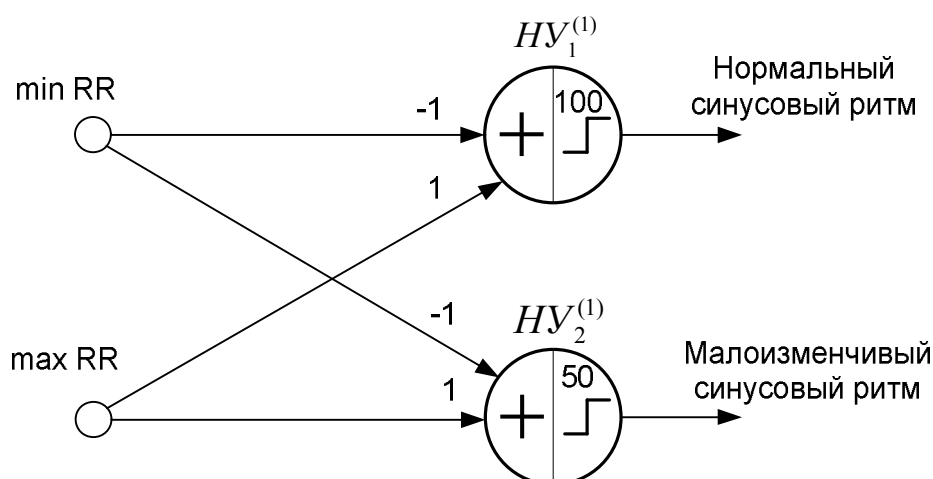


Рис. 3. Нейронная сеть для определения синусового ритма на КРГ

Выводы

Построение устройств для мониторингирования сердечного ритма на основе микросхем ПЛИС делает возможным и экономически эффективным выполнение в аппаратной среде интеллектуальной обработки на всех этапах контроля аритмий, начиная от аналого-цифрового преобразования, и заканчивая анализом и формированием сигналов тревоги. В данной работе предложены структурная схема устройства для мониторингирования временных параметров сердечного ритма и нейросетевые структуры для выявления ряда классов аритмий. Преимуществом предлагаемого устройства по сравнению с аналогами является введение нейросетевого преобразователя частотно-временных параметров сигналов кардиоритмограммы в код вместо преобразователя на основе жесткой логики, а также введения блока нейросетевой обработки сигналов кардиоритмограммы.

Предлагаемый подход к построению устройств контроля сердечного ритма в режиме реального времени может быть использован как для мониторинга уже диагностированной аритмии, особенно в палатах интенсивной терапии, так и для профилактики и ранней диагностики, особенно у людей с высоким риском сердечно-сосудистых заболеваний.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-37-60114 мол_а_дк «Методы и автоматизированная система для контроля функционального и психоэмоционального состояния человека в процессе повседневной деятельности».

Библиографический список

1. Руководство по кардиологии: учебное пособие в 3 т. / под ред. Сторожакова Г.И., Горбаченкова А.А. – 2009. – Т. 3. – 512 с.
2. Мельник О.В., Челебаев С.В., Челебаева Ю.А. Анализ сердечного ритма в режиме реального времени на основе искусственных нейронных сетей // Биотехносфера, № 6, 2016. С. 33-39.
3. Ахутин В.М., Немирко А.П., Першин Н.Н., Пожаров А.В., Попечителей Е.П., Романов С.В. Биотехнические системы: теория и проектирование. Учебное пособие. ГОУ ОГУ, 2008. 204 с.
4. Челебаев С.В., Челебаева Ю.А. Нейросетевые преобразователи частотно-временных параметров сигналов в цифровой код двух переменных на основе персептронных сетей // Успехи современной радиоэлектроники № 10, 2014. – М.: Радиотехника, 2014. – С. 50-56.
5. Челебаев С.В., Челебаева Ю.А. Структуры нейросетевых преобразователей частотно-временных параметров сигналов в цифровой код двух переменных на основе модифицированных персептронных сетей // Вестник РГРТУ №4 (выпуск 50), часть 2. – Рязань: РГРТУ, 2014. – С. 58-64.

МОНИТОРИНГ И СЪЕМ БИОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ГОЛОВНОГО МОЗГА МЕТОДОМ ДИСТАНЦИОННОГО КОНТРОЛЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ПАЦИЕНТА

А.С. Жарова*, М.Г. Кузнецов**

**Рязанский государственный радиотехнический университет, /ООО ИК «СИБИНТЕК»,
Россия, Рязань, Anastasiya1217@mail.ru,*

***Рязанский государственный радиотехнический университет,
Россия, Рязань, kuznecovmg@gmail.com*

Аннотация: В данной работе исследованы методы и средства дистанционного контроля функционального состояния пациента, способные производить управляемый мониторинг и съем биоэлектрических сигналов для диагностики головного мозга.

В среде программирования LabVIEW построен виртуальный прибор, позволяющий определять амплитудные характеристики колебаний.

Ключевые слова: дистанционный контроль, спектральный анализ, сигнал ЭЭГ, ИК диоды.

MONITORING AND RENTING OF BIOELECTRIC SIGNALS FOR DIAGNOSTICS OF THE BRAIN BY METHOD OF REMOTE CONTROL OF THE FUNCTIONAL CONDITION OF THE PATIENT

A.S. Zharova *, M.G. Kuznetsov**

**Ryazan State Radio Engineering University, / LLC IK «Sibintek»,
Russia, Ryazan, Anastasiya1217@mail.ru,*

***Ryazan State Radio Engineering University,
Russia, Ryazan, kuznecovmg@gmail.com*

Abstract. In this work methods and the means of remote control of a functional condition of the patient capable to make the operated monitoring and renting of bioelectric signals for diagnostics of a brain are investigated.

In the LabVIEW programming environment the virtual device allowing to define amplitude characteristics of fluctuations is constructed.

Keywords: distant monitoring, spectrum analysis, signal of EEG, IK diodes..

В настоящее время регистрация ЭЭГ возможна только при наличии специальной шапочки-шлема с электродами-антеннами, соединенными с самим прибором по средствам проводов. Так как современные электроэнцефалографы представляют собой многоканальные (до 24 каналов) регистрирующие устройства, то использование такой системы причиняет серьезные неудобства пациенту (наличие большого количества проводников, от 16 до 128), затрачивает большое количество времени на установку и проверку контактов, а главное наличие массы соединительных проводников может случайно изменять пространственное расположение электродов на голове, что приведет к значительному ослаблению биосигналов, максимальное значение которых и так не превышает 200 мкВ. Также недостатком существующего метода является наличие всегда сторонних электромагнитных помех, индуцирующих паразитные ЭДС в соединительных проводниках и искажающих полезные сигналы, одной из которых является мощная наводка от электросети 220 В, 50 Гц.

В связи с этим становится актуальной задача разработки системы беспроводной регистрации ЭЭГ. Разрабатываемая система позволит дистанционно производить управляемый мониторинг и съем биоэлектрических сигналов с высокой степенью помехоустойчивости и оперативностью, используя оптические средства на основе твердотельных свето- и фотодиодов в качестве способа передачи информации на приемник в режиме реального времени.

Такая методика позволит:

- снизить влияние сторонних помех за счет использования оптического канала передачи данных, так как сразу отсекается помеха от сети в 50Гц;
- устранить помеху, связанную с тремором головы (шлем жестко фиксирует положение электродов, не причиняя дискомфорта пациенту);
- снизить уровень артефактов при регистрации электропотенциалов;
- модифицировать диагностические методики, внедрить диагностику, когда пациент может как классически проходить исследование ЭЭГ, так и активно, занимаясь какой-

либо деятельностью под наблюдением специалистов не опасаясь, что полученные данные будут не достоверны [1].

ВП (виртуальный прибор), позволяющий детектировать колебания альфа, бэта, тэта ритмов, определять амплитудные характеристики колебаний, будем строить в среде программирования LabVIEW.

Спектральный анализ ЭЭГ позволяет получить тонкую характеристику частотного состава ЭЭГ в количественных величинах. На спектрограммах (СГ) находит отражение мощность мкВ² или амплитуда мкВ частотных составляющих ЭЭГ за данный исследуемый отрезок времени. Это дает возможность определить соотношение разных ритмов, составляющих ЭЭГ, и выявить те частоты, которые не определяются при визуальном анализе в связи с их малой амплитудой или замаскированностью другими ритмами. Спектр мощности ЭЭГ может быть вычислен с помощью быстрого преобразование Фурье.

Анализировать ЭЭГ будем на основе спектрального подхода. Сигнал от каждого электрода разлагается в ряд Фурье

$$s(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{k=1}^{\infty} \left(a_k \cos \frac{k\pi t}{l} + b_k \sin \frac{k\pi t}{l} \right), \quad (1)$$

где коэффициенты a_k , b_k определяются по следующим формулам:

$$a_0 = \frac{1}{l} \int_{-l}^l s(t) dt, \quad a_k = \frac{1}{l} \int_{-l}^l s(t) \cos \frac{k\pi t}{l} dt, \quad (2)$$

$$b_k = \frac{1}{l} \int_{-l}^l s(t) \sin \frac{k\pi t}{l} dt. \quad (3)$$

Величина $\sqrt{a_k^2 + b_k^2}$ наносится на график в зависимости от частоты, далее для ЭЭГ больных людей соответствующая точка должна будет окрашиваться в красный цвет, для ЭЭГ здоровых – в синий. Далее выбирается критическая область как объединение поверхности, внутри которой находится достаточно много красных точек и относительно мало синих, и максимально допустимого числа точек внутри этой поверхности [2].

Блок – диаграмма виртуального прибора алгоритма построения частотного спектра мощности электроэнцефалограммы в среде LabVIEW приведена на рисунке 1.

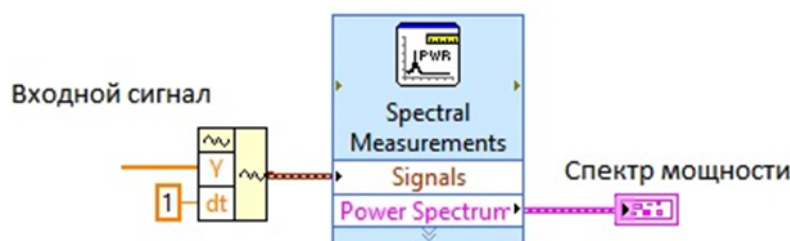


Рис. 1. Блок-диаграмма виртуального прибора построения частотного спектра мощности электроэнцефалограммы

Входной сигнал преобразуется в тип Waveform (с использованием блока Build Waveform) и подаётся на вход блока Spectral Measurements. Блок Spectral Measurements (спектральные измерения) можно сконфигурировать различным образом. Окно конфигурации блока Spectral Measurements приведено на рисунке 2.

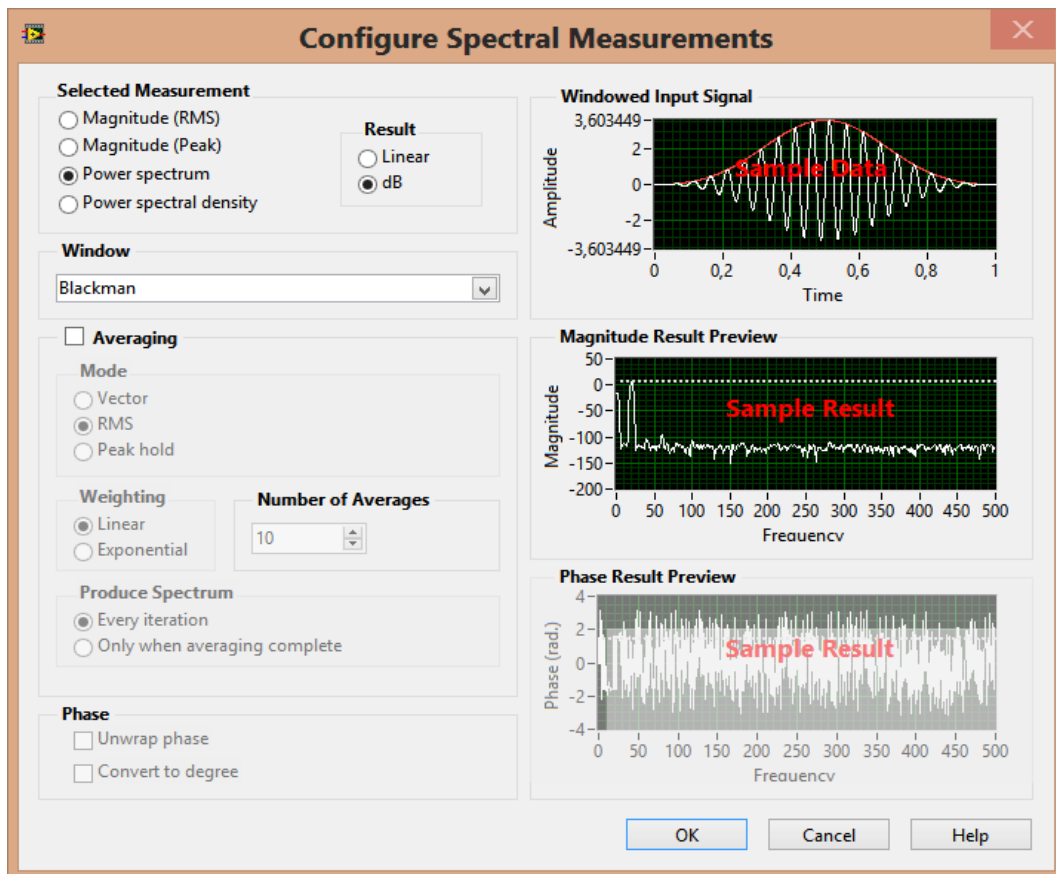


Рис. 2. Окно конфигурации блока Spectral Measurements

В меню Selected Measurement выбирается тип измерения, в нашем случае это Power Spectrum (спектр мощности). В меню Result выбирается итоговое представление результата - линейная (Linear) или логарифмическая (dB) шкала. На выходе блока Spectral Measurement получается спектр мощности [3].



Рис. 3. Результаты работы схемы построения альфа ритма и вычисление его мощности

В разрабатываемом устройстве для мониторинга и съема биоэлектрических сигналов для диагностики головного мозга методом дистанционного контроля функционального состояния пациента будут использоваться ИК диоды, которые позволяют избавиться от помех, в то время как в ближайшем зарубежном аналоге NeuroSky иной способ передачи сигнала, в связи с этим в созданной программе включен блок фильтрации, для устранения артефактов с исходной ЭЭГ.

Библиографический список

1. Жарова А.С. Спектральный анализ для мониторинга потенциалов головного мозга // Биотехнические, медицинские и экологические системы и комплексы (Биомедсистемы-2015): материалы XXVIII Всероссийской научно-технической конференции. Рязань: РГРТУ, 2015. – С. 279-281.
2. Зенков Л.Р., Ронкин. М.А. Функциональная диагностика нервных болезней. Руководство для врачей. – 3-е изд. – М.: МЕДпресс-информ, 2004. – 368 с.
3. Останин С.А. LabVIEW в биомедицине. – Барнаул: Изд-во АГМУ, 2009. – 226 с.

УДК 519.7

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ В МЕДИЦИНЕ

Е.Д. Семёнкин, С.Л. Яблочников

*Московский технический университет связи и информатики,
Россия, Москва, esem2145@yandex.com, yablochnikov_sl@mtuci.ru*

Аннотация. Произведён обзор математических моделей, применяемых для разработки и проектирования медицинских систем виртуальной реальности.

Ключевые слова: виртуальная реальность, математическое моделирование, медицинское приборостроение.

MATHEMATICAL MODELS OF VIRTUAL REALITY IN MEDICINE

E.D. Semenkin, S.L. Yablochnikov

*Moscow Technical University of Communications and Informatics,
Russia, Moscow, esem2145@yandex.com, yablochnikov_sl@mtuci.ru*

Annotation. Presents a review of mathematical models used for the development and design of medical virtual reality systems.

Keywords: virtual reality, mathematical simulation, medical instrumentation.

В научной литературе виртуальную реальность характеризуют, как созданное искусственным путём, с использованием определённых аппаратных и программных решений, пространство. Симуляцию виртуальной реальности можно охарактеризовать как воздействие на определенные органы чувств пользователя, позволяющее последнему испытать максимально приближенный к реальному набор ощущений в рамках симулируемой среды, который может сводиться как к пассивному наблюдению, так и к активному взаимодействию с моделируемым пространством [1].

Одной из областей человеческой деятельности, где виртуальная реальность нашла обширное и эффективное применение, является сфера здравоохранения, уровень возможностей работников которой существенно возрастает благодаря использованию на практике средств виртуальной реальности. В связи с тем, что совершенствование путей решения медицинских проблем играет важную роль для общего развития человеческого общества, разработка методов и средств виртуальной реальности для обучения медицинского персонала обладает значительной актуальностью [2]. На данный момент технология тренажёров виртуальной реальности представляет собой сложное сочетание систем моделирования, визуализации и определённых методик. Тренажёры виртуальной реальности, применяемые в области медицины, преимущественно направлены на подготовку высококвалифицированных врачей, их обучение грамотному проведению диагностики и хирургических операций [3].

На сегодняшний день разделом хирургии, наиболее нуждающимся в грамотной подготовке специалистов с помощью тренажёров виртуальной реальности, научное сообщество счи-

тает лапароскопию. Лапароскопия представляет собой метод проведения хирургических операций, при котором все манипуляции осуществляются через несколько небольших проколов (вместо одного крупного разреза): через один в оперируемую область закачивается углекислый газ, чтобы увеличить расстояние между внутренними органами и облегчить доступ инструментов; через другой вводится трубка со встроенной камерой и подсветкой, позволяющими хирургу наблюдать за собственными действиями; один/два оставшихся прокола используются для введения самих инструментов. Проведение подобных операций требует от хирурга весьма высокого уровня навыков, однако существующие сегодня тренажёры для обучения лапароскопии не слишком активно задействуют виртуальную реальность [4].

Наиболее известными лапароскопическими тренажёрами являются такие модели как: Lap Mentor, Lap Trainer, LapSim, SimSurgery, RuSim и др. Все перечисленные устройства обладают схожей конструкцией и принципом работы: в них используются механические манипуляторы с тактильной отдачей, а также готовая программа, демонстрирующая на экране действия обучающегося. Использование виртуальной реальности для обучения лапароскопии способно дать медицинскому работнику гораздо более обширное представление о взаимодействии внутренних органов и возможных манипуляциях с ними, а также возможность взглянуть на проблему с различных сторон [5]. Основываясь на существующих научных статьях, можно прийти к заключению, что создание виртуального тренажёра, позволяющего обучить медицинских работников корректному проведению лапароскопических операций, способно дать развитию области виртуальных медицинских тренажёров в целом и разделу лапароскопии в частности существенный толчок.

Основной задачей при создании лапароскопического тренажёра виртуальной реальности является адекватное моделирование биологических процессов, протекающих внутри органов человека. Основываясь на корректной модели подобных процессов, можно грамотно смоделировать реакции этих органов на манипуляции хирурга [6]. В научной литературе наиболее распространёнными математическими моделями, используемыми для тренажёров виртуальной реальности, являются модели с распределёнными параметрами. Подобные модели могут применяться для описания процессов диффузии, теплопроводности, распространения волн различной длины и т.д. Большинство учёных из моделей с распределёнными параметрами выделяют нелинейные уравнения Навье-Стокса, ввиду того обстоятельства, что они подходят для моделирования множества биологических и физиологических процессов [7, 8]. Далее будет рассмотрен ряд математических моделей, предлагаемых различными авторами в рамках их работ, многие из которых возможно задействовать при создании медицинского тренажёра виртуальной реальности.

Авторы статьи «Численное моделирование в медицине: Некоторые постановки задач и результаты расчётов» О.Ф. Воропаева и Ю.И. Шокин [9] предлагают использовать трёхмерные стационарные уравнения Навье-Стокса, имеющие следующий вид:

$$\frac{\partial}{\partial x_i} \left(\rho u_i \phi - \rho D \frac{\partial \phi}{\partial x_i} \right) = -\rho V_M \rho_{cell} \frac{\phi}{\phi + \alpha_{KM}},$$

где $\phi = \alpha * pO_2$ - концентрация кислорода, D – коэффициент диффузии, принимающий разные значения для плазмы крови и питательной среды, для создания модели потребления и транспорта кислорода в модели искусственной печени.

В работе Д.А. Дэниелсона «Human skin as an elastic membrane» [10] предлагается моделирование кожи как вязкоупругой среды в случае больших деформаций со следующим уравнением состояния:

$$\tau^{\alpha\beta} = A^{\alpha\beta\lambda\mu} \gamma_{\lambda\mu} \exp (B^{k\delta} \gamma_{k\delta} + C \gamma^{\rho\phi} \gamma_{\rho\phi}),$$

где C – скаляр, A и B – материальные константы, нуждающиеся в экспериментальном определении.

Статья «Analysis of tissue and arterial blood temperature in the resting human forearm» [11] содержит уравнение биотепла, в котором заключается моделирование распространения тепла в живых организмах:

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} + \nabla(-k \nabla T) = w_b \rho_b c_b (T_b - T) + Q,$$

где ρ, c, T – плотность, удельная теплоёмкость и локальная температура ткани; w_b, ρ_b, c_b, T_b – скорость перфузии, плотность, удельная теплоёмкость и температура крови соответственно.

В любом медицинском тренажёре виртуальной реальности необходимо учитывать процессы функционирования и соответствующие реакции сосудов. В работах [12-15] описана комплексная нелокальная математическая модель сердечно-сосудистой системы, спроектированная таким образом, что каждому ребру графа (кровеносному сосуду) сопоставляется система уравнений гемодинамики следующего вида:

$$\begin{aligned} \frac{\partial s}{\partial t} + \frac{\partial us}{\partial x} &= 0, \\ \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{u^2}{2} \right) + \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} &= F_t + F_{tr} \end{aligned}$$

где s – площадь поперечного сечения сосуда; u – скорость течения крови; p – давление, t – время; x – локальная пространственная координата, ρ – плотность крови; F_t, F_{tr} – сила тяжести и сила трения.

Согласно материалам работы [16], для моделирования реакции нервных волокон хорошо подходит классическая модель Ходжкина-Хаксли генерации нервного импульса в нервных волокнах. Первое из уравнений модели является законом Кирхгофа, остальные строятся на основе экспериментальных данных:

$$\begin{aligned} \frac{\partial V}{\partial t} &= \Delta V - C^{-1} [\bar{g}_K (V - V_K) n^4 + \bar{g}_{Na} (V - V_{Na}) m^3 h + \bar{g}_l (V - V_l)], \\ \frac{\partial n}{\partial t} &= \frac{0.01(10 - V)}{\exp(0.1(10 - V)) - 1} (1 - n) - 0.125 \exp\left(-\frac{V}{80}\right) n, \\ \frac{\partial m}{\partial t} &= \frac{0.1(25 - V)}{\exp(0.1(25 - V)) - 1} (1 - m) - 4 \exp\left(-\frac{V}{18}\right) m, \\ \frac{\partial h}{\partial t} &= 0.07 \exp\left(-\frac{V}{20}\right) (1 - h) - \frac{1}{\exp(0.1(30 - V)) + 1} h \end{aligned}$$

Для анализа динамики несвязанных нервных импульсов авторы работы [17] предлагают применять следующую систему уравнений для амплитуд оболочек нервных импульсов:

$$\begin{aligned} i \frac{\partial \psi_1}{\partial t} + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 \psi_1}{\partial x^2} + \beta \psi_1 + i \gamma \psi_1 + \frac{2}{3} \alpha (|\psi_1|^2 + 2|\psi_2|^2) \psi_1 &= 0, \\ i \frac{\partial \psi_2}{\partial t} + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 \psi_2}{\partial x^2} + \beta \psi_2 + i \gamma \psi_2 + \frac{2}{3} \alpha (|\psi_2|^2 + 2|\psi_1|^2) \psi_2 &= 0 \end{aligned}$$

Адекватное воссоздание реакций внутренних органов на манипуляции хирурга требует учесть динамику свёртывания крови. Согласно тексту работы [18], она может определяться производством и распределением по пространству веществ, выступающих в качестве активаторов и ингибиторов полимеризации фибрина – процесса, завершающего каскад реакций свёртывания крови:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \theta}{\partial t} &= D_1 * \Delta \theta + \frac{\alpha \theta^2}{\theta + \theta_0} - \gamma \theta \phi - \kappa_1 \theta, \\ \frac{\partial \phi}{\partial t} &= D_2 * \Delta \phi + \beta \theta \left(1 - \frac{\phi}{C} \right) \left(1 + \frac{\phi^2}{\phi_0^2} \right) - \kappa_2 \phi, \end{aligned}$$

$$\frac{\partial \psi}{\partial t} = k\theta,$$

где θ – концентрация активатора свёртывания, ϕ – концентрация ингибитора, ψ отображает степень полимеризации фибрина, $\alpha, \beta, \gamma, C, \kappa_1, \kappa_2, \phi_0, \theta_0$ – кинетические параметры.

Для случая взаимодействия с костной структурой следует рассмотреть систему динамических уравнений, включающую в себя уравнения движения и предназначенную для математического моделирования волновых процессов в деформируемом твёрдом теле [19, 20]:

$$\rho \dot{v}_i = \nabla_j \sigma_{ij}$$

и реологическое соотношение:

$$\dot{\sigma}_{ij} = q_{ijkl} \dot{\varepsilon}_{kl} + F_{ij},$$

где ρ – плотность среды, v_i – компоненты скорости смещения, $\sigma_{ij}, \varepsilon_{ij}$ – компоненты тензоров напряжения и деформаций, ∇_j – ковариантная производная по j -й координате, F_{ij} – добавочная правая часть. Вид компонент тензора четвёртого порядка q_{ijkl} определяется реологией среды; для линейно-упругого тела принимается соотношение, обобщающее закон Гука:

$$q_{ijkl} = \lambda \delta_{ij} \delta_{kl} + \mu (\delta_{ik} \delta_{jl} + \delta_{il} \delta_{jk}),$$

где λ, μ – параметры Ляме, δ_{ij} – символ Кронекера. Плотность определяется из уравнения состояния:

$$\rho = \rho_0 \exp\left(\frac{p}{K}\right),$$

где $p = -\frac{1}{3} \sum \sigma_{kk}$ – давление, $K = \lambda + \frac{2}{3} \mu$ – коэффициент всестороннего сжатия.

Вышеописанная модель применяется для численного исследования механизма передачи нагрузки из пострадавшей области черепа – мозгу.

Для реализации математического моделирования в рамках указанной выше задачи могут быть использованы и иные подходы, в частности, представленные в литературе [21-23].

Таким образом, в рамках данной работы был осуществлён анализ научной литературы, связанной с математическими моделями различных явлений и процессов, протекающих в организме человека, которые применяются в системах виртуальной реальности, проектируемых для использования в сфере здравоохранения. В частности, ряд моделей был подробно рассмотрен применительно к вопросу проектирования тренажёра виртуальной реальности для обучения медицинских работников проведению лапароскопии. На основании проведённого анализа нами был сделан вывод о высокой степени проработки математического моделирования в области виртуальной реальности, а также о возможности применения комплекса различных моделей для проектирования лапароскопического тренажёра виртуальной реальности.

Библиографический список

1. Heim Michael. The Metaphysics of virtual reality // Virtual reality: theory, practice and promise / Ed. Sandra K. Helsel and Judith Paris Roth. Meck Ier. Westport and London (1991), p. 27-33. 215.
2. Чижов М., Уточкин В., Юсупов О. / 9 сфер применения виртуальной реальности: размеры рынка и перспективы [Электронный ресурс]. – режим доступа: <https://vc.ru/p/vr-use>.
3. Колсанов А.В., Воронин А.С., Яремин Б.И. и др. / Моделирование и визуализация сложных анатомических структур в системе виртуальной реальности для создания обучающих медицинских тренажёров на базе АПК «Виртуальный хирург».
4. Иванов В.М. Тренажёры для обучения лапароскопии и проведения хирургических операций открытого типа // Здоровье – основа человеческого потенциала: проблемы и пути их решения. Вып. №2. Т. 9. 2014. С.720-727.
5. Колсанов А.В., Воронин А.С., Яремин Б.И. Моделирование и визуализация сложных анатомических структур в системе виртуальной реальности для создания обучающих медицинских тренажёров на базе АПК «Виртуальный хирург». Известия Самарского научного центра Российской академии наук, т. 15, №4, 2013. С.242-247.
6. Турлапов В.Е. Задачи и решения компьютерной графики и геометрического моделирования в цифровой биомедицине / GraphiCon 2015. Труды Международной научной конференции. – 2015. С.1-6.

7. Зенкин В.И. / Курс математического и компьютерного моделирования. Калининград. 2015. 190 с.
8. Адекватность и универсальность математической модели. // Официальный сайт Professional Group URL: [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://www.professionalgroup.ru/resheniya/ispolzuyemyie-texnologii/adekvatnost-i-universalnost-matematicheskoy-modeli.html>
9. Воропаева О.Ф., Шокин Ю.И. Численное моделирование в медицине: некоторые постановки задач и результаты расчётов // Вычислительные технологии. Том 17, № 4, 2012. С. 29-55.
10. Danielson D.A. Human skin as an elastic membrane // J. of Biomechanics. 1973. Vol. 6, No. 5. P. 539–546.
11. Pennes H.H. Analysis of tissue and arterial blood temperature in the resting human forearm // J. of Appl. Physiology. 1948. Vol. 1. P. 93–102.
12. Абакумов М.В., Гаврилюк К.В., Есикова Н.Б. и др. Математическая модель гемодинамики сердечно-сосудистой системы // Диф. уравнения. 1997. Т. 33, № 7. С. 892-898.
13. Абакумов Н.В., Ашметков И.В., Есикова Н.Б. и др. Методика математического моделирования сердечно-сосудистой системы // Матем. моделирование. 2000. Т. 12, № 2. С. 106-117.
14. Кошелев В.Б., Мухин С.И., Соколова Т.В. Математическое моделирование гемодинамики сердечно-сосудистой системы с учётом влияния нейрорегуляции // Матем. моделирование. е. 2007. Т. 19, № 3. С. 15-28.
15. Мухин С.И., Меняйлова М.А., Соснин Н.В., Фаворский А.П. Аналитическое исследование стандартных гемодинамических течений в эластичной трубке с учётом трения // Диф. уравнения. 2007. Т. 43, № 7. С. 987-992.
16. Hodgkin A.L., Huxley A.F. A quantative description of membrane current and its application conduction and excitation in nerve // J. Physiol. 1952. Vol. 117. P. 500–544.
17. Hu J., Wang J., Bao X. Characteristics of coupled solitary waves in nerve impulse transmission with dissipation // Intern. J. of Digital Content Technology and its Appl. 2009. Vol. 3, No. 2. P. 1–4.
18. Лобанов А.И., Старожилова Т.К., Зарницына В.И., Атауллага Ф.И. Сравнение двух математических моделей для описания пространственной динамики процесса свёртывания крови // Математическое моделирование. 2003. Т. 15, № 1. С. 14-28.
19. Агапов П.И. Численное моделирование патологических процессов при черепно-мозговых травмах // МКО. 2005. Ч. 2. С. 624-632.
20. Агапов П.И., Белоцерковский О.М., Петров И.Б. Численное моделирование последствий механического воздействия на мозг человека // Журнал вычислительной математики и математической физики. 2006. Т. 46, № 9. С. 1711-1720.
21. Купцов М.И., Яблочников С.Л. Аспекти застосування методу перетворюючої матриці // Фізико-математична освіта: науковий журнал. – 2016. – Вип. 1(7). – С. 87 – 95.
22. Яблочников С.Л. Применение алгоритма резидентной функции в методе группового учета аргументов / Е.А. Завальнюк, С.Л. Яблочников // Висник ВПИ. – 1994.– №1 – С.31–33.
23. Яблочников С.Л. Использование принципа моделирования при создании различных уровней управляемых проектов / П. Доудек, С.Л. Яблочников // Материалы симпозиума с международным участием «Наука и предпринимательство».– Винница-Львов.– 1994. – С.24 – 25.

УДК 615.478.76; ГРНТИ 76.13

МЕДИЦИНСКИЕ ПРИБОРЫ АСПИРАЦИИ С НЕЧЕТКИМ РЕГУЛЯТОРОМ

В.Л. Бурковский, Е.С. Левых

** Воронежский государственный технический университет,
Россия, Воронеж, bvl@vorstu.ru, levich_ekaterina@mail.ru*

Аннотация. В статье рассматривается построение прибора аспирации с регулятором на базе нечеткой логики.

Ключевые слова: аспиратор, нечеткая логика.

THE CONCEPT OF A BUILD DEVICE SUCTION REGULATOR ON THE BASIS OF FUZZY LOGIC

V.L. Burkovsky, E.S. Levikh

Voronezh State Technical University,

Russia, Voronezh, bvl@vorstu.ru, levich_ekaterina@mail.ru

Abstract. The article discusses design of the aspiration device with fuzzy logic regulator.

Keywords: aspirator, fuzzy logic.

По применению аспираторы можно разделить на хирургические, послеоперационные, аспираторы для неотложной помощи, аспираторы для липосакции, а также специализированные аспираторы для эндоскопических операций. Эффективность применения в медицине методов эндоскопии в частности артроскопии, гистероскопии, цистоскопии, фибробронхоскопии, экзогастродуоденоскопии определяется эксплуатационно-техническими потребностями

скими характеристиками комплекса медицинского оборудования, в значительной степени приборами аспирации. Аспираторы должны обеспечивать эффективное удаление вещества (в состоянии близком к жидкому) из различных полостей пациента.

Основными ведущими мировыми фирмами по созданию аспираторов на сегодняшний день являются FAZZINI (Италия) ATMOS (Германия) ATOM MEDICAL (Япония) NOUVAG (VACUSON) (Швеция) [1]. Применение приборов указанных фирм ограничено из-за ценовых показателей, поэтому разработка отечественных приборов аспирации с высокими эксплуатационно-техническими характеристиками является актуальной.

Из большого комплекса эксплуатационно-технических характеристик аспираторов следует выделить наиболее важные, такие как обеспечение регулируемого значения давления (разрежения) со стабилизацией его в широком диапазоне изменения расхода отсасываемой жидкости, при вариации напряжения питания, изменения температуры окружающей среды и т.д., а также обеспечение стабильной скорости отсасываемой жидкости в условиях целого ряда параметрических воздействий. Объектом управления систем автоматического регулирования (САР) приборов аспирации являются системы, состоящие из исполнительного двигателя, контейнеров-сборников, заполненных жидкостью, уровень которой меняется при работе прибора. Параметры жидкости, такие как вязкость, могут также варьироваться в широких пределах. В связи с этим математическое описание объекта управления является неоднозначным, содержащим большое количество варьируемых параметров. Кроме того, одно из основных звеньев - насос аспиратора может быть вакуумным или жидкостным, выполненным, например, по перельстатической схеме, при этом указанные насосы имеют разное математическое описание.

На рисунке 1 представлена функциональная схема системы аспирации на базе вакуумного насоса.

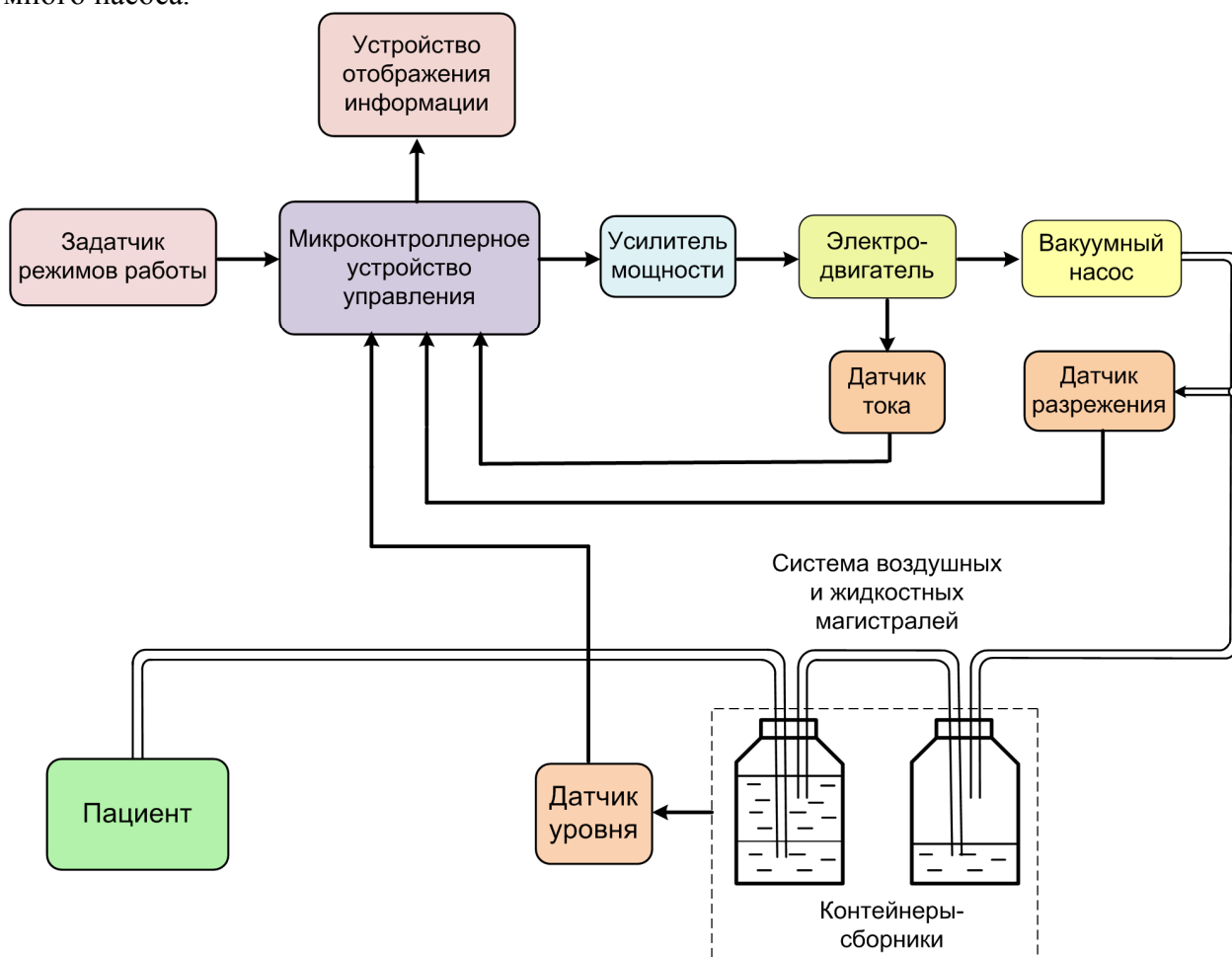


Рис. 1. Функциональная схема системы аспирации на базе вакуумного насоса

Схема включает в себя задатчик режимов работы, передающий микроконтроллерному устройству управления задающие сигналы, устройство отображения информации, показывающее состояние параметров работы в текущий момент времени. Микроконтроллерное устройство управления, использующее информацию о текущем разрежении, токе и уровне заполнения контейнеров-сборников, которая поступает с соответствующих датчиков, формирует управляющее воздействие в соответствии с алгоритмами управления. Управляющее воздействие поступает через усилитель мощности на электродвигатель, который приводит в действие вакуумный насос. При этом создается разрежение в контейнерах-сборниках и происходит аспирация жидкости из полостей пациента.

Классические методы управления хорошо работают при полностью детерминированном объекте управления и детерминированной среде, а для систем с неполной информацией и высокой сложностью объекта управления оптимальными являются нечеткие методы управления. Поэтому, при создании САР прибора аспирации целесообразно применить метод моделирования систем с нечеткой логикой.

В связи с вышеизложенным, ставится задача синтеза алгоритмов управления системы аспирации для микроконтроллерного устройства управления в рамках функциональной схемы, изображенной на рисунке 1, на основе методов нечеткой логики.

Система управления на основе нечеткой логики имеет большие возможности по обеспечению высокого уровня потребительских характеристик такого оборудования при существенно меньшей цене. Целесообразно построение аспираторов по модульному принципу, при котором используется один алгоритм для модульного ряда приборов с разными мощностными, скоростными, и т.д. характеристиками; при этом регулятор будет использовать опыт самой системы без точного моделирования внутреннего устройства системы. Применение такой системы в приборах аспирации сдерживает недостаточная их изученность, отсутствие эффективных алгоритмов системы управления, реализующих требуемые технические решения.

В системах управления с использованием нечеткой логики сложные отношения между входом и выходом динамических процессов описываются набором правил, подразумевающих использование лингвистических переменных вместо усложненной динамической модели. Нечеткая логика поддерживает разработку быстрого прототипа технического устройства с последующим усложнением его функциональности, нечеткая логическая модель более проста для понимания, чем аналогичная математическая модель на основе дифференциальных или разностных уравнений, является более лаконичной реализацией по сравнению с классическими алгоритмами управления техническими системами [2].

Ошибка по разрежению в системе аспирации в случае малой ошибки может ассоциироваться с 2Р, а большая с 5Р. Скорость изменения ошибки может измеряться в Па/мин с малой скоростью в 5Р/мин и большой в 15Р/мин. Эти величины не должны быть симметричными и могут быть настроены для лучшего представления поведения при управлении. В [3] показано, что нечеткая логика позволяет системе работать с первого раза без всякой настройки.

В связи с вышеизложенным, при создании САР прибора аспирации целесообразно применить метод проектирования систем с регулятором на базе нечеткой логики, что позволит упростить настройку системы управления, уменьшить перерегулирование и улучшить качество переходных процессов при варьировании параметров системы, удешевить общий комплекс приборов аспирации, за счет применения унифицированного регулятора и в общем уменьшить затраты по разработке подобных приборов.

Библиографический список

1. Хирургические отсасыватели: устройство, виды и производители [Электронный ресурс], URL: <http://www.kp.ru/guide/meditsinskie-khirurgicheskie-otsasyvateli> (дата обращения 06.02.17).
2. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. – М.: Мир, 1976.
3. Выбираем вакуумный аспиратор [Электронный ресурс], URL: <http://medbuy.ru/articles/vybiraem-vakuumnyj-aspirator> (дата обращения 07.02.17).

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ

А.О. Ложкин, В.И. Жулев

Рязанский государственный радиотехнический университет,
Россия, Рязань, aleksey052@yandex.ru

Аннотация. В данной работе описана разработка системы контроля источника питания. Представлены теоретические основы и результаты работы.

Ключевые слова: средства измерений, сетевое напряжение, микроконтроллер

THE DEVELOPMENT OF THE CONTROL SYSTEM POWER SOURCE

A. Lozhkin, V. I. Zhulev

Ryazan state radio engineering University,
Russia, Ryazan, aleksey052@yandex.ru

Abstract. This paper describes the development of the control system power source. Presents theoretical foundations and results.

Keywords: measuring instruments, voltage, microcontroller

1. Введение

Напряжение является одной из важнейших электрических величин, характеризующих режимы работы электронных и электрических приборов и устройств. Благодаря этому средства измерений (СИ) напряжения получили широкое распространение в различных областях науки, техники и обороны страны, составляя в общей сложности более 40% всех эксплуатируемых в стране электронных СИ. К их числу относятся электронные вольтметры, измерительные генераторы, электронно-лучевые осциллографы, измерительные преобразователи (усилители, делители напряжения и аттенюаторы), измерители коэффициентов гармоник и модуляции, измерительные системы и комплексы и т.д. Самыми массовыми из них являются электронные вольтметры, обладающие важными техническими, метрологическими и эксплуатационными характеристиками [1].

Сетевое напряжение — среднеквадратичное значение напряжения в сети переменного тока, доступной конечным потребителям.

Сетевое напряжение на территории стран бывшего СССР составляет 220 В при частоте 50 Гц. В большинстве европейских стран сетевое напряжение составляет 230 В при частоте 50 Гц. В Северной, Центральной и частично Южной Америке сетевое напряжение составляет 110 В при частоте 60 Гц. За единицу напряжения в СИ принят вольт (В) [2].

Приборами для измерения и контроля напряжения служат вольтметры, мультиметры, потенциометры, осциллографы, измерительные трансформаторы напряжения.

Приборы для измерения и контроля напряжения можно классифицировать по различным признакам: по принципу действия, назначению, конструктивным признакам и классу точности.

2. Разработка системы контроля источника питания

Предложена следующая структурная схема системы контроля источника питания.

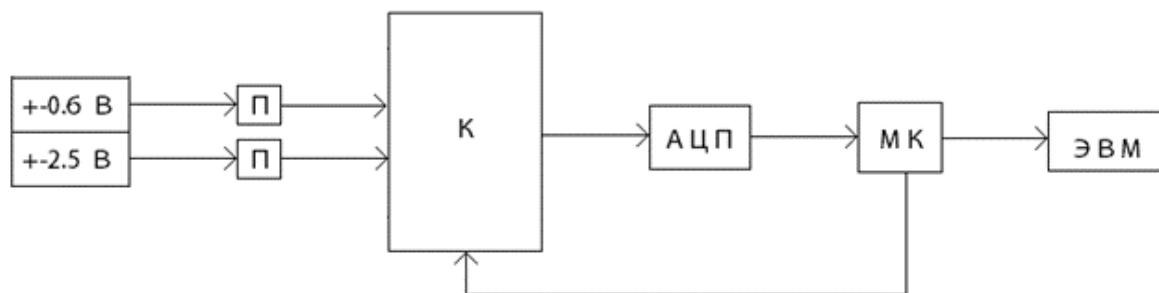


Рис. 1. Структурная схема системы контроля электропитания

МК – микроконтроллер;

ЭВМ – электронно-вычислительная машина;

К – коммутатор;
П – преобразователь;
АЦП – аналого-цифровой преобразователь.

3. Разработка функциональной схемы устройства

Функциональная схема системы контроля электропитания представлена на рисунке 2.

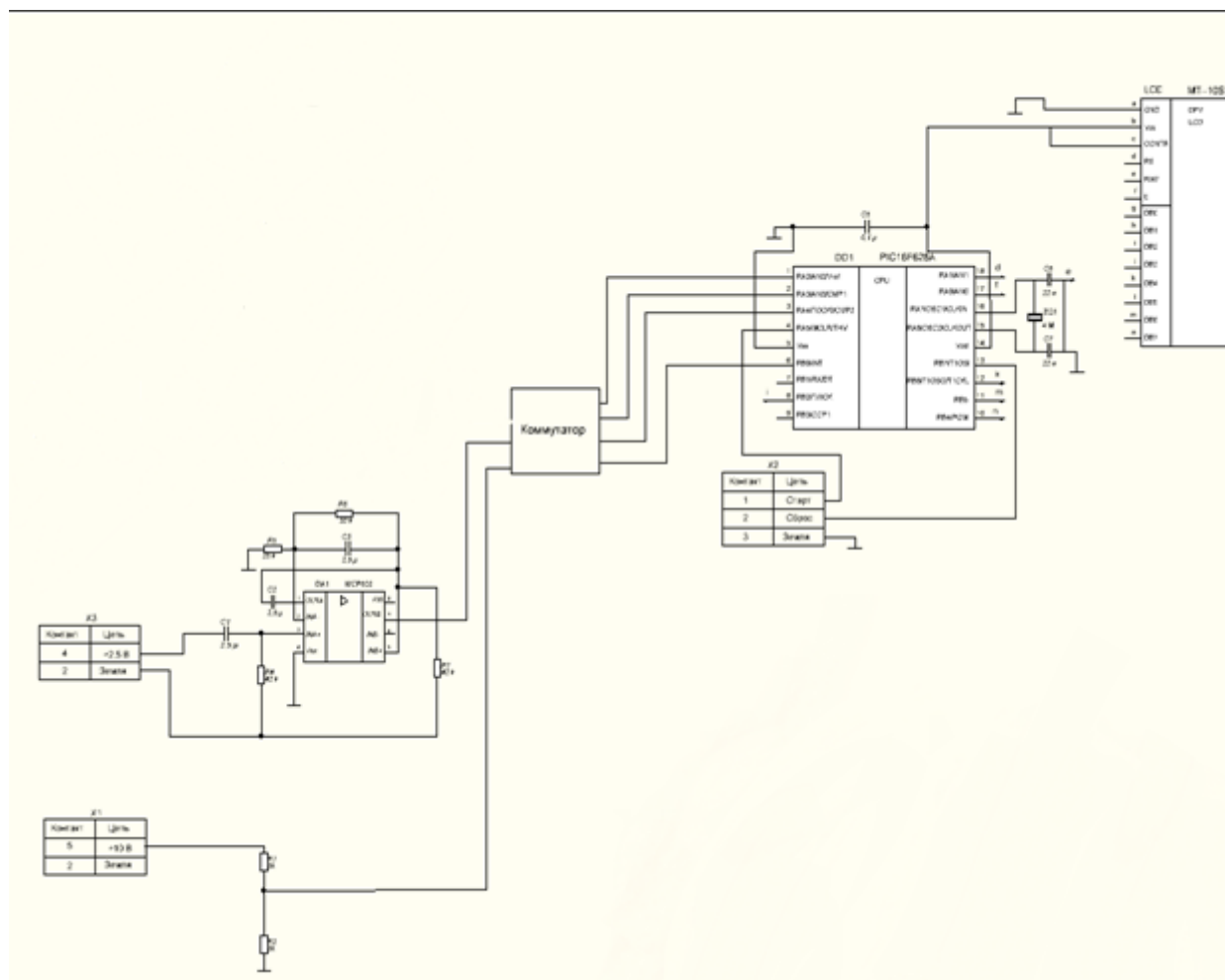


Рис. 2. Функциональная схема системы контроля источника питания

Функциональная схема состоит из:

- делителя напряжения
- инвертирующего усилителя
- коммутатора
- микроконтроллера, где программным путём формируются логические команды, управляющие коммутатором, и оцифровывается напряжение
- ЖК-индикатора (ЦИ)

Делитель напряжения служит для получения напряжения нужного уровня сигнала для входа на АЦП. Сигналы с выходов трех измерительных каналов отрицательные, поэтому их нужно инвертировать. Проинвертируем их с помощью инвертирующего усилителя. Сигналы с измерительных каналов поступают на аналоговый коммутатор MAX388. Управление коммутатором осуществляет микроконтроллер PIC16F628A. С коммутатора значение напряжения выбранного канала поступает на АЦП, который встроен в микроконтроллер. Вывод результатов измерения будет осуществляться на ЖК-индикатор MT-10S1.

Исходя из параметров устройства, выбираем: операционный усилитель – МСР602, коммутатор - MAX388, микроконтроллер - PIC16F628A, так как он имеет широкий диапазон напряжений питания – от 2,0В до 5,5В и низкое потребление энергии. Для преобразования логических уровней в уровни интерфейса RS-232 выбираем микросхему MAX-232A, которая

имеет гибкую схему трансляции логических уровней напряжения и улучшенную защиту от электростатического разряда. ЖК-модуль – микросхема МТ-10S1, которая позволяет отображать 1 строку из 10 символов. Для стабилизации напряжения питания выберем микросхемы К142ЕН48, К142ЕН1 и стабилитрон КС156А. Для выпрямления напряжения используем диодный мост, собранный из диодов КД208А.

В качестве резисторов используем прецизионные резисторы из серии С2-33Н-0,25 ± 0,1%, и резисторы из серии С2-33Н-0,125 ± 1%.

Конденсаторы выберем из серии К10-17 ± 1%. Кварцевый резонатор – СС1А-Т1А 20.0 МНЗ фирмы Golledge Electronics Ltd.

В качестве материала для корпуса прибора выбрана нержавеющая сталь - это сплав железа с хромом.

В качестве материала печатной платы выбран текстолит.

4. Заключение

В результате проделанной работы была спроектирована система контроля электропитания. Данный прибор предназначен для учёта напряжения, он удобен в работе, имеет небольшие массогабаритные показатели, невысокую стоимость.

Спроектированное устройство может использоваться на практике, как самостоятельное устройство.

Библиографический список

1. Садовский Г.А., Теоретические основы информационно-измерительной техники: Учебное пособие. – М.: Высш.шк., 2008. – 478 с.:ил
2. Гутников «Электронные устройства измерительной техники». Л. ЛПИ, 1984г.

УДК 616-71; ГРНТИ 76.13.25

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ПРАВИЛЬНОСТИ ВЫПОЛНЕНИЯ ЛЕЧЕБНО-ПРОФИЛАКТИЧЕСКИХ УПРАЖНЕНИЙ В АМБУЛАТОРНЫЙ ПЕРИОД

М.С. Ашапкина

*Рязанский государственный радиотехнический университет,
Россия, Рязань, mashaashapkina@gmail.com*

Аннотация. Малогабаритная система позволяет контролировать правильность выполнения лечебно-профилактических упражнений как в стационарный, так и в амбулаторный периоды восстановления работоспособности опорно-двигательного аппарата после травм и нарушений. Также система поддерживать активное физическое состояние в пределах основных норм здорового образа жизни, выдает индивидуальные рекомендации и напоминает о своевременном чередовании отдыха и выполнения необходимых нагрузок.

Ключевые слова: анализ опорно-двигательного аппарата человека, контроль правильности упражнений, здоровый образ жизни

DEVELOPMENT CONTROL SYSTEM CORRECT EXECUTION OF THERAPEUTIC AND PREVENTIVE EXERCISES IN OUTPATIENT PERIOD

M.S. Ashapkina

*Ryazan State Radio Engineering University,
Ryazan, Russia, mashaashapkina@gmail.com*

Abstract. The compact system lets to monitor the correct implementation of therapeutic and preventive exercises in stationary and ambulatory periods of recovery efficiency of the musculoskeletal system after injuries and disorders. Also system allows to support an active physical condition within the basic rules of healthy lifestyle, provides individual advice and reminds the timely alternation of the alternation of rest and perform the required loads.

Keywords: analysis of the human musculoskeletal system, control of correctness of the natural physical exercise, healthy lifestyle

1. Введение

Малоподвижный образ жизни приводит к различным нарушениям опорно-двигательной системой, что в свою очередь ухудшают качества жизни, нарушает кровообращение и работу мышц. Это ускоряют процесс возникновения других заболеваний на ранних стадиях, таких как сердечно-сосудистые заболевания, инсульт, инфаркт, гипертония, атеросклероз, сахарный диабет 2 типа, ожирение, остеопороз, депрессия. Данные заболевания приводят к экономическим потерям вследствие временной или стойкой утраты трудоспособности, требуют значительных затрат на лечение и реабилитацию, включая высокотехнологичные методы. Поэтому пациенты, которые прошли курсы лечения, нуждаются в проведении медицинской активной реабилитации особенно в амбулаторный период.

Для успешной коррекции опорно-двигательной системы нужно заниматься лечебной физкультурой и естественной физической нагрузкой в виде ходьбы, допустимые пределы, которые устанавливает врач-травматолог или реабилитолог [1]. Допустимые пределы физических нагрузок нужно точно соблюдать, чтобы не создать неудобства при их выполнении и не помешать процессу восстановления.

Основная проблема – недоступная реабилитация и отсутствие контроля восстановления вне стен стационара. Это приводит к нарушениям процесса реабилитации. Лечение пациентов в стационаре требует огромных затрат, примерно, 600 миллиардов долларов ежегодно. При этом необходимую терапию получают далеко не все нуждающиеся. В большинстве случаев качественные реабилитационные услуги в крупных городах России предоставляются частными клиниками, которые не в состоянии обеспечить всех пациентов, к тому же стоимость такой реабилитации – 10-15 тысяч рублей в день.

Вне стен клиники врач не может полностью контролировать процесс восстановления пациента, поэтому снижается эффективность всей реабилитации. 85% пациентов остаются одни на один со своей проблемой. Решением данной проблемы предлагается в создании малогабаритной системы контроля выполнения естественных физических нагрузок в виде ходьбы является актуальной как для стационарного наблюдения, так и для амбулаторного периода.

2. Принцип работы системы

Данная система состоит из следующих составляющих: устройство в виде браслета на ногу, web-сервер с расширенным анализом движений и программное обеспечение с экспертной оценкой, которая выдает индивидуальные рекомендации по коррекции образа жизни [2].

Пациент будет самостоятельно заниматься физическими нагрузками в домашних условиях, пределы которых будет контролировать система и, в случае ошибочного выполнения упражнения, даст рекомендации по коррекции. Она будет анализировать особенности походки, и при обнаружении малейших изменений, связанных с ухудшением и возможным развитием рецидива после травмы или операции опорно-двигательного аппарата, система предупредит о необходимости показаться врачу.

Также система регистрирует всю жизнедеятельность в течение длительного промежутка времени, т.е. что именно человек делал весь день, сколько он был в движении, а сколько в покое. Ежедневно она отслеживает длительности периодов и правильности чередования режимов физической активности и отдыха. Система позволяет осуществить распознавание полученных данных по типу, а именно: сидит, лежит, стоит, ходит и т.д.

Вся информация передается на web-сервер, где анализируется и результат представляется в виде гистограммы. По данным гистограммы с помощью специального программного комплекса можно определить основные параметры двигательной активности: частоту, скорость, амплитуду, периодический и хаотический характер движения тела человека, количество пройденных шагов и их качество, параметры походки [3].

Система набирает не просто статистику малоинформативных данных, а анализирует полученную информацию о пользователе и его стиле жизни. Если пользователь ведет неправильный и малоподвижный образ жизни, система выдает индивидуальные рекомендации по

коррекции такого стиля жизни. Эти рекомендации разрабатываются группой экспертов в области медицины и спорта и направлены на выполнение естественных упражнений.

Цель экспертной оценки заключается в выдаче рекомендаций на основе соотношений двигательной активности с физиологической информацией, такой как частота сердечного сокращения, насыщение крови кислородом и т.п., что позволит выявить некоторые заболевания на их ранней стадии. Система мотивирует пользователя к минимальным и сбалансированным нагрузкам (прогулки, гимнастика) и контролирует правильность их выполнения и интенсивность.

3. Реализации системы на основе микроконтроллер ATmega328

Для получения данных о физической активности был сделан макет на основе Arduino Fio для работы с Lilon аккумулятором. К макету подключили SD карту и манжетку с акселерометром MMA7361L. Использовались только штатные библиотеки для работы с SD картой, а данные с акселерометра, регистрируют кривые ускорений движения, считывались по 3 каналам АЦП. Они выдают сигнал о перемещении тела человека в пространстве.

Частота дискретизации сигнала с осей XYZ равна 50 Гц. Полученные данные с акселерометров усиливаются и передаются на аналоговые входы блока обработки и передачи. Блок обработки и передачи регистрируемой информации включает в себя микроконтроллер ATmega328. Полученные данные о двигательной активности сохраняются в виде файла на флеш-карте типа SD. После регистрации сигнал может быть передан по каналу передачи Bluetooth или считан с SD-карты в ПК. Макет записывает в файл значения данных акселерометра по осям XYZ.

Внешний вид макета представлен на рисунке 1.

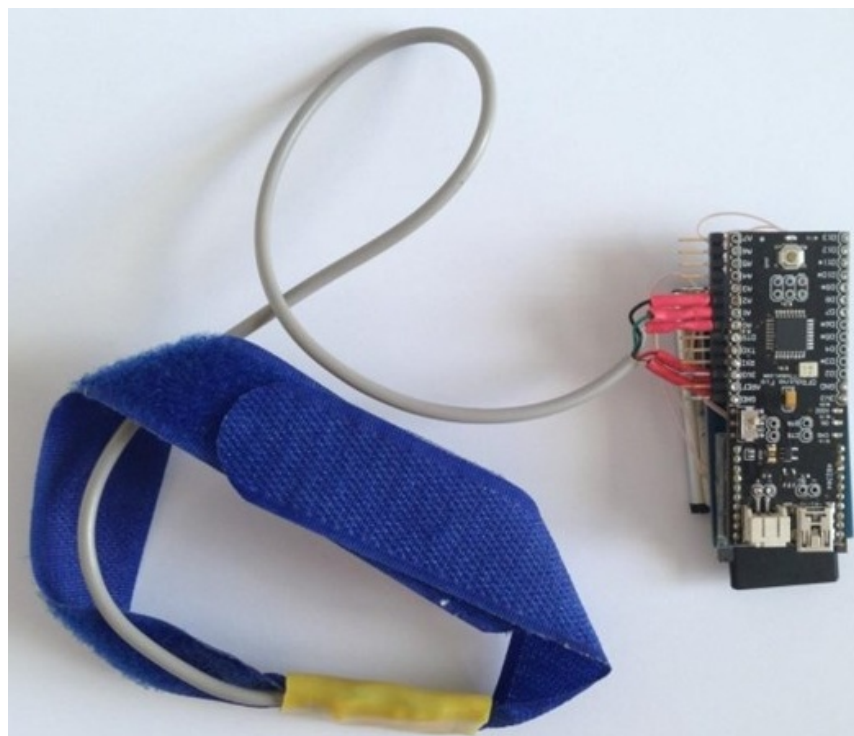


Рис. 1. Внешний вид макета

4. Экспериментальная часть

Для проверки работоспособности устройства регистрации двигательной активности на стадионе университета был проведен эксперимент. В данном эксперименте участвовали три человека, средний возраст которых 25 лет. Участники данного исследования выполняли естественные физические нагрузки в виде ходьбы. При осуществлении этих видов физических нагрузок участвуют не только нижние конечности, но и весь организм, поэтому данные нагрузки вызывают большой интерес для исследований [4].

Устройство крепилось на одной из щиколоток испытуемых. Экспериментальные исследования показали, что сигнал целесообразно получать с макета, размещенного на ноге человека, поскольку он имеет большую амплитуду по сравнению с сигналом принятым с датчиков, расположенных на руке. В этом случае, обработанная информация о состоянии двигательной активности может быть представлена в виде различных графиков ускорений.

Для экспериментов была использована одна и та же дистанция в 285 метров. Участники прошли эту дистанцию обычным для них темпом и сосчитала про себя количество шагов. При этом данные макета записывались в текстовом виде на карту памяти.

На рисунке 2 представлен сигнал, который получился при естественном темпе ходьбы.

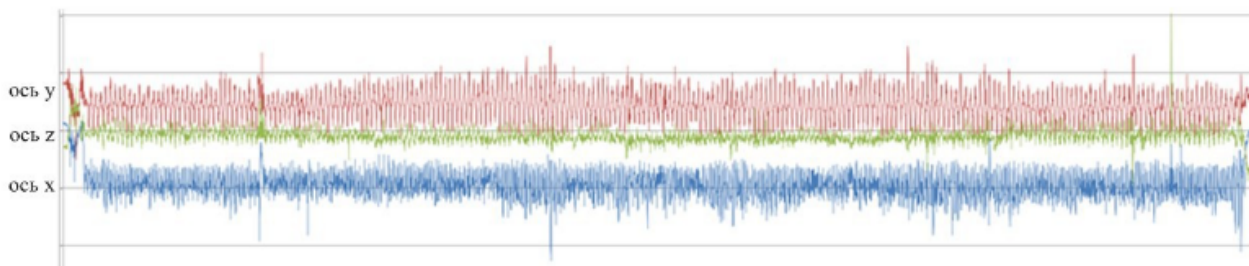


Рис. 2. Сигнал с разработанного макета

5. Алгоритм определения количества шагов

Исследования показали, что при анализе двигательной активности человека для определения количества шагов, эффективными являются алгоритмы, построенные на использовании в качестве базового параметра амплитуды полученного сигнала. Применение такого подхода позволяет со значительной степенью достоверности определить и проанализировать темп ходьбы человека – быстрый или медленный.

Информация о двигательной активности человека представлена в виде сигнала, разбитого на цифровые отсчеты, соответствующие осям координат X, Y, Z. Множество Z (соответствует оси координат Z) содержит информацию о наклонах конечности. Следовательно, значения z из множества Z, содержат менее информативную информацию по сравнению со значениями x из множества X (соответствует оси координат X и содержит информацию о ширине движения конечности) и y из множества Y (соответствует оси координат Y и содержит информацию о высоте движения конечности). Поэтому в алгоритме определения количества шагов используются только множества цифровых отсчетов X и Y.

Предлагаемый алгоритм определения количества шагов состоит из следующих этапов [5]:

1. Формируется множество $X_{100} = \{x_j\}$, $j = 1, \dots, 100$, $X_{100} \in X$ – множество 100 максимальных значений x_i множества X;
2. Формируется множество $Y_{100} = \{y_j\}$, $j = 1, \dots, 100$, $Y_{100} \in Y$ – множество 100 максимальных значений y_i множества Y;
3. Определяется среднее значения x_{cp} множества X_{100} для устранения погрешностей;
4. Определяется среднее значения y_{cp} множества Y_{100} для устранения погрешностей;
5. Определяется пороговое значение $x_n = 0,33 * x_{cp}$;
6. Определяется пороговое значение $y_n = 0,33 * y_{cp}$;
7. Формируется множество шаговых значений $X_{ш} = \{x_k\}$, $k = 1, \dots, N_{ш}^x$, где x_k – значение, соответствующее шагу $x_k = x_i$, $x_i > x_n$, $x_i \in X$, $N_{ш}^x$ – количество шаговых значений;
8. Формируется множество шаговых значений $Y_{ш} = \{y_k\}$, $k = 1, \dots, N_{ш}^y$, где y_k – значение, соответствующее шагу $y_k = y_i$, $y_i > y_n$, $y_i \in Y$, $N_{ш}^y$ – количество шаговых значений;
9. Проверяется сопоставление множеств $X_{ш}$ и $Y_{ш}$;
10. Если шаговые значения множества $X_{ш}$ соответствуют шаговым значениям множества $Y_{ш}$, определяется количество шагов $N_{ш}^{общ} = N_{ш}^x$;

11. Если шаговые значения множества $X_{ш}$ не соответствуют шаговым значениям множества $Y_{ш}$, определяется количество шагов $N_{ш}^{общ}$ исходя из суммарного числа шагов множеств;

12. Определяется количество полных шагов $N_{ш} = 2 * N_{ш}^{общ}$, поскольку макет размещен на одной ноге человека, а двигательная активность осуществляется двумя ногами.

Выводы

Предложен алгоритм распознавания типа двигательной активности человека. Определено, что наименование двигательной активности выбирается из справочников активного и пассивного типов. Заполнение справочников осуществляется индивидуально, в зависимости от антропометрических характеристик человека. Предложен алгоритм определения количества шагов на основе анализа амплитуды сигнала. Приведены результаты экспериментов, указывающие на возможность использования алгоритма на практике.

Библиографический список

1. Уткин В.Л. Биомеханика физических упражнений. М.: Просвещение, 1989. – 210 с.
2. Ашапкина М.С., Алпатов А.В. Разработка устройства контроля двигательной активности человека // Международный научно-исследовательский журнал. 2013. № 4. С. 90-91.
3. Бернштейн Н.А. Физиология движений и активность. М.: Наука, 1990. – 247 с..
4. Jeffrey M. Hausdorff, C.-K. Peng, Zvi Ladin, Jeanne Y. Wei, Ary L. Goldberger. Is walking a random walk? Evidence for long-range correlations in stride interval of human gait. Modeling in physiology, Vol 78, №1, 1995. P. 349-358.
5. Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ №2016612513. Программа для вычисления показателей опорно-двигательного аппарата человека / М.С Ашапкина, А.В.Ермачихин; Рязанский государственный радиотехнический университет.

УДК 004.932; ГРНТИ 89.57.35

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ПРАВИЛЬНОСТИ ВЫПОЛНЕНИЯ УПРАЖНЕНИЙ СПОРТСМЕНОМ

А. Ярославцев

Рязанский государственный радиотехнический университет,

Рязань, Рязанская обл, bwdbwdbwd003@mail.ru

Аннотация. В данной работе описывается система контролирующая правильность выполнения упражнений спортсменом. Разработана математическая модель, оценивающая правильность выполнения упражнений, в основу которой лег анализ динамики координат ключевых точек изображения спортсмена.

Ключевые слова: математическая модель, контроль правильности, ключевые точки, обработка изображения.

AUTOMATED CONTROL SYSTEM CORRECT PERFORMANCE ATHLETE EXERCISE

A. Yaroslavcev

Ryazan State Radio Engineering University,

Ryazan, Ryazan region, bwdbwdbwd003@mail.ru

Abstract. This paper describes a system which controls the correct performance of the athlete exercises. The mathematical model that evaluates the correctness of the exercises, which lay the basis for the analysis of the dynamics of the coordinate points athlete image.

Keywords: a mathematical model, control of correctness, the key point image processing.

1. Введение

В настоящее время все большее количество людей стремятся заниматься спортом. Первое место куда отправляются такие люди являются фитнес центры. Новички приходят и начинают хвататься сразу за все тренажеры, понятия не имея как ими правильно пользоваться. И зачастую человек получает травму уже в первый месяц занятий и заканчивает свои тренировки. И хорошо если это будет легкая травма. Потому что при не правильном выполнении базовых упражнений, таких как: присед, жим и становая тяга, можно получить такие травмы, которые могут привести к инвалидности. А именно эти упражнения рекомендуют новичкам для развития физической силы и набора мышечной массы.

Конечно в залах существуют тренеры, которые могут подсказать, но наблюдать за человеком постоянно на бесплатной основе они не будут. А занятие с личным тренером весьма дорого. Данная автоматизированная система привлечет большее внимание к фитнес центрам. Ведь новичок с помощью этой системы сможет самостоятельно контролировать свою технику, что поможет избежать травм и сэкономит денежные средства.

Целью работы является разработка средств для автоматизации контроля правильности выполнения тренировочных упражнений тяжелой атлетики и пауэрлифтинга спортсменом.

2. Описание системы

Разработаем модель для оценки того, правильно ли выполняется упражнение. Данную модель рассмотрим на примере упражнения «присед».

На рисунке 1 представлено схематичное изображение спортсмена с профилем при правильном и неправильном выполнении упражнения «присед». Не правильное выполнение упражнения связано с отрывом пяток от поверхности и сгорбленностью в поясничном отделе.

Для начала выделим основные точки. В нашем случае 1,2- пятки, 3,4- колени, 5- поясница, 6,7- плечи. После задаются верные и не верные положения. При правильном выполнении пятки должны твердо стоять на поверхности, спина должна быть ровная, плечи нужно наклонить вперед. Если хотя бы одно из этих условий будет проигнорировано спортсменом, весьма большая вероятность получить травму.

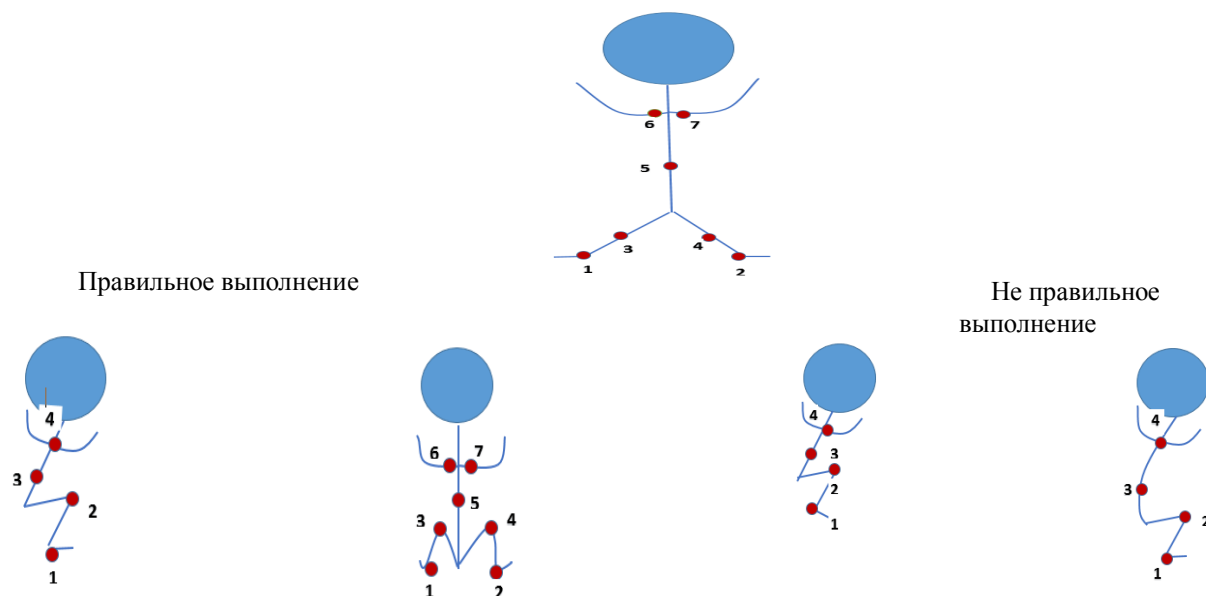


Рис. 1. Схематичное изображение спортсмена

Правильные и не правильные положения можно оценить, если определять координаты опорных точек и сравнивать их между собой в соответствии с набором правил.

Точки рассматриваются по осям x и y в начальный и конечный момент времени и определяются положения между ними. Следует отметить, что здесь точки пяток, колен и плечей представлены в виде одного значения x и y , так как они симметричны. Так пятки должны всегда находиться в одном статичном положении, следовательно, их x и y в начальный и конечный момент времени должны быть одинаковы $X_{t2}=x_{01}$, $Y_{t2}=y_{01}$. Плечи подаются вперед, что говорит о их продвижении по оси x , $X_{t2}>x_{04}$, а так как происходит небольшой наклон вперед, то происходит уменьшение по оси y , $Y_{t2}<y_{04}$.

Если человек при выполнении упражнения отрывает пятки от пола, то система отмечает, что у значения Y_1 (пятки) y в конечный момент времени больше, чем в начальный, что программируется как не правильный вариант, и система выдает звуковой сигнал, символизирующий не правильное выполнение упражнения.

Правильные и не правильные варианты описываются математической моделью, пример которой представлен в таблице 1.

Таблица 1 - Пример правил для классификации правильности выполнения упражнений

	X1	Y1	X2	Y2	X3	Y3	X4	Y4	
T1	X01	Y01	X02	Y02	X03	Y03	X03	Y04	
T2	Xt2=X01	Yt2=Y01	Xt2>X02	Yt2<Y02	Xt2>X03	Yt2<Y03	Xt2>X04	Yt2<y04	Верно
T2	Xt2=X01	Yt2>Y01	Xt2>X02	Yt2<Y02	Xt2>X03	Yt2<Y03	Xt2>X04	Yt2<y04	Не верно
T2	Xt2=X01	Yt2=Y01	Xt2>X02	Yt2<Y02	Xt2<X03	Yt2<Y03	Xt2>X04	Yt2<y04	Не верно

Необходимо использовать следующие устройства, чтобы автоматизировать процесс контроля правильности выполнения упражнений: камера, АЦП, микрокомпьютер, динамик.

Видеокамера будет снимать изображение, после чего АЦП преобразует аналоговый сигнал в дискретный, который впоследствии отправится на микрокомпьютер, где производится сканирование изображения, благодаря этим операциям программа выделяет основные точки и положения между ними в начальный и конечный момент времени [1]. После проверяется правильность выполнения упражнения вследствие подбора правил заданной математической модели. Если упражнение выполнено неправильно, то издается звуковой сигнал, вследствие чего спортсмен корректирует свою технику и продолжает выполнение упражнения. Если спортсмен выполняет упражнение верно, то система безмолвствует.

В среде визуального программирования LabVIEW [2, 3] осуществлено моделирование работы данной системы. Для того, чтобы распознать изображение используется библиотека IMAQ Vision.

3. Интерфейс системы

Покажем интерфейс системы на примере распознавания положения руки в пространстве.

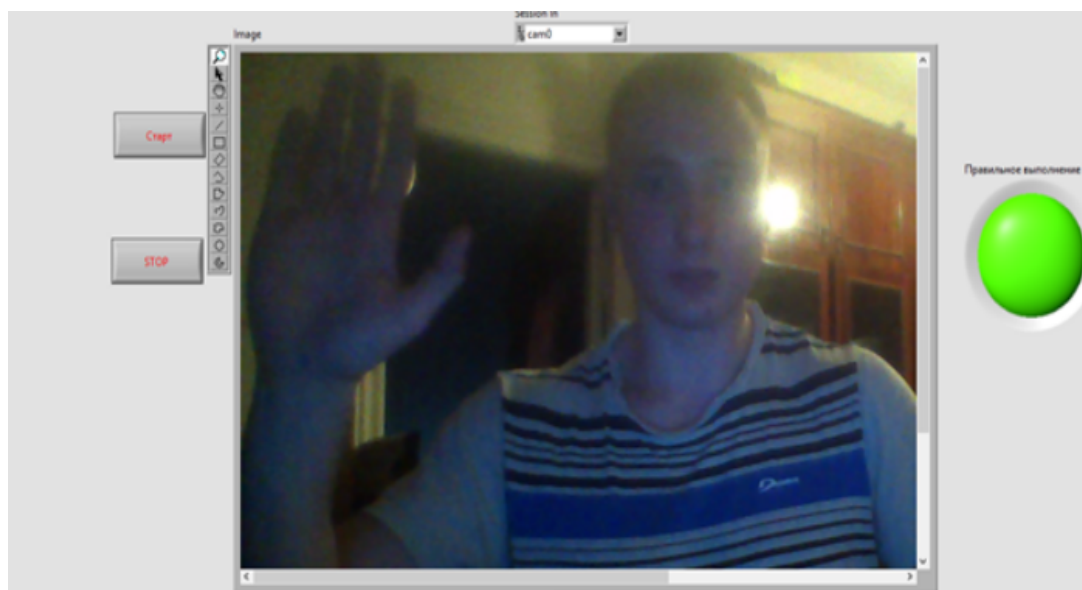


Рис. 2. Интерфейс системы

Система захватывает изображение и распознает положение руки.

Первым делом необходимо сфокусировать и заблокировать камеру. Блокировка камеры делается с целью сохранения первоначально настроенных параметров для выполнения снимка. Затем производится снимок в файл, переданный в качестве параметра. После чего происходит разблокировка камеры.

Если рука поднята на достаточную высоту, тогда загорается индикатор, что символизирует о правильном выполнении упражнения. Запуск и остановка системы осуществляется соответствующими кнопками на интерфейсе.

Выводы

Благодаря этой системе можно контролировать технику выполнения упражнений, снизить возможность получить травму спортсменом, облегчить работу тренерскому штабу. Потребителями данной системы могут быть коммерческие и государственные организации такие как: школы, университеты, спортивные клубы.

Библиографический список

1. Фисенко В.Т., Фисенко Т.Ю. Компьютерная обработка и распознавание изображений: учеб. пособие. СПб: СПбГУ ИТМО, 2008. 192 с.
2. Свиридов Е.В. Листратов Я. И. Виноградова Н.А. Разработка прикладного программного обеспечения в среде LabVIEW. М.: МЭИ, 2005. 50 с.
3. Суранов А.Я. LabVIEW 8.20. Справочник по функциям. М.: ДМК Пресс, 2007. 536 с.

УДК 623-91/-94; ГРНТИ 78.21.53

АЛГОРИТМ ОЦЕНКИ ХАРАКТЕРИСТИК РАДИОЛОКАЦИОННОЙ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

М.Б. Королев, О.А. Бодров

*Рязанский государственный радиотехнический университет,
Россия, Рязань, korolev594041@gmail.com*

Аннотация. Рассматривается алгоритм оценки характеристик радиолокационной информационно-измерительной системы.

Ключевые слова: алгоритм оценки, информационно-измерительная система.

ALGORITHM FOR ESTIMATING THE PERFORMANCE OF RADAR INFORMATION AND MEASURING SYSTEM

M.B. Korolev, O.A. Bodrov

*Ryazan State Radio Engineering University,
Russia, Ryazan, korolev594041@gmail.com*

Annotation. An algorithm for evaluating the characteristics of the radar information and measuring system.

Keywords: estimation algorithm, information-measuring system.

К настоящему времени в развитых зарубежных государствах создан мощный арсенал средств воздушного нападения, к которым относятся самолёты и вертолёты различного назначения, беспилотные летательные аппараты и другие средства [1,2]. В этих условиях особую важность приобретает задача обеспечения гарантированной защиты объектов военной и гражданской инфраструктуры.

Для решения этой задачи на объектах организуется система противовоздушной обороны, основными элементами которой являются зенитные ракетные комплексы, включающие в свой состав средства поражения целей – перехватчики и средства информационного обеспечения их применения [1,2].

Анализ материалов работ [1-3] показывает, что основным типом систем самонаведения современных и перспективных перехватчиков являются бортовые информационно-измерительные системы в виде активных радиолокационных головок самонаведения (АРГСН), обеспечивающих получение необходимой координатной информации о целях путём их облучения (зондирования) и приёма отражённых от них сигналов с применением соответствующих устройств, размещаемых на борту перехватчика.

Адекватная оценка качества этой информации может быть получена методом математического моделирования процессов обнаружения цели и измерения ее координат информационно-измерительной системой.

Следует отметить, что известные моделирующие алгоритмы не позволяют оценить информационные характеристики АРГСН с достаточными достоверностью и точностью из-за неполного учета факторов, влияющих на процесс функционирования АРГСН в различных условиях применения перехватчика.

С целью устранения этого недостатка предлагается уточненный алгоритм (см. рис. 1).

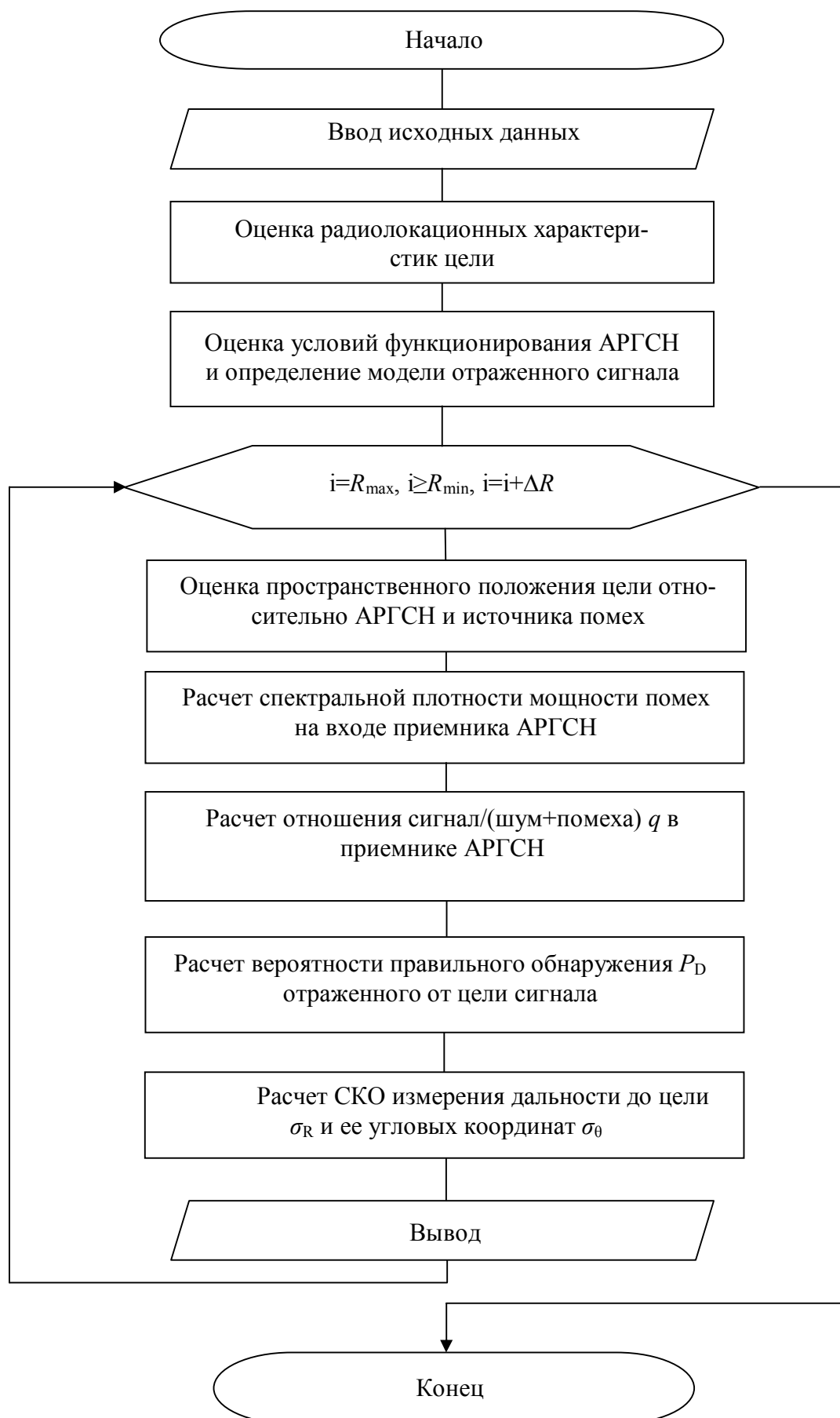


Рис. 1. Алгоритм оценки вероятностных и точностных характеристик АРГСН

Алгоритм обеспечивает расчет вероятностных и точностных характеристик АРГСН в зависимости от наклонной дальности R до цели:

- отношения сигнал/(шум+помеха) q на входе приемника АРГСН;
- вероятности правильного обнаружения P_D отраженного от цели сигнала;
- среднеквадратических ошибок (СКО) измерения дальности до цели σ_R и ее угловых координат σ_θ .

В соответствии с предлагаемым алгоритмом, оценка радиолокационных характеристик цели проводится экспериментальными или теоретическими методами по отдельным методикам (методы геометрической оптики, физической оптики, геометрической теории дифракции, краевых волн). По результатам этой оценки определяется значение эффективной площади рассеяния цели, необходимое для решения основного уравнения радиолокации.

При проведении оценки условий функционирования АРГСН учитываются тактическая и сигнально-помеховая обстановка в зоне ее действия (летно-технические характеристики целей, состав и характеристики источников помех и др.).

Оценка пространственного положения цели относительно АРГСН производится на основе типовых моделей движения цели.

При расчете спектральной плотности мощности помех учитывается пространственная структура диаграммы направленности (ДН) антенны и АРГСН и станции активных помех (САП), в том числе уровни боковых лепестков этих ДН, поляризационные характеристики антенн и др. факторы.

Оценка вероятности правильного обнаружения отраженного от цели сигнала производится на основе следующих типовых моделей сигнала:

- для последовательности когерентных импульсов

$$P_D = \Phi(q\sqrt{n} - v_0),$$

где $v_0 = \sqrt{-2 \ln P_F}$ - нормированный порог обнаружения ; P_F – вероятность ложной тревоги;

n – количество импульсов в последовательности;

$$\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right) dt \quad \text{функция нормированного гауссовского распределения вероятностей;}$$

- для последовательности некогерентных импульсов

$$P_D = \int_{y_0}^{\infty} W_c(y) dy = \int_{y_0}^{\infty} \frac{y^{n-1}}{(1+q)^n (n-1)!} \exp\left(-\frac{y}{1+q}\right) dy,$$

где $W_c(y)$ – плотность вероятности выходного напряжения обнаружителя (согласованного фильтра) при наличии сигнала на его входе;

y - огибающая напряжения на выходе фильтра;

y_0 – порог обнаружения для последовательности импульсов.

Отношение сигнал/(шум+помеха) q на входе приемника АРГСН рассчитывается по формуле:

$$q = \frac{P \tau G^2 \lambda^2 \sigma \eta_{\text{осл}}}{(4\pi)^3 R^4 (S_{\text{ш}} + S_{\text{п вх}}) L},$$

где P , τ , G , λ , $S_{\text{ш}}$, L - параметры АРГСН: соответственно, излучаемая импульсная мощность, длительность зондирующего импульса, коэффициент усиления антенны, рабочая длина волны, спектральная плотность мощности собственных шумов приемника и коэффициент общих потерь мощности сигнала; σ - среднее значение эффективной площади рассеяния цели; R - наклонная дальность «АРГСН–цель»; $S_{\text{п вх}}$ - спектральная плотность мощности шумовых помех на входе приемника АРГСН; $\eta_{\text{осл}}$ - множитель ослабления (затухания) радиоволн в атмосфере.

Спектральная плотность мощности помех на входе приемника АРСН вычисляется по формуле:

$$S_{\text{п вх}} = \frac{P_{\text{п}} G_{\text{п}}}{\Delta f_{\text{п}}} \frac{G \lambda^2 \xi_6 \gamma_{\text{п}}}{(4\pi)^2 R_{\text{п}}^2 L_{\text{п}}},$$

где $P_{\text{п}}$, $G_{\text{п}}$, $\Delta f_{\text{п}}$ – параметры САП: излучаемая мощность, коэффициент усиления антенны и ширина спектра создаваемой помехи; ξ_6 – средний уровень боковых лепестков ДН антенны АРСН ($\xi_6 < 1$ – при воздействии помехи по боковым лепесткам, $\xi_6 = 1$ – при воздействии помехи по главному лепестку ДН антенны); $\gamma_{\text{п}}$ – коэффициент несовпадения поляризационных характеристик сигнала АРСН и помехи ($\gamma_{\text{п}} = 0 \dots 1$); $R_{\text{п}}$ – удаление носителя САП от АРСН; $L_{\text{п}}$ – коэффициент потерь мощности помехи в приёмнике АРСН.

Потенциальная точность измерения дальности до цели определяется в соответствии с известным соотношением

$$\sigma_R = 0,5 c \sigma_t,$$

где c – скорость распространения радиоволн;

σ_t – потенциальная ошибка однократного измерения времени запаздывания сигнала.

Выражения для оценки последнего параметра имеют следующий вид [4]:

– для импульса колоколообразной формы

$$\sigma_t = \frac{\tau_{\text{и}}}{\sqrt{q\pi}} = \frac{1}{\sqrt{q\pi}\Delta F_{\text{и}}};$$

– для прямоугольного импульса

$$\sigma_t = \frac{\tau_{\text{и}}\sqrt{3}}{\sqrt{q\pi}} = \frac{\sqrt{3}}{\sqrt{q\pi}\Delta F_{\text{и}}},$$

где $\tau_{\text{и}}$ и $\Delta F_{\text{и}} = 1/\tau_{\text{и}}$ – длительность импульса и ширина его спектра, отсчитываемые на уровне $\exp(-\pi/4) \approx 0,46$.

При использовании сложных сигналов с внутриимпульсной линейной частотной модуляцией потенциальная СКО измерения времени запаздывания сигнала определяется в соответствии с выражениями:

– для импульса колоколообразной формы

$$\sigma_t = \frac{1}{\sqrt{q\pi} \Delta F_{\text{д}}} = \frac{\tau_{\text{и}}}{\sqrt{q\pi} B_{\text{с}}} = \frac{\tau_{\text{сж}}}{\sqrt{q\pi}};$$

– для прямоугольного импульса

$$\sigma_t = \frac{\sqrt{3}}{\sqrt{q\pi}\Delta F_{\text{д}}} = \frac{\sqrt{3}\tau_{\text{сж}}}{\sqrt{q\pi}},$$

где $\Delta F_{\text{д}}$ – девиация частоты; $B_{\text{с}} = \tau_{\text{и}} \Delta f_{\text{д}}$ – база сигнала; $\tau_{\text{сж}}$ – длительность сжатого импульса.

Ошибка, обусловленная квантованием амплитуды сигнала, в общем виде определяется как

$$\sigma_{R_{\text{КВ}}} = 0,5 c \frac{\Delta\tau_{\text{КВ}}}{\sqrt{12}},$$

где $\Delta\tau_{\text{КВ}}$ – интервал квантования сигнала.

Ошибка, обусловленная флуктуациями координаты дальности, может быть определена в соответствии с [5]

$$\sigma_{L_r} = 0,1 \dots 0,3 L_r,$$

где L_r – радиальная протяженность цели (длина цели по координате дальности).

С учетом изложенного, выражение для оценки суммарной СКО измерения дальности может быть записано в виде

$$\sigma_{R\Sigma} = \sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_{R_{\text{КВ}}}^2 + \sigma_{L_r}^2}.$$

Потенциальная точность (СКО) однократного измерения угловой координаты цели для реализованного в АРГСН моноимпульсного метода пеленгования может быть определена как [6]

$$\sigma_{\theta} = \frac{\Delta\theta}{k_m \sqrt{q}},$$

где $\Delta\theta$ – ширина ДН антенны на уровне мощности минус 3 дБ; k_m – крутизна пеленгационной характеристики.

Ошибка, обусловленная флуктуациями фазового фронта отраженного сигнала («угловой шум» цели) [6]

$$\sigma_{\text{кц}} = 0,1 \dots 0,3 L_x / R.$$

где L_x – протяженность цели по угловой координате.

Выражение для оценки суммарной СКО измерения угловых координат может быть записано в следующем виде

$$\sigma_{\theta\Sigma} = \sqrt{\sigma_{\theta}^2 + \sigma_{\text{кц}}^2}.$$

Предлагаемый алгоритм учитывает максимально возможное число факторов, существенно влияющих на качество оценки, что повышает достоверность и точность получаемых результатов.

Библиографический список

1. Справочник офицера воздушно-космической обороны / Под общей редакцией С.К. Бурмистрова. – Тверь: ВА ВКО, 2006.
2. Проектирование зенитных управляемых ракет / И.И. Архангельский, П.П. Афанасьев, Е.Г. Болотов и др. / Под ред. И.С. Голубева и В.Г. Светлова – М.: Изд-во МАИ, 2001.
3. Акопян И.Г., Вексин С.И., Медведев Г.П., Сухов А.М. Особенности построения и развития техники радиолокационных головок самонаведения в системах ракетного вооружения ВВС и ЗРК. – Радиотехника, № 2, 2005.
4. Бакулев П.А. Радиолокационные системы. – М.: Радиотехника, 2007.
5. Бартон Д., Вард Г. Справочник по радиолокационным измерениям. Пер. с англ. под ред. М.М. Вейсбейна. – М.: Сов. радио, 1976.
6. Сколник М. Справочник по радиолокации. Том 4 – М. Сов. радио, 1978.

УДК 621.389; ГРНТИ 45.53.39

УПРАВЛЯЮЩАЯ СИСТЕМА ВПРЫСКОМ ТОПЛИВА ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Т.С. Валова

Рязанское высшее воздушно-десантное командное училище им. генерала армии В.Ф. Маргелова

Аннотация. В работе рассмотрен принцип построения системы управления электромагнитными автомобильными форсунками, позволяющей регулировать время срабатывания в зависимости от режима работы двигателя внутреннего сгорания.

Ключевые слова: форсунка, преобразователь параметров электрической энергии, время срабатывания.

CONTROL SYSTEM FUEL INJECTION INTERNAL COMBUSTION ENGINE

T.S. Valova

Abstract. The paper discusses the principle of control system construction of the electromagnetic motor nozzles, allowing to adjust the reaction time depending on the operating mode of the internal combustion engine.

Keywords: injector, Converter parameters of electric energy, the response time.

1. Введение

Форсунка (другое название - инжектор), являясь конструктивным элементом системы впрыска, предназначена для дозированной подачи топлива, его распыления в камере сгорания (впускном коллекторе) и образования топливно-воздушной смеси.

Форсунка используется в системах впрыска как бензиновых, так и дизельных двигателей. На современных двигателях устанавливаются форсунки с электронным управлением впрыска.

Работа электромагнитной форсунки осуществляется следующим образом. В соответствии с заложенным алгоритмом электронный блок управления обеспечивает в нужный момент подачу импульса напряжения на обмотку возбуждения клапана. При этом создается электромагнитное поле, которое преодолевая усилие пружины, вытягивает якорь с иглой и освобождает сопло. Производится впрыск топлива. С исчезновением напряжения, пружина возвращает иглу форсунки на седло.

2. Постановка задачи

Одним из основных параметров электромагнитных форсунок это время $t_{впр}$ впрыскивания топлива форсункой – время для получения смеси с теоретически необходимым коэффициентом избытка воздуха. Количество воздуха за цикл рассчитывается блоком управления по данным датчика расхода воздуха и частоты вращения коленчатого вала двигателя, а $t_{впр}$ корректируется по напряжению питания форсунки, температурам охлаждающей жидкости во время прогрева двигателя и воздуха на впуске.

Применяемые электронные системы управления впрыскиванием топлива программного типа, содержащие постоянное запоминающее устройство, в котором хранится характеристика управления, работают по заранее заданному закону управления. Отсюда и их недостатки: они не учитывают индивидуальных особенностей двигателя и изменения его параметров в процессе эксплуатации, слабо корректируют быстродействие системы и не менее слабо обеспечивают ее помехоустойчивость.

В справочнике Бош отмечается, что время срабатывания форсунки для двигателей, предназначенных для работы на высоких оборотах, должно быть порядка 300 мкс [1-5].

3. Решение задачи

Осциллограмма тока для ненасыщенного электромагнита показана на рисунке 1 сплошной линией, экспериментальная осциллограмма тока форсунки имеет такой же вид.

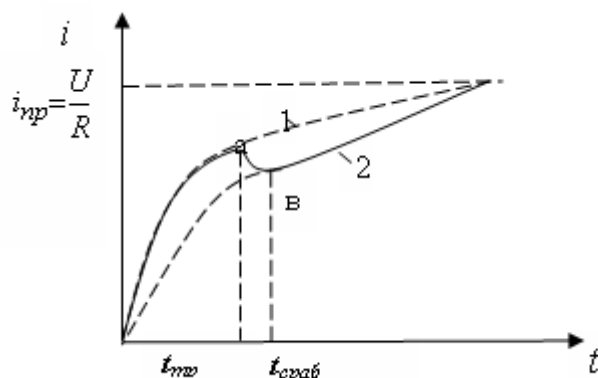


Рис. 1. Временная зависимость тока, потребляемого электромагнитной форсункой при постоянном напряжении на ее обмотке

До начала движения якоря ток в обмотке форсунки изменяется по экспоненциальному закону (на осциллограмме это изменение соответствует кривой 1) с постоянной времени τ_n , которое определяется начальным значением индуктивности. По истечении времени трогания $t_{тр}$ начинается движение якоря, и ток изменяется по кривой ab , соответствующей движению якоря электромагнита, после этого ток изменяется по кривой 2, соответствующей изменённому значению индуктивности. В литературе отмечается, что при работе на обедненных смесях и на высоких частотах вращения коленчатого вала ДВС время $t_{ср}$ срабатывания должно быть не более 0,3 мс, а точка b , лежащая на кривой 2, соответствует полному времени срабатывания. Изменяя напряжение на форсунке, можно изменять время ее срабатывания.

4. Установка для лабораторных исследований

Функциональная электрическая схема установки для исследования времени срабатывания форсунки показана на рисунке 2.

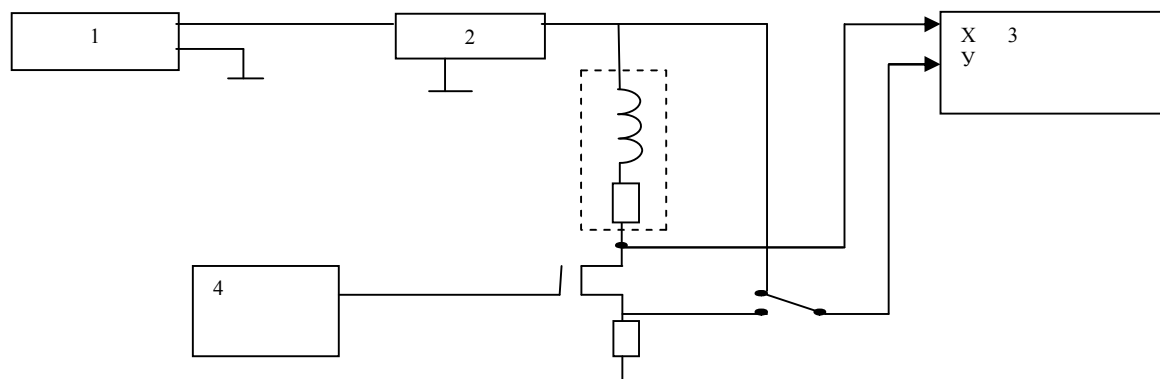


Рис. 2. Схема экспериментальной лабораторной установки для исследования времени срабатывания электромагнитной форсунки:
1 – источник, 2 – преобразователь напряжения, 3 – осциллограф,
4 – генератор, 5 – форсунка.

Работает установка следующим образом. От генератора поступают импульсы прямоугольной формы на затвор полевого транзистора. При положительном напряжении на затворе транзистор открывается, подключая форсунку к выходу преобразователя. Напряжение, прямо пропорциональное току форсунки, поступает с сопротивления в цепи истока полевого транзистора на вход У осциллографа в первом положении переключателя. Запуск развёртки осциллографа происходит фронтом импульса, поступающего на вход Х. Напряжение источника устанавливается равным напряжению бортовой сети (13,5 В), и его величина считывается с выходного индикатора источника питания. Выходное напряжение преобразователя параметров электрической энергии 2 контролируется с помощью осциллографа во втором положении переключателя

5. Результаты экспериментального исследования

Из осциллограммы переходного процесса, представленной на рисунке 3, следует, что при входном напряжении 3,8 В время срабатывания форсунки уменьшилось с 2 мс до 200 мкс, что подтверждает приведённые выше теоретические исследования, при применении повышающего преобразователя параметров электрической энергии.

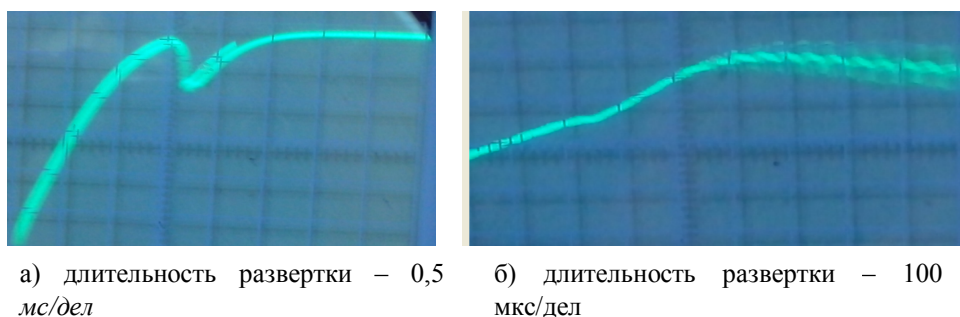


Рис. 3. – Осциллограмма тока форсунки при ее питании от 12 В (а),
и с выхода преобразователя напряжения (б)

Электронная система управления двигателем с использованием электрической функциональной схемы блока управления временем срабатывания приобретает вид рисунка 4.

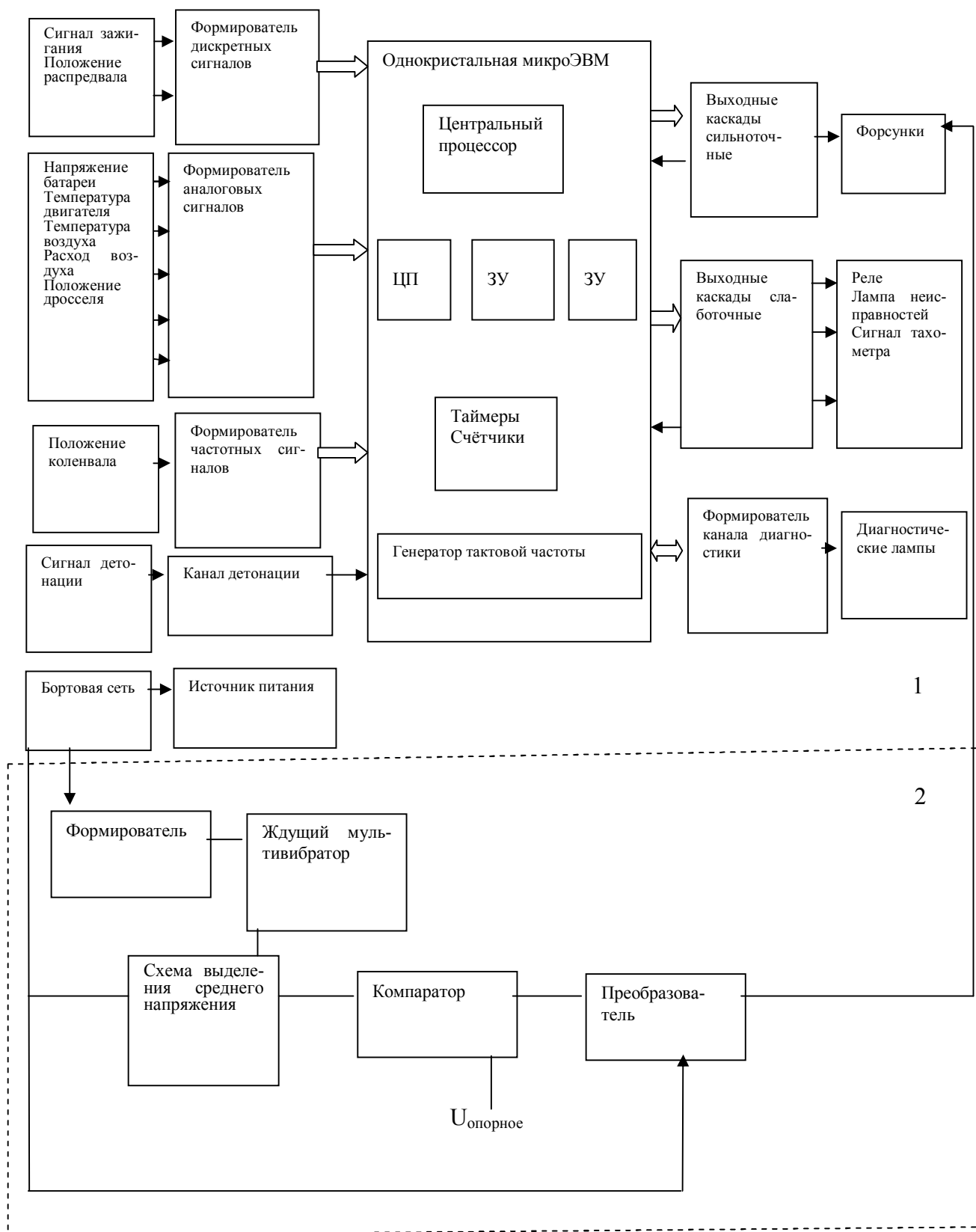


Рис. 4. Электрическая система управления двигателем: 1 - принципиальная схема электронной системы управления двигателем, 2 - Электрическая функциональная схема блока управления временем срабатывания.

Выводы

Применение управляемых повышающих преобразователей параметров электрической энергии позволяет изменять время срабатывания электромагнитной форсунки в широких пределах.

Библиографический список

1. Автомобильный справочник «Бош» [Текст]: Пер. с нем. - М.: За рулем. - 1999. - 895 с.
2. Будыко, Ю. И. Аппаратура впрыска легкого топлива автомобильных двигателей. [Текст]: учебное пособие/ Ю.И. Будыко. - Л.: Машиностроение. - 1975. - 192 с.
3. Ерохов, В. И. Системы впрыска топлива легковых автомобилей [Текст]: учебное пособие/ В.И.Ерохов. - М.: Транспорт. - 2002.- 174 с.
4. Гармаш, Ю. В. О регулировании времени срабатывания электромагнитной форсунки [Текст]/ Ю.В. Гармаш, Т.С. Валова//Международная научно-практическая конференция «Наука и образование XXI века». – Рязань. – 2007. - С. 238-243.
5. Устройство управления электромагнитными форсунками [Текст]: Патент РФ RU №2365776 С1 МПК⁷ F02D 41/20., БИ №24, 2009. // Гармаш Ю.В., Белов А.Б., Валова Т.С., Ухов А.В. Заявитель и патентообладатель Рязанский военн. Авт. Ин-т. 27.08.2009

УДК 004.932; ГРНТИ 89.57.35

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ МИКРОКЛИМАТОМ ВЫРАЩИВАЕМЫХ РАСТЕНИЙ

Е.С. Вавильченкова

*Брянский государственный технический университет,
Россия, г.Брянск, es.vav@mail.ru*

Аннотация. В данной работе описана автоматизированная система управления микроклиматом для успешного выращивания растений и увеличения численности урожая

Ключевые слова: мониторинг, автоматизированная система, увеличение урожая, микроклимат

AUTOMATED CONTROL SYSTEM OF MICROCLIMATE OF CULTIVATED PLANTS

E.S. Vavilchenkova

*Bryansk State Technical University,
Russia, Bryansk, es.vav@mail.ru*

Abstract. This paper describes an automated climate management system for the successful cultivation of plants and increase yield

Keywords: monitoring, automated system, the increase in yield, microclimate

1. Введение

Россия располагается в северных широтах и является аграрной страной. Треть населения России проживает в сельской местности. Из-за короткого теплого летнего периода невозможно создание достаточно эффективного овощеводства и отсутствует возможность получать урожай круглый год.

К тому же, в связи с последними событиями, поставки животной и растительной продукции из зарубежных стран в Россию запрещены продовольственным эмбарго, которое начало действовать 7 августа 2014 года.

Данные события располагают к поднятию и развитию отечественного сельского хозяйства и созданию высокоэффективных, высокотехнологичных ферм и хозяйств.

Разрабатываемый проект можно эффективно использовать в настоящем сельском хозяйстве. Разрабатывается автоматизированная система, в которой полив, обогрев и проветривание осуществляется тогда, когда того требуют условия.

2. Система управления разрабатываемым проектом

Управлять всеми заложенными процессами будет микроконтроллер, на который записывается программа. За полив отвечает датчик влажности почвы, за освещение - фоторезистор, за обогрев и вентиляцию - термодатчик.

Функционирование происходит автоматически, не требуя дополнительного ухода со стороны человека.

Данная система может сама поливать, регулировать температуру и обеспечивать нужное освещение. Системами охлаждения, освещения и полива управляет микроконтроллер Arduino nano на atmega 328 представленный на рисунке 1, который установлен на разработанной плате.

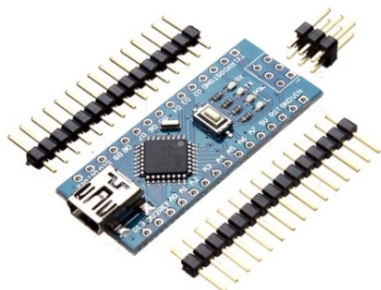


Рис.1. Arduino Nano V3.0 AVR
ATmega328 P-20AU

К порту А (аналоговому) микроконтроллера подключены датчики температуры, влажности почвы и фоторезистор. Они передают значения от 0 до 1023. ЖК дисплей подключается к А4 и А5 (scl и sda), так как через них передаётся информация на монитор, а GND и 5 В - это его питание. Реле, которыми управляют все системы теплицы подключены к порту D [5].

Реле отключается от источника постоянного тока 12 В. Реле К1 отвечает за светодиодные ленты, реле К2 отвечает за вентиляторы, реле К3 отвечает за систему обогрева, реле К4

за систему полива.

При подаче тока на реле замыкаются Х1 между собой и начинает работать освещение растений [3].

Когда микроконтроллер получает данные о снижении температуры, подаётся управляющий сигнал, который включает реле обогрева. Если температура повышается, включается вентиляция.

Когда микроконтроллер получает данные о снижении влажности почвы, подаётся управляющий сигнал, который включает реле полива. Таким же образом организована работа с фоторезистором [6].

Частота опроса микроконтроллером датчиков задана следующим образом: на датчик влажности почвы установлен запрос раз в 5 секунд, датчик освещенности получает запросы раз в 5 минут, датчик температуры, в свою очередь, обрабатывает запросы раз в 5 секунд.

Необходимо обратить внимание, что светодиоды являются защитой транзистора от напряжения самоиндукции реле [2]. После снятия напряжения с катушки, от неё идёт отдача напряжения (напряжение самоиндукции), импульс, амплитудой выше приложенного напряжения, который и гасит эти диоды. Без данных диодов возможен выход из строя ключевого транзистора [1].

Данный проект сэкономит большое количество времени и даст больше свободы пользователям. Кроме того, с такой конструкцией стоит рассчитывать на повышение урожая и увеличение сроков плодоношения растений почти в 2 раза.

3. Полив

Осуществляется это таким образом: система полива срабатывает по сигналу датчика - измерителя влажности почвы, представленном на рисунке 2.

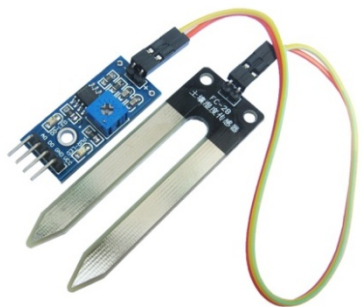


Рис.2. Датчик влажности

В зависимости от данных датчика (если влажность ниже 60%) автоматически включается насос и вода поступает из емкости для воды в пластиковые трубы - основу полива, затем в трубочки от капельницы к растениям. Осуществляется капельное орошение почвы.

Когда почва будет достаточно увлажнена, то также от датчика влажности, подаётся команда микроконтроллеру и насос выключается. Избыток влажности для растений, даже тепличных, вреден, также как и недостаток [4].

Поэтому необходимо следить за поливом теплицы. И удобнее всего это сделать с помощью автоматики.

4. Освещение

Система освещения состоит из источника тока, светодиодных лент и фоторезистора.

Были выбраны светодиодные лампы, в виде лент (рис. 3), так как этот вариант представляется самым выгодным, потому что такие лампы экономны, долго работают, безопасны и для их функционирования достаточно низкого напряжения в электросети. Так же можно использовать светодиодные лампы большей мощности и большее количество.



Рис.3. Светодиодная лента

Светодиодные светильники для растений имеют монохроматическое излучение, чем и обусловлена их эффективность [4]. Для данного проекта выбран желтый цвет светодиодов, так как он больше подходит для растений в период развития.

Как только уровень освещенности в дневное время суток падает (это определяется с помощью фоторезистора), автоматически включается желтая светодиодная лента, имитируя солнечное освещение, в ночное время суток для освещения включается белая светодиодная лента.

5. Вентиляция

Система охлаждения состоит из термодатчика (рис. 4) и вентиляторов. Как только температура воздуха в теплице достигает 25°C - это температура выше комфортной температуры для растений, то автоматически включается система вентиляции.

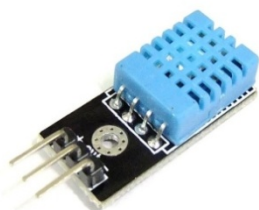


Рис.4. Термодатчик

Через первый вентилятор происходит вывод горячего воздуха из теплицы, он располагается в верхней части теплицы, потому что, как известно горячий воздух легче холодного и под действием Архимедовой силы поднимается вверх.

Вентилятор, расположенный внизу, подаёт холодный воздух из окружающей среды. Таким образом, происходит циркуляция воздушных масс внутри теплицы.

Когда температура внутри теплицы достигает 20°C , то система выключается. Исходные температуры выбираются для каждого вида растений отдельно, так как для полноценного произрастания каждой культуре необходим свой температурный контроль.

Поэтому для других растений диапазон температур можно будет изменять.

6. Обогрев

Система отопления состоит из термодатчика и устройства системы теплых полов с помощью электрического кабеля, инфракрасных лент или водяного подогрева. Для автоматизации теплицы к обогреву необходимо подключить реле времени и датчик температуры.

Терморегулятор располагают на почве, с краю грядки, датчик измеряет температуру воздуха. Надо учитывать, что показатель будет на 2°C ниже, чем внутри грунта, поэтому прибор нужно регулировать с учетом этой особенности.

Подобным образом организуется воздушный автоматизированный обогрев теплицы конвекторами, масляными радиаторами, инфракрасными лампами. Здесь, руководствуясь особенностью теплого воздуха подниматься вверх, важно установить термодатчики повыше, чтобы настроить приборы на требуемую температуру.

Если температура воздуха в теплице опускается ниже 20°C (это фиксируется термодатчиком), то подаётся команда микроконтроллеру, и включаются используемые механизмы для нагревания воздуха. Так же, в теплице возможно установить тепловую пушку.

Выводы

Теплицу, в которую внедрена данная автоматизированная система, можно использовать уже с апреля, когда средняя дневная температура окружающей среды достигает от

+10⁰С до +15⁰С по октябрь, когда средняя температура воздуха достигает не выше +10⁰С, то есть 7 месяцев вместо 3-4 месяцев.

Что является настоящим прорывом для индивидуального сельского хозяйства.

Библиографический список

1. Акулов И.С. "Практическая электроника" version 2.0, 2014
2. Касаткин А.С. Электротехника. Учебник для вузов. Изд-во: М., «Энергия», 2011.
3. Мак-Комб Гордон, Бойсен Э. Радиоэлектроника для чайников Изд-во: «Диалектика-Вильямс», 2013.
4. Тимошенко К. Теплица с теплоаккумулятором своими руками. Описание и эксплуатация, 2012
5. Amperka.ru [Электронный ресурс], URL: <http://wiki.amperka.ru/>, (дата обращения 10.12.16).
6. Arduino.ru [Электронный ресурс], URL: <http://arduino.ru/Hardware/ArduinoBoardNano>, (дата обращения 10.12.16).

УДК 004.932; ГРНТИ 89.57.35

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОНТРОЛЛЕРА ARDUINO ДЛЯ МОНИТОРИНГА КЛИМАТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

Д.Г. Шашков

*Брянский государственный технический университет,
Россия, г.Брянск, es.vav@mail.ru*

Аннотация. В данной работе описана система мониторинга климатических параметров при выращивании растений, как в домашних условиях, так и в тепличных хозяйствах. Для реализации был использован контроллер Arduino.

Ключевые слова: Arduino, климатические параметры, мониторинг, автоматизированная система

USE THE ARDUINO TO MONITOR CLIMATIC PARAMETERS

D.G. Shashkov

*Bryansk State Technical University,
Russia, Bryansk, es.vav@mail.ru*

Abstract. This paper describes a monitoring system of climatic parameters for the cultivation of plants, both in the home and in greenhouses. For implementation was used by the Arduino controller.

Keywords: Arduino, climatic parameters, monitoring, automated system

1. Введение

Для обеспечения оптимального микроклимата для роста и развития растений предназначены теплицы. Такие как просто небольшое место на подоконнике, так и промышленные сооружения.

За каждым растением, даже самым маленьким, необходим уход: поддержка нужной температуры, уровень освещенности и полив.

При наличии сил и времени многие пользователи занялись бы подобным хозяйством. Каждый мечтает, чтоб существовала система, которая делала все сама.

Данная теплица может функционировать автоматически, не требуя дополнительного ухода со стороны человека. Она может сама поливать, регулировать температуру и обеспечивать нужное освещение. Осуществляется это таким образом: система полива срабатывает по сигналу датчика – измерителя влажности почвы.

В зависимости от данных датчика (если влажность ниже 60%) автоматически включается насос и вода поступает из емкости для воды в пластиковые трубы – основу полива, затем в трубочки от капельницы к растениям. Осуществляется капельное орошение почвы.

Когда почва будет достаточно увлажнена, то также от датчика влажности, подаётся команда микроконтроллеру и насос выключается. Избыток влажности для растений, даже тепличных, вреден, также как и недостаток. Поэтому необходимо следить за поливом теплицы. И удобнее всего это сделать с помощью автоматики.

Основной целью выполнения данного проекта является внедрение высокоэффективной, современной автоматизированной системы управления, которая обеспечивает поддержание необходимого климатического режима.

В процессе реализации будет обеспечена плавность перехода из одного состояния в другое при отклонении климатических условий от нормы или при возникновении такой необходимости, сокращены затраты на обслуживание, собрана оперативная отчетность об экономических показателях работы.

Современная система управления должна позволять задать не только один из вышеперечисленных критериев управления или их комбинацию, но и любой другой возникающий в процессе производства, предоставляя агроному-технологу широкие возможности в выборе метода поддержания температурно-влажностного режима в теплице.

2. Реализации работы

Архитектура разрабатываемой системы имеет два уровня: нижний - подсистема управления (датчики, микроконтроллер, исполнительные механизмы и оборудование) и верхний - пост оператора (персональный компьютер).

Реализация алгоритмов управления осуществляется с помощью автоматизированного модуля верхнего уровня, который также отвечает за интерфейс на посту оператора. На рисунке 1 представлена часть материалов для реализации проекта.



Рис. 1. Часть компонентов используемых для АСУ

Данные мониторинга выводятся на дисплей, так же с помощью светодиодов есть возможность оповещать о критических значениях климатических параметров, или получать данные через интернет или на планшет. Оборудование необходимое для использования в теплице представлено на рисунке 2.

С помощью фоторезистора осуществляют измерение освещенности. В темноте сопротивление фоторезистора весьма велико, но когда на него попадает свет, это сопротивление падает пропорционально освещенности [1].

Модуль влажности почвы предназначен для определения влажности земли, в которую он погружен. Он позволяет узнать о недостаточном или избыточном поливе домашних или садовых растений.

При понижении температуры, контроллер подаст сигнал реле на включение питания для подогрева [4].

Система отопления состоит из термодатчика и 4 ламп накаливания мощностью 21 Вт каждая. Лампы накаливания установлены вдоль железного основания внизу теплицы, по 2 на каждый ряд растений. Если температура воздуха в теплице опускается ниже 20 0C (это фиксируется термодатчиком), то подаётся команда микроконтроллеру, и включаются данные лампы для нагревания воздуха.

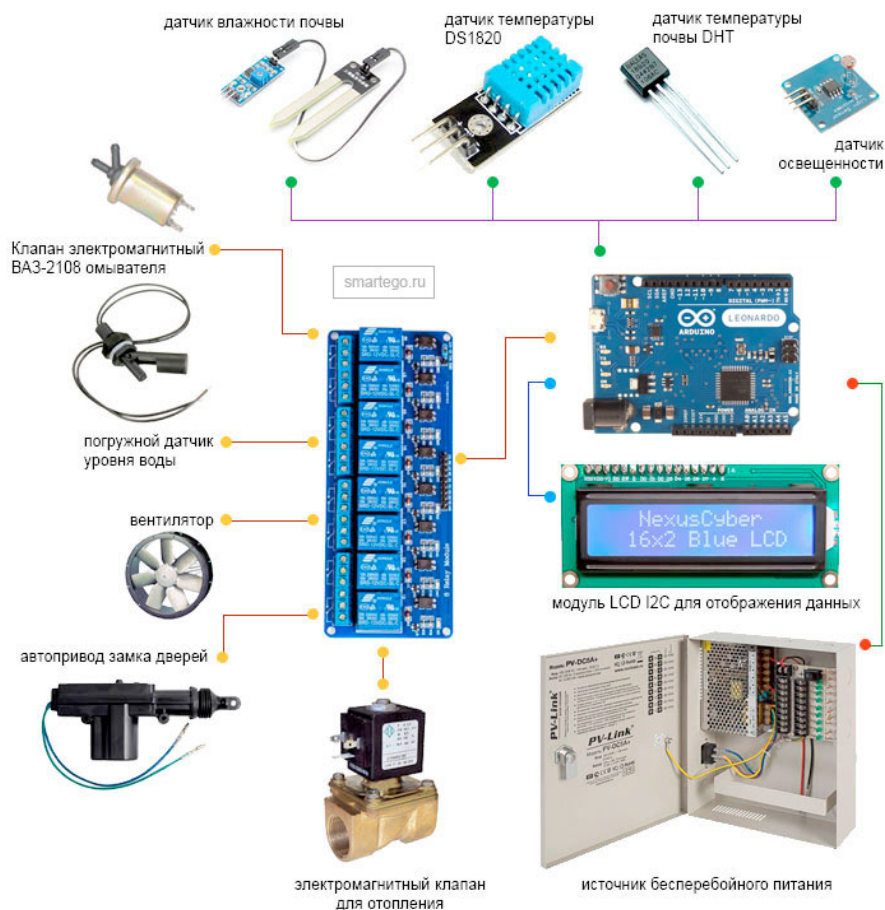


Рис.2. Необходимое оборудование для теплицы

Как только температура почвы достигнет заданных пределов, контроллер отключит питания от нагревателя. Чтобы нагревательный элемент не вышел из строя от частого включения и отключения, лучше использовать специальные диммеры, которые будут постепенно подавать нагрузку на нагреватель [2].

Когда микроконтроллер получает данные о снижении температуры, подаётся управляющий сигнал, который включает реле обогрева. Если температура повышается, включается вентиляция. Когда микроконтроллер получает данные о снижении влажности почвы, подаётся управляющий сигнал, который включает реле полива. Таким же образом и с фоторезистором.

Частота опроса микроконтроллером датчиков:

на датчик влажности почвы установлен запрос раз в 5 секунд;

освещения раз в 5 минут;

температуры воздуха раз в 5 секунд.

По схеме к X6-X9 подключаются выходы, на которые будут одеваться специальные провода от датчиков, а к X5 зажим [6].

На схеме элементы VD 1-4 – светодиоды, являющиеся защитой транзистора от напряжения самоиндукции реле. После снятия напряжения с катушки, от неё идёт отдача напряжения (напряжение самоиндукции), импульс, амплитудой выше приложенного напряжения, который и гасит эти диоды, без диодов возможен выход из строя ключевого транзистора.

Источник тока на 12В, 13А с USB разъемом для питания контроллера с линии блока на 5В переделан из блока питания ПК таким образом: необходимо замкнуть на разъеме подачи питания между собой контакт 16 (power on серого цвета) с контактом 17 (общий провод gnd черного цвета).

Все данные с датчиков (давления, температуры, освещенности) Так же подключаются светодиоды, которые будут сигнализировать о наступлении неблагоприятных климатических условий, требующих вмешательства (например, пониженная увлажненность почвы, слишком высокая температура, недостаточная освещенность).

Организован полив, обдув, освещение. Выполняются данные операции по нажатию соответствующих кнопок.

Мембранный вакуумный насос используется для полива почвы. Он предназначен для всасывания воды из емкости. При высоких температурах воздуха производится обдув с помощью вентилятора.

Система освещения состоит из источника тока, светодиодных лент и фоторезистора. Мы выбрали светодиодные лампы, в виде лент, так как этот вариант представляется самым выгодным, потому что такие лампы экономны, долго работают, безопасны и для их функционирования достаточно низкого напряжения в электросети. Так же, в теплицах можно будет использовать светодиодные лампы большей мощности и большее количество.

Светодиодные светильники для растений имеют монохроматическое излучение, чем и обусловлена их эффективность. Для данной теплицы был выбран оранжевый цвет светодиодов, так как он больше подходит для растений в начальный период развития.

Как только уровень освещенности в дневное время суток падает (это определяется с помощью фоторезистора), автоматически включается оранжевая светодиодная лента, имитируя солнечное освещение, в ночное время суток для освещения включается белая светодиодная лента [3].

Нужно обратить внимание, что насос, вентилятор, лампу подключать напрямую к Arduino не рекомендуется [6]. Управление ими осуществлено через реле.

После загрузки скетча на плату появляется возможность управления включением/выключением насоса, лампы, вентилятора при помощи кнопок.

В последовательный порт выводятся показания датчиков и состояние реле - полив, вентиляция, освещение, которое устанавливается так же, при помощи кнопок. На дисплее выводятся показания датчиков.

Таким образом, в теплице создается система, которая может настраиваться на создание климата для разных видов растений с ночной и дневной температурой (ночная и дневная температура используются для создания комфортного климата в любое время суток).

Авто-освещение применяется для восстановления баланса получаемого солнечного света растениями в случае плохих метеоусловий, например, если погода днём пасмурная, и солнечного света мало, то освещение включается дополнительно и днем.

Когда наступает ночь, освещение включается только по команде оператора, и не реагирует на темноту благодаря встроенным часам в теплице.

Таким образом, растение сможет компенсировать нехватку дневного света и сохранить свой биоритм, так необходимый для здорового роста и хорошего урожая.

Также, предусмотрена система авто-полива, которая работает по показаниям с датчиков влажности почвы, и включается, только если температура воздуха и почвы не ниже

отметки минимума, предусмотренного для растений, чтобы избежать переохлаждения корней саженцев. Предусмотрена возможность использования генератора тумана.

Выводы

Целью создания данного проекта являлось создание автоматизированной системы для выращивания растений и цветов в автономном режиме с возможностью удаленного наблюдения и удаленного управления процессом ухода за растениями с применением энергосберегающих технологий и современных интеллектуальных систем.

Целевой аудиторией данного проекта являются люди, занимающиеся выращиванием растений и плодовых культур на дачах, в домашних условиях. Управление теплицей будет достаточно понятным даже для пожилых людей, не умеющих работать с компьютером.

Как и в любом проекте, существуют некоторые риски. Риски работы над данным проектом содержатся в недостатке финансирования на этапе разработки, кроме того к рискам относится возможная высокая стоимость итогового продукта и сложность самостоятельной установки комплекта. В процессе модернизации проекта все недостатки системы планируется устранить.

Библиографический список

1. Гололобов В. Н. «Умный дом» своими руками. – М., 2011.
2. Кашкаров А.П. Электронные схемы для «умного дома». - М.: НТ Пресс, 2014.
3. Курдюмов Н.И., Малышевский К.Г. Умная теплица - М.: Владис, 2012.
4. Роберт К. Элсенпитер, Тоби Дж. Велт Умный Дом строим сами. - М.: Кудиц-Образ, 2014.
5. Массимо Банци. Arduino для начинающих. - М.: Рид Групп, 2012.
6. Платт Чарльз. Электроника для начинающих. - СПб.: БВХ-Петербург, 2014.

СЕКЦИЯ «МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ В НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ»

UDC 517.925

NEW APPROACH TO CONSTRUCTING LYAPUNOV-TYPE FUNCTIONS

V. V. Mironov, J.S. Mitrokhin

To the 75-th anniversary of Y.S. Mitrokhin

Abstract. The direct Lyapunov method is fundamental in studying stability of dynamic systems. The definition of the Lyapunov function is not connected directly with the structural properties of the system examined and therefore at present there are no any comprehensive general techniques of its construction, given the equation of the dynamic system movement. It is the most serious drawback of the Lyapunov methodology.

In this paper this drawback is partially overcome. The constructive procedure of building a Lyapunov-type function, given the equation of the dynamic system movement, is proposed. A concrete problem has been solved.

1. THE PROBLEM of CONSTRUCTING LYAPUNOV FUNCTIONS AND THE LYAPUNOV METHODOLOGY

Lyapunov's investigations on the theory of movement stability [1] have greatly anticipated their time. At the end of 1920s Russia experienced again an interest in the theory of stability. N.G. Tchetayev (the beginning of the 30s) was, apparently, one of the first who understood the importance of Lyapunov's theory application and published the world's first book on the theory of steady movement [2].

To avoid possible ambiguity, we shall explain the difference between Lyapunov's method and Lyapunov's methodology. The Lyapunov's method is a fixed mathematical device both to study and solve stability problems and to analyze other qualitative properties of dynamic systems without taking into account the information about system movement, i.e. without finding solution to the corresponding mathematical model. The Lyapunov's methodology is a regular procedure defining the order of how to use the mathematical device available.

The direct Lyapunov method is fundamental in studying the stability of dynamic systems. The existence theorems of Lyapunov functions justify the universality and significance of his method. However the definition of Lyapunov function is not related directly to the structural properties of the system under investigation and therefore there are no as yet any comprehensive general techniques of its construction, given the equation of the dynamic system movement. It is the most serious drawback of Lyapunov's methodology. That is why, the problem of whether it is possible by the form of the set of equations to determine the form of Lyapunov functions is of great interest.

In [3] some methods of constructing Lyapunov functions for different specific types of differential equations have been proposed. In [4] the generalization of the known Lyapunov function "a quadratic form plus an integral from nonlinearity" has been obtained. In [5] it has been shown that any movement can be considered as controlled, and the controlled movement is related in a mutually non-ambiguous manner to a pilot function, which determines the direction of the movement, one that is the best in the natural metric of the controlled system. It thus follows that the pilot function is an "ideal" Lyapunov function for a dynamic system in the neighbourhood of its equilibrium position. Since the definition of the pilot function of a dynamic system with complex behaviour at great distances from its equilibrium position is a difficult task, in [6] stability criteria (and the corresponding methods of defining Lyapunov function) have been reduced to a patch-local construction of the common, "standard" movement with the known pilot function, which is structurally equivalent to the movement under investigation. In [7] the analysis of some methods of constructing Lyapunov functions has been carried out and it has been proved that nothing essentially new in comparison with the results of papers [1, 2] has been found.

The fact that in the general case we need to guess the Lyapunov function has generated two fundamental problems.

PROBLEM 1. *How to construct Lyapunov function from a general form of a dynamic system?*

PROBLEM 2. *How to find the area of an asymptotic stability of a dynamic system?*

The solution of these problems is an extremely difficult task. The complexity of problem 2, for example, is so high that a good enough estimation of the area of asymptotic stability is considered to be its solution.

The problems 1 - 2 have been solved only for some classes of nonlinear stationary and non-stationary systems. On the other hand, the complexity of these solutions is commensurable with the heuristic approaches of the Lyapunov methodology, the implementation of which is, in its turn, equated by some experts to art.

This paper is a step to solve these problems in a general way. Namely, a constructive uniform approach to building Lyapunov-type functions have been proposed and the features of such an approach have been partially proved. The idea of the new approach has arisen from paper [8] and has been improved and developed in cooperation with Ju. S. Mitrokhin [9 - 11]. The present paper explicates this direction.

2. HIGHER CURVATURES of the CURVE

Suppose the coordinates $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T$ have been selected, where $n \geq 1$, the values of which at every moment t determine completely the speeds of their change at that same moment:

$$\dot{x} = f(x, t). \quad (1)$$

If the initial conditions are fixed

$$x_0 = x(t_0) = (x_1(t_0), \dots, x_n(t_0))^T \quad (2)$$

at the moment t_0 , the solution of the system (1) under condition (2) (particular solution or the state vector of the system (1) at the moment t) can be designated traditionally as $\bar{x}(t) = x(t, t_0, x_0)$.

For the right member of the system (1), which is function f , we will state the following conditions:

(c1) function $f(x, t)$ belongs to a class of functions that are C_I^n - n -times differentiated over t on the $I = [t_0, +\infty)$ interval;

(c2) function $f(x, t)$ has restricted partial derivatives over x and over t on the $R = Q \times I$ area, where area $Q = \{x : \|x\| < H\}$ is an H -given real positive number. Hereinafter by definition:

$$\|x\| = \max\{|x_1|, \dots, |x_n|\}, \quad |x| = \sqrt{\sum_i x_i^2};$$

(c3) function $f(x, t)$ and its derivative over t , that is $\dot{f}(x, t)$ function, are identically equal to zero on I only with $x = 0$.

If the conditions (c1) - (c3) exist, then the Lipschitz conditions are obviously fulfilled and, hence, there is a unique trajectory of the $x(t, t_0, x_0)$ system (1), passing at a moment of time t_0 through the $x_0 \in Q$ point.

Any particular solution $\bar{x}(t) = \text{const}$ is referred to as an equilibrium condition of the system (1). According to Lyapunov, it is convenient to accept the equilibrium condition under investigation as $\bar{x}(t) = 0$. A general solution of the system (1), which does not include the equilibrium conditions can be designated as $x(t)$. We suppose that the latter is not empty.

$$\dot{x} = \frac{dx}{dt}, \quad \ddot{x} = \frac{d^2x}{dt^2}, \dots, \quad x^{(n)} = \frac{d^n x}{dt^n}; \quad x' = \frac{dx}{ds}, \quad x'' = \frac{d^2x}{ds^2}, \dots, \quad x^{[n]} = \frac{d^n x}{ds^n},$$
$$k_{n-1}(x, t) = \frac{\left\{ \dot{x} \ddot{x} \dots x^{(n)} \right\} \left| \left[\dot{x} \ddot{x} \dots x^{(n-2)} \right] \right|}{\left[\dot{x} \ddot{x} \dots x^{(n-1)} \right]^2 \left| \dot{x} \right|}.$$
$$\left\{ \begin{array}{l} x' = r_1, \\ x'' = r_1' = k_1 r_2, \\ x''' = k_1 r_2' = k_1 (-k_1 r_1 + k_2 r_3) = -k_1^2 r_1 + k_1' r_2 + k_1 k_2 r_3, \\ \dots\dots\dots \\ x^{[n]} = L(r_1, r_2, \dots, r_{n-1}; k_1, k_1', \dots; k_2, k_2', \dots, \dots; k_{n-2}, k_{n-2}', \dots) + r_n \prod_{i=1}^{n-1} k_i, \end{array} \right. \quad (3)$$
$$[x' \ x'' \ \dots \ x^{[n-1]}] = k_1^{n-2} k_2^{n-3} \dots k_{n-2} [r_1 \ r_2 \ \dots \ r_{n-1}] = k_1^{n-2} k_2^{n-3} \dots k_{n-2} r_n. \quad (4)$$
$$\{x' x'' \dots x^{[n]}\} = [x' x'' \dots x^{[n-1]}]x^{[n]} = k_1^{n-1} k_2^{n-2} \dots k_{n-2}^2 k_{n-1} r_n^2 = k_1^{n-1} k_2^{n-2} \dots k_{n-1}. \quad (5)$$
$$k_{n-1} = \frac{\{x' x'' \dots x^{[n]}\}}{k_1^{n-1} k_2^{n-2} \dots k_{n-2}^2}. \quad (6)$$

98

$$\begin{aligned}
k_{n-2} &= \frac{\left| \left[x' x'' \dots x^{[n-1]} \right] \right|}{k_{n-3}^2 k_{n-4}^3 \dots k_2^{n-3} k_1^{n-2}}, \\
&\dots\dots\dots \\
k_i &= \frac{\left| \left[x' x'' \dots x^{[i+1]} \right] \right|}{k_{i-1}^2 k_{i-2}^3 \dots k_2^{i-1} k_1^i}, \\
&\dots\dots\dots \\
k_1 &= \left| \left[x' x'' \right] \right|.
\end{aligned} \tag{7}$$

Substituting formulas (7) in expression (6), we get the following expression for a higher curvature of the curve:

$$\begin{aligned}
k_{n-1} &= \frac{\left\{ x' x'' \dots x^{[n]} \right\}}{k_{n-2}^2 k_{n-3}^3 k_{n-4}^4 \dots k_2^{n-2} k_1^{n-1}} = \frac{\left\{ x' x'' \dots x^{[n]} \right\} \cdot k_{n-3}^4 k_{n-4}^6 \dots k_2^{2(n-3)} k_1^{2(n-2)}}{\left| \left[x' x'' \dots x^{[n-1]} \right] \right|^2 k_{n-3}^3 k_{n-4}^4 \dots k_2^{n-2} k_1^{n-1}} = \\
&= \frac{\left\{ x' x'' \dots x^{[n]} \right\} k_{n-3}^2 k_{n-4}^3 k_{n-5}^4 \dots k_2^{n-4} k_1^{n-5}}{\left| \left[x' x'' \dots x^{[n-1]} \right] \right|^2} = \frac{\left\{ x' x'' \dots x^{[n]} \right\} \left| \left[x' \dots x^{[n]} \right] \right| k_{n-4}^2 k_{n-5}^3 \dots k_2^{n-4} k_1^{n-3}}{\left| \left[x' x'' \dots x^{[n-1]} \right] \right|^2 k_{n-4}^2 k_{n-5}^3 \dots k_2^{n-4} k_1^{n-3}} = \tag{8} \\
&= \frac{\left\{ x' x'' \dots x^{[n]} \right\} \cdot \left| \left[x' x'' \dots x^{[n-2]} \right] \right|}{\left| \left[x' x'' \dots x^{[n-1]} \right] \right|^2}.
\end{aligned}$$

If we use equality $x' = \frac{\dot{x}}{|\dot{x}|} = \alpha \dot{x}$ with $\alpha = \frac{1}{|\dot{x}|}$ (implied from definition of Frene vectors), we can reduce the last equality from (8) to its final form:

$$\begin{aligned}
k_{n-1} &= \frac{\alpha^{1+2+\dots+n} \left\{ \dot{x} \ddot{x} \dots x^{(n)} \right\} \cdot \alpha^{1+2+\dots+(n-2)} \left| \left[\dot{x} \ddot{x} \dots x^{(n-2)} \right] \right|}{\left(\alpha^{1+2+\dots+(n-1)} \right)^2 \left| \left[\dot{x} \ddot{x} \dots x^{(n-1)} \right] \right|^2} = \\
&= \frac{\alpha^{2(1+2+\dots+(n-2))} \cdot \alpha^{2n-1} \left\{ \dot{x} \dots x^{(n)} \right\} \cdot \left| \left[\dot{x} \dots x^{(n-2)} \right] \right|}{\alpha^{2(1+2+\dots+(n-2))} \cdot \alpha^{2n-2} \left| \left[\dot{x} \dots x^{(n-1)} \right] \right|^2} = \frac{\alpha \left\{ \dot{x} \dots x^{(n)} \right\} \left| \left[\dot{x} \dots x^{(n-2)} \right] \right|}{\left| \left[\dot{x} \dots x^{(n-1)} \right] \right|^2}.
\end{aligned}$$

The theorem has been proved.

Let's introduce a new notation for the oblique product of vectors

$$V_n(x, t) \stackrel{df}{=} \left\{ \dot{x} \ddot{x} \dots x^{(n)} \right\}, \tag{9}$$

where the natural number n is referred to as the length of the oblique product, and let's have a standard notation of the sign function $sign(\dots)$.

THEOREM 2. $(\forall x \neq 0)(\forall t \geq t_0)(sign k_{n-1}(x, t) = sign V(x, t))$

The proof. From equality (6) and definition (9) it follows that the curvature:

$$k_{n-1}(x, t) = \frac{\left\{ \dot{x} \ddot{x} \dots x^{(n)} \right\}}{|\dot{x}|^{1+2+\dots+n} k_1^{n-1} k_2^{n-2} \dots k_{n-2}^2} = \frac{V(x)}{|\dot{x}|^{\frac{n+1}{2}n} k_1^{n-1} k_2^{n-2} \dots k_{n-2}^2}. \tag{10}$$

As was already mentioned, the $k_1, \dots, k_{n-2}$ curvatures are considered (chosen) to be strictly positive. Then from (10), the conditions (c3) and the definition of the general solution $x(t)$, there follows the validity of the declared predicate. The theorem has been proved.

3. A NEW APPROACH TO CONSTRUCTING LYAPUNOV-TYPE FUNCTIONS

To substantiate a new idea we will need some additional constructions. Nonperturbed and disturbed motion is understood in its Lyapunov sense [1].

Similar to Lyapunov's definitions of constant- and fixed-sign functions $V(x, t)$, given on the area R [1, page 80], we define the constant- and fixed-sign functions $V(x, t)$, given on the area $S = Q \times J$, where J is a finite time interval $[t_0, T]$, $T > t_0$. Thus, speaking about the function $V = V(x, t)$, we shall bear in mind its property of having a fixed sign, while, speaking about the derivative $\dot{V}$ of the function V over time t , we shall bear in mind its constant-sign property.

Let's state these definitions in the explicit manner.

DEFINITION 1. Let's define the function $V(x, t)$, given on the area S , as a constant-sign one, if $V(0, t) = 0$ on J and $(\forall x_1, x_2 \neq 0) (\forall t) (\text{sign } V(x_1, t) = \text{sign } V(x_2, t))$. If the constant sign function does not depend on t , i.e. $V = V(x)$ and the equality $V(x) = 0$ is only valid for $x = 0$, then we define the function $V(x)$ as a fixed-sign one. The function $V(x, t)$, given on the area S , we define as fixed-sign, if for it there is a positively defined function $W(x)$, which does not depend on t , such that one of two functions $V - W$ or $-W - V$ would represent a positive function. Thus in the first case we define $V(x, t)$ as positively defined, and in the second case as negatively defined.

To simplify further account, the condition that vector x belongs to area Q will always be fulfilled automatically.

DEFINITION 2. Let us define the time intervals, on which the function $V = V(x, t) > 0$ and its derivative over t function $\dot{V} \leq 0$, as intervals of stability from above (or positive stability). Then we define time intervals, on which $V > 0$ and $\dot{V} > 0$, as intervals of instability from above (or positive instability). Respectively, time intervals, on which $V < 0$ and $\dot{V} \geq 0$, are intervals of a stability from below (or negative stability). Intervals, on which $V < 0$ и $\dot{V} < 0$, are intervals of instability from below (or negative instability). Time intervals, on which $V=0$ are intervals of indefiniteness.

The joining of all positively stable intervals for function V can be called its zone of stability from above. We then define zones of instability from above, stability and instability from below, and zone of indefiniteness in a similar way. All these zones introduced into consideration by us can be called the characteristic zones of function V .

Let's return now to the equation (1) and curvatures $k_i(x, t)$. From properties of function $f(x, t)$ it follows that a general solution of the system $x(t)$ [and equally any of its particular solutions] has some curvature in every point $t = t_1$. Let us define a nonzero curvature of the highest order at a point $t = t_1$ as a higher curvature of the solution $x(t)$ at point $t = t_1$.

DEFINITION 3. Let us define the Lyapunov-type function as follows. Area R serves as the range of definition. If the higher curvature of the solution $x(t)$ at point $t = t_1$ is k_i , then $V_L(x, t_1) = V_{i+1}(x(t_1), t_1)$. Function $V_L(x, t)$ is called an oblique function of the curve, and its generatrix functions $V_{i+1}(x, t)$ are defined as components of the oblique function.

NOTES. 1. In the right part of the last equality mentioned, x is a coherent variable, whereas in its left part, x is already an unrestricted variable with a range Q .

2. The form of components of the oblique function V_L depends on parameter t . Therefore, variable t is explicitly present in function V_L .

THEOREM 3. *The oblique function V_L is continuous on R , smooth over t , and turns to zero on the interval I only at $x = 0$.*

Proof. Indeed, from the definition of the function V_L and equalities (9) and (10), it follows that the value of the function V_L is nothing but the value of the fraction numerator of the highest

nonzero curvature of the solution to equation (1). The higher curvature of the integrated curve of equation (1) with any initial data is a continuous function. Hence, the function V_L on the simply connected area R will also be continuous. A sufficient smoothness over t of function f [condition (c1)] ensures smoothness of the oblique function over t . If function V_L is equal to zero on I , then $x(t) = \text{const}$, and the latter is eliminated by definition. The theorem has been proved.

DEFINITION 4. Let the oblique function V_L have a zone of a stability above D_1 and a zone of instability above D_2 . We shall define zone $D = D_1 \cup D_2$ as a fixed sign zone of the function V_L (underlining its sign in case of necessity). Let's say that function V_L is potentially decreasing on zone D , if

$$(\forall t_0 \in D)(\exists T \in D, T \geq t_0)(\forall t \geq T, t \in D)(\forall x \in Q) (V_L(x, t) \leq V_L(x, t_0)). \quad (11)$$

For zones of negative stability and negative instability we define the property of the potential increase of function V_L in a similar way [changing the sign of the inequality in the body of the predicate (11) to the opposite].

THEOREM 4. For the oblique product of vectors $V_n(x, t) = \{\dot{x} \ddot{x} \dots x^{(n)}\}$ and its derivative $\dot{V}_n(x, t)$, the following formulas are correct: $\dot{V}_n(x, t) = \{\dot{x} \ddot{x} \dots x^{(n-1)} x^{(n+1)}\}$ and

$$V_n(x, t) = \begin{vmatrix} \dot{x}_1 & \ddot{x}_1 & \dots & x_1^{(n)} \\ \dot{x}_2 & \ddot{x}_2 & \dots & x_2^{(n)} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dot{x}_n & \ddot{x}_n & \dots & x_n^{(n)} \end{vmatrix}, \quad \dot{V}_n(x, t) = \begin{vmatrix} \dot{x}_1 & \ddot{x}_1 & \dots & x_1^{(n-1)} & x_1^{(n+1)} \\ \dot{x}_2 & \ddot{x}_2 & \dots & x_2^{(n-1)} & x_2^{(n+1)} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dot{x}_n & \ddot{x}_n & \dots & x_n^{(n-1)} & x_n^{(n+1)} \end{vmatrix}.$$

Proof. From the definition and the known properties of the oblique product of the vectors [12, page 67] we obviously get the formula for function $V_n(x, t)$. We have further:

$$\begin{aligned} \dot{V}_n(x, t) &= \{\ddot{x} \ddot{x} \dots x^{(n-1)} x^{(n+1)}\} + \{\dot{x} \ddot{x} \ddot{x} \dots x^{(n-1)} x^{(n+1)}\} + \dots + \\ &+ \{\dot{x} \ddot{x} \dots x^{(n+1)} x^{(n+1)}\} + \{\dot{x} \ddot{x} \dots x^{(n-1)} x^{(n+1)}\} = \{\dot{x} \ddot{x} \dots x^{(n-1)} x^{(n+1)}\}. \end{aligned}$$

The latter, bearing in mind expressions for $V_n(x, t)$, proves the theorem.

THEOREM 5. Let differential equations of perturbed movement be such that the oblique function V_L meets the following requirements:

- 1) function V_L has an unlimited zone of stability (from above or from below);
- 2) function V_L is potentially decreasing on the positively-signed zone and potentially increasing on the negatively-signed one.

Then nonperturbed movement is steady.

Proof. Let (to be more definite) function V_L have an unlimited zone of stability above D_1 and a zone of instability above D_2 , and also some zone of stability below Δ_1 and a zone of instability below Δ_2 . Let's consider fixed sign zones $D = D_1 \cup D_2$, $\Delta = \Delta_1 \cup \Delta_2$. Remember that all zones are essentially subsets of the time interval I . If zone Δ_1 is bounded from above by some number T^* , then, when considering the stability problem at $t \geq T^*$, we will reduce it to a problem of stability only under the condition of limitlessness of zone D_1 . Thus, while proving this point it is possible to limit ourselves to considering a general case, when zones D_1 and Δ_1 are unrestricted from above.

Let us designate the contraction of the function $V_L(x, t)$ over parameter t on the (definition) zone D_1 as $V_{L,D_1}(x, t)$. The functions $V_{L,\Delta_1}(x, t)$, $V_{L,D}(x, t)$, $V_{L,\Delta}(x, t)$ are defined similarly. The function $V_{L,D_1}(x, t)$ is positively defined on D_1 , and its derivative over t $\dot{V}_{L,D_1}(x, t)$ represents a negative function or is identically equal to zero on D_1 . From the definition of the stability zone D_1 and of the positively defined function on D_1 it follows that there may be found such constant values T_1 and H , with which for all values of the variable t , meeting the conditions

$$t \geq T_1 \text{ \& } t \in D_1, \quad (12)$$

and for all values of variables meeting conditions

$$|x_s| \leq H \quad (s = 1, 2, \dots, n), \quad (13)$$

the following inequalities will be fulfilled:

$$V_{L,D_1}(x, t) \geq W_1(x), \quad \dot{V}_{L,D_1}(x, t) \leq 0, \quad (14)$$

where W_1 is an accompanying function for V_{L,D_1} . Note that considering the character of the problem being solved, the number T_1 is treated as large enough (zone D_1 is not bounded from above), and number H is treated as small enough. As follows from the definition, the acnodes cannot belong to set D_1 .

Let's consider coordinates x_s , as functions of t , meeting the conditions of the differential equations for the disturbed motion. Hence, without loss of generality it is possible to suppose that values $\xi_s = x_s(T_1)$ of these functions at $t = T_1$ meet the conditions (13) with signs of strict inequality:

$$|\xi_s| < H \quad (s = 1, 2, \dots, n). \quad (15)$$

Then by virtue of the continuity of functions $x_s(t)$ on zones D_1 , the condition (13) will be fulfilled at least for all values of t , which are close enough to T_1 , with all of these values lying in zone D_1 . Let us consider only those values of the latter (i.e. parameter t), which are not less than T_1 .

Let's assume by definition

$$V_{01} = V_L(\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_n, T_1). \quad (16)$$

Function $V_{L,D}$ by the condition stated is potentially decreasing on D . Hence, there may be found such $T_2 \in D$ ($T_2 \geq T_1$) so that for all $t \in D$ and $t \geq T_2$ the following inequality will be correct:

$$V_{L,D}(x, t) \leq V_{01}, \quad (17)$$

with the equality (18) taking place at $t = T_2$ and $x_s = \xi_s$:

$$V_{L,D} = V_{01}. \quad (18)$$

From (18) it follows that $T_2 \in D_1$. Indeed, otherwise ($T_2 \in D_2$) by virtue of function V_L increasing, such $t^* > T_2$ would be found on zone D_2 , for which $V_L > V_{01}$, and that is in contradiction with (17).

As $V_{L,D}$ is positively defined on D , the first inequality from (14) is spread over the whole zone D :

$$W_1 \leq V_{L,D}, \quad (19)$$

whence, bearing in mind (17),

$$W_1 \leq V_{01}. \quad (20)$$

At the same time from (18) it follows that without loss of generality we can take the value of T_2 for T_1 . Thus, it is possible to think that in the interval from T_2 to t conditions (13) are invariably fulfilled, but in the same interval the inequality (20) will be correct for functions $x_s(t)$.

As zone D_1 is not limited from above, it is possible to make the second part of the inequality (20), namely, value V_{01} , as small as possible, achieving this through the value of ξ_s , since according to Theorem 3 the oblique function is continuous and $V_L(0, t) = 0$.

Let's designate by ε some number, which will be distinct from zero and arbitrarily small (in any way, strictly smaller than H). Let's consider all possible vectors x , going out from the origin of coordinates, with the norm:

$$\|x\| = \varepsilon. \quad (21)$$

In the affine space $\mathbf{A}^n$ the extremities of these vectors form a surface of the n -dimensional cube G with the side 2ε . The accompanying function W_1 of the function V_L is always positive on D . Hence, there is a precise lower limit W_1 on the set G :

$$l_1 = \inf_{x \in G} W_1(x) \quad (22)$$

The number l_1 will be necessarily positive, for, by definition of the accompanying function, $(\forall x \neq 0) W_1(x) > 0$, and the number l_1 , by virtue of the continuity of W_1 , will be one of the values which W_1 can accept on the closed set G .

As was already mentioned the initial value of V_{01} may be made as small as possible, hence, we can always do so that

$$V_{01} < l_1. \quad (23)$$

As the oblique function V_L potentially decreases on D , the inequality (23) will be fulfilled for every ξ_s , corresponding to the values of parameter $T_2 \in D$, such that

$$|\xi_s| \leq \lambda_1 \quad (s=1,2,\dots,n), \quad (24)$$

where λ_1 is some appropriate real number, distinct from zero.

We further suppose that values of ξ_s are really chosen according to conditions (24).

We state that number λ_1 is necessarily less than ε . Indeed, if $\lambda_1 \geq \varepsilon$, then for an appropriate $T_2 \in D$ and an appropriate vector $x_0 = (\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_n)^T$ with the norm $\|x_0\| = \varepsilon$ by virtue of (22), (23), the inequality $V_{01} < W_1(x_0)$ would be fulfilled, which contradicts the condition (20).

If, as it was stated, $\lambda_1 < \varepsilon$, then functions x_s for the appropriate values of $t \geq T_2$ and $t \in D$ will satisfy the inequalities

$$|x_s| < \varepsilon \quad (s=1, 2, \dots, n) \quad (25)$$

for all values of t close enough from the right to T_2 .

All reasoning carried out above refers to the positive-sign zone D . Having carried out similar reasoning and constructions for the negative-sign zone Δ , we shall get similar inequalities. Namely, there can be such parameter value t , equal to T_3 , that for all $t \geq T_3$

$$W_2(x) \geq V_{02}, \quad (26)$$

where $V_{02} = V_{L,\Delta}(\xi_1, \dots, \xi_n, T_3)$, $\xi_s = x_s(T_3)$ ($s = 1, 2, \dots, n$), W_2 is an accompanying function for $V_{L,\Delta}$ on zone Δ .

If we suppose

$$l_2 = \sup_{x \in G} W_2(x), \quad (27)$$

then it is always possible to have

$$V_{02} > l_2. \quad (28)$$

As the oblique function V_L potentially increases on Δ , the inequality (28) will be fulfilled for all ξ_s , such that

$$|\xi_s| \leq \lambda_2 \quad (s = 1, 2, \dots, n), \quad (29)$$

where λ_2 is some appropriate real number, distinct from zero.

Functions x_s for all values of t ($t \in \Delta$) close enough from the right to T_3 will also satisfy the inequalities

$$|x_s| < \varepsilon \quad (s = 1, 2, \dots, n) \quad (30)$$

Let's assume $T = \max\{T_2, T_3\}$ by definition and let $T = T_2$, to be more definite. Continuously varying with time $t \geq T$ within some simply connected interval I_1 included in zone D , the functions x_s cannot cease to satisfy the inequalities (25) unless prior to that they have reached some values, which meet condition (21). With (22), (23), i.e. at $V_{01} < l_1$, the latter is incompatible with condition (20). Hence, when t is continuously increasing within the boundaries of interval I_1 , condition (25) remains valid.

If, in its growth, time t passes from the interval I_1 to the interval I_2 of zone Δ through some interval Ω (for example, through a point), then on the interval Ω the function V_L will change its character from positive definiteness to negative. From definition of V_L it follows that on the interval Ω the first curvature k_1 is equal to zero and, hence, on Ω , variables x_s continue to satisfy condition (25).

If we suppose $T_4 = \sup \Omega$, then by virtue of continuity of function V_L we can conclude that in some right-hand neighborhood of point T_4 , condition (30) remains valid. At the same time by virtue of the potential decrease of function $V_{L,\Delta}$, the inequalities (26) and (28) remain valid. Then, varying continuously with time t within the boundaries of the interval I_2 , the functions x_s , as in the case of the interval I_1 considered, cannot cease to satisfy inequalities (30) unless prior to that they have reached those values, which meet condition (21). Again at (27), (28), the latter is incompatible with (26). Hence, through all the time of the continuous growth of the parameter t within

interval I_2 , inequalities (30) remain valid. The similar situation arises, as it is easy to see, when t passes from zone Δ to zone D .

Thus, we should conclude that whatever values of ξ_s , satisfying the condition

$$|\xi_s| < \min \{\lambda_1, \lambda_2\} \quad (s = 1, 2, \dots, n), \quad (31)$$

we have, the functions x_s will satisfy conditions (25), as well as (30), for all values of t from the interval I , which are greater than T . The theorem has been proved.

NOTE. It is necessary to note that in our reasoning above the main role has been played by the oblique product function V_L . However often in concrete tasks this function has a very complex form and operating with it causes great computational difficulties (and sometimes it simply does not give any result: Theorem 5 only states the sufficient conditions of stability). The task of searching for the Lyapunov-type function can be simplified, if we present function V_L as

$$V_L(x, t) = \alpha V_1(x, t) + V_2(x, t),$$

where $\alpha = \text{const}$ or α is a function having fixed sign on the area R . If the sign of $V_L(x, t)$ depends only on the sign of $V_1(x, t)$ on the area R , then function $V_1(x, t)$ can be used as the target function (with conditions of Theorem 5 satisfied).

EXAMPLE 1. Study stability of a second-kind equation

$$\ddot{x} + (\dot{x})^3 + x = 0$$

in the neighborhood of the origin of coordinates.

Solution. If we assume $y = \dot{x}$ by definition, the given equation is equivalent to a set of equations

$$\begin{cases} \dot{x} = y, \\ \dot{y} = -x - y^3. \end{cases}$$

According to the constructive (not heuristic) technique proposed and using Theorem 4, we shall discover the function of the oblique product

$$V_L = -y^2 + 3xy^3 + 3y^6 - x^2 - 2xy^3 - y^6 = -x^2 - y^2 + V_2,$$

where the V_2 sum has the order strictly greater than 2 with respect to x, y . Hence, we can consider the function $V_1 = x^2 + y^2$ as the target function of the Lyapunov type. The function derivative V_1 along the trajectory of the system is equal to $-2y^4$. Hence, the function V_1 is potentially decreasing and according to Theorem 5 the origin of coordinates is a steady point of the system.

Note that the derivative is not strictly negative only on the straight line $y = 0$. On this direct line the components of the vector field of the system are equal to $\dot{x} = 0$, $\dot{y} = -x$. Therefore all corresponding trajectories intersect the $y = 0$ straight line, and the derivative will become zero only with certain values of t . In all other points of the plane the derivative is negative. Hence, the asymptotic stability takes place.

EXAMPLE 2. Study a stationary point $x = 0, y = 0$ for stability and estimate the asymptotic stability area of a nonlinear system in which a, b, c are real constants,

$$\begin{cases} \dot{x} = -ay - b^2 x^5 \\ \dot{y} = ax - c^2 y^5 \end{cases}.$$

Solution. In this case (bearing in mind Theorem 4) the oblique function looks like

$$V_L = a^3(x^2 + y^2) + V_2,$$

where $V_2(x, y)$ is a function with an order greater than 2. It is easy to see that the properties of function V_L studied coincide with the properties of the function $V_1 = a^3(x^2 + y^2)$. Therefore we shall consider function V_1 , and since the derivative

$$\dot{V}_1(x, y) = -2a^3(b^2 x^6 + c^2 y^6) \leq 0,$$

then the function is potentially decreasing and according to Theorem 5 the origin of coordinates is a steady point of the system. Moreover, according to the definition of the asymptotic stability area [13], the given system is asymptotically steady in the open area $Q = \{(x, y) : |x| < 1, |y| < 1\}$. An estimate of the lower bound of the asymptotic stability area of the given system has thus been obtained. The problem of the accuracy of this estimation is not considered here.

References

1. A. M. Lyapunov. A general problem of movement stability. Moscow - Leningrad, 1950.
2. N. G. Tchetayev. Stability of movement. Articles in analytical mechanics. Nauka. Moscow, 1962.
3. Ye. A. Barbashin. Lyapunov functions. Nauka. Moscow, 1970.
4. G. I. Lozgatchyov. Construction of Lyapunov functions for nonlinear dynamic systems. Diff. Equat. 1998. 34. № 11. P. 1565-1567. (in Russian)
5. A. I. Propoy. On the problem of movement stability. Autom. and Telemekh. 2000. № 4. P. 51-60. (in Russian)
6. A. I. Propoy. On the construction of Lyapunov functions. Autom. and Telemekh. 2000, № 5. P. 32--38, № 6. P. 31-40. (in Russian)
7. V. V. Rumyantsev. Comparing three methods of constructing Lyapunov functions. Appl. Math. And Mech. 1995. V. 59. Iss. 6. P. 916-921. (in Russian)
8. Yu. S. Mitrokhin. On fine controllability of the systems of the nonlinear differential equations of optimum regulation. Diff. Equat. 1974. 10. № 8. P. 1406-1411. (in Russian)
9. V. V. Mironov, Yu. S. Mitrokhin. A sufficient condition of the stability of continuous dynamic systems. The Bulletin of the RSREA. Ryazan. 1998. № 5. P. 95-97. (in Russian)
10. V. V. Mironov, Yu. S. Mitrokhin. Stability of the automatic control systems having variable structure. The Bulletin of the RSREA. Ryazan. 1999. № 6. P. 37-40. (in Russian)
11. V. V. Mironov. Methods of constructing Lyapunov functions: the theses of the reports of the international scientific conference "The Nonlinear analysis and functional differential equations". Voronezh. 2000. P. 154-155. (in Russian)
12. B. A. Rozenfeld. Multi-dimensional spaces. Nauka. Moscow. 1966.
13. V. I. Zubov. Lectures on the theory of stability. Nauka. Moscow. 1975.

УДК 621.81-192; ГРНТИ 55.03.05

СТОХАСТИЧЕСКИЙ ПОДХОД В РАСЧЕТАХ РЕСУРСА МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ МОСТОВЫХ КРАНОВ

Г.В. Селиверстов, Н.Н. Трушин, Д.К. Смирнов

Тульский государственный университет,
Российская Федерация, Тула, dimaks18@gmail.com

Аннотация. В данной работе предложен метод прогнозирования остаточного ресурса металлоконструкций мостовых кранов, базирующийся на вероятностном подходе к моделированию воздействия нагрузок на элементы металлоконструкции и накопления в них повреждений.

Ключевые слова: надёжность, металлоконструкция крана, стохастическое моделирование, пористость

STOCHASTIC APPROACH TO CALCULATING THE REMAINING USEFUL LIFE OF OVERHEAD TRAVELING CRANES' METALLIC STRUCTURES

G.V. Seliverstov, N.N. Trushin, D.K. Smirnov

Tula State University,

Russian Federation, Tula, dimaks18@gmail.com

Abstract. This paper deals with a method for predicting remaining useful life of an overhead travelling crane's metallic structure based on the probabilistic approach to modeling the influence of strains on elements of CMS and damage accumulation in them.

Keywords: reliability, CMS, stochastic modeling, porosity

1. Введение

В последние два десятилетия на российских промышленных предприятиях существует тенденция экономить на закупках новой строительной техники, инвестируя средства в продление срока службы уже имеющегося в наличии оборудования. В таких условиях, на передний план выходят задачи безопасной эксплуатации имеющейся техники и достаточно точной оценки её надёжности.

На погрузочно-разгрузочных, строительных и горнодобывающих работах широко используются мостовые краны. В зависимости от специфики выполняемых задач, существуют мостовые краны различных конструкций, однако все они имеют следующие основные компоненты: металлоконструкция, мост, тележка, канаты, подкрановые пути.

2. Устройство мостового крана и типичные виды нагрузок

Цикл работы мостового крана имеет следующие этапы:

- позиционирование тележки над грузом
- подъем груза
- перемещение
- холостой ход

В этапах цикла следует выделить периоды разгона и торможения тележки и моста, отрыва груза от поверхности, его подъёма и опускания.

В результате многократного повторения рабочего цикла, а также воздействия внешних факторов, в металлоконструкции крана накапливаются повреждения, которые, в конечном счёте, приводят к появлению усталостных трещин. Поэтому для продления срока службы крана необходимо регулярно проверять состояние элементов металлоконструкции. Существуют различные способы выявления накопленных повреждений, как, к примеру, магнитный метод неразрушающего контроля. Однако они позволяют определить состояние металлоконструкции лишь на текущий момент. Для обеспечения безопасного функционирования крана же необходимо спрогнозировать накопление повреждений со временем и определить, через какой период эксплуатации металлоконструкция потребует ремонта.

Выделим виды нагрузок, которые возникают в конструкции мостового крана в ходе цикла работы:

Статические нагрузки

- собственный вес металлоконструкции и закрепленных на ней частей крана
- давление ходовых колёс тележки на металлоконструкцию

Динамические нагрузки

- вертикальная нагрузка в момент отрыва груза от поверхности, вызванная силой инерции
- нагрузка при подъёме груза
- нагрузка при прохождении колёсами тележки швов в рельсах
- нагрузка при прохождении колёсами моста швов в рельсах
- нагрузка при наезде колёс тележки на опоры

Динамические нагрузки от действия сил инерции принимают равномерно распределёнными во всей длине моста, а от давления ходовых колёс – сосредоточенными. Помимо нагрузок, обусловленных непосредственно устройством и выполнением цикла крана, существуют и внешние факторы.

- ветровая нагрузка
- дополнительная нагрузка от перекоса крановых мостов
- температурная нагрузка

3. Моделирование процесса накопления повреждений под действием нагрузок

Для установления остаточного ресурса крана необходимо выявить в металлоконструкции участки сосредоточения нагрузок. Именно эти места под воздействием циклических нагрузок по подъёму, перемещению и опусканию грузов быстрее всего подвергаются износу из-за накопленной усталостной поврежденности. Состояние этих элементов конструкции крана и будет основным критерием запаса прочности крана. Для выявления означенных узлов металлоконструкции с высокой концентрацией напряжений, встаёт вопрос о знании величин всех перечисленных нагрузок, которым подвергается кран. Их можно установить, зная условия работы конкретного крана: интервал массы поднимаемых грузов, температурный режим, погодные условия и т.д. Приложив нагрузки к металлоконструкции (для этого можно воспользоваться одним из существующих пакетов программ), можно установить узлы, наиболее уязвимые для разрушения.

Далее, для каждого из выявленных узлов следует установить некий максимально допустимый уровень поврежденности, по прохождении которого узел (а с ним и вся металлоконструкция) приходит в негодность.

В качестве меры поврежденности можно принять, к примеру, пористость. Цикл за циклом, элемент конструкции разрушается изнутри. В структуре металла образуются микротрещины, которые затем объединяются в макротрещину, что приводит к поломке элемента. Элемент сломается по достижении определенного значения доли пор в его объёме.

Тогда вопрос прогнозирования остаточного ресурса мостового крана приводит нас к следующей задаче: определить время роста коэффициента пористости в наиболее уязвимых узлах металлоконструкции до критического уровня. Эта задача потребует знания характеристик материалов, из которых сделаны элементы металлоконструкции крана, текущего состояния этих элементов и построения достаточно точной модели влияния нагрузок на рост пористости.

Как было отмечено ранее, в процессе своей работы, кран подвергается воздействию не полностью предсказуемых внешних факторов, как то ветер и температура. Кроме того, и веса поднимаемых грузов тоже варьируются. И, наконец, сам процесс роста и объединения трещин (пор) тоже происходит случайным образом.

4. Наиболее уязвимые элементы металлоконструкции и типичные повреждения для них виды повреждений

В предыдущих исследованиях был рассмотрен типичный цикл работы мостового крана [1]. На основе конечно-элементного моделирования были рассчитаны нагрузки и напряжения в 22 областях несущей металлоконструкции крана. При этом была проведена проверка сходности со статистическими данными, опубликованными ВНИИПТМАШ [2]:

- в концевых балках - трещины в районе букс ходовых колес; первый очаг - сварной шов, соединяющий вертикальную стенку с нижним поясом в месте резкого изменения сечения концевой балки; второй очаг - вырезы в вертикальных стенках под болтовые соединения букс;
- в узле сопряжения главной балки с концевой; независимо от типа конструкции узла сопряжения трещины наблюдались в вертикальных стенках главных балок в районе боковых Т-образных накладок; трещины берут свое развитие от острых углов накладки;
- в главных балках - в верхнем поясе, в районе устройства стыков тележечного рельса; в районе резкого изменения поперечного сечения - перехода нижнего пояса от наклонной части к горизонтальной (соединения стенки с нижним поясом); на вертикальной стенке в местах приварки кронштейнов, поддерживающих рабочие площадки, особенно в районе установки на них механизмов;
- в креплении перил к торцевому листу концевой балки;

- в креплении редуктора механизма передвижения - место приварки кронштейна к вертикальной стенке концевой балки и к настилу площадки;
- в креплении кабины машиниста - трещины в полках уголков и косынок крепления кабины к мосту крана.

Проверка подтвердила правильность подхода к выбору мест потенциального разрушения. Однако, при расчётах ресурса этих мест для разделения по группам опасности был применен детерминированный подход на основе модели линейного суммирования повреждений. В силу того, что нагружение происходит в условиях нестационарного циклирования, точность данного метода является недостаточной для расчета ресурса.

Выводы

Всё это говорит в пользу построения стохастической модели роста трещин в конкретном узле конструкции. Она должна представлять собой систему уравнений, в которой стохастическими переменными будут воздействие ветра, температуры, поднимаемых весов и др. непредсказуемые факторы. Для каждого конкретного мостового крана можно привести диапазоны температуры воздуха, скорости ветра и поднимаемых грузов. Преобразуя уравнения системы, следует выявить зависимость между временем – а точнее, количеством отработанных циклов – и ростом коэффициента пористости. Цикл, на котором значение достигнет критической отметки – и есть остаточный ресурс металлоконструкции крана. Так как эта величина зависит от многих случайных факторов, для неё будет необходимо составить некий доверительный интервал, по достижении нижней границы которого, кран должен быть немедленно списан. Применение данной модели позволит нам более точно оценивать остаточный ресурс, что повысит безопасность при эксплуатации крана.

Библиографический список

1. Диагностирование грузоподъемных машин / В.И. Сероштан, Ю.С. Огарь, А.И. Головин и др.: Под ред. В.И. Сероштана, Ю.С. Огаря. – М.: Машиностроение, 1992. – 192 с.
2. Селиверстов Г.В., Вобликова Ю.О. Влияние динамического нагружения на накопление усталостных повреждений металлоконструкций грузоподъемных кранов // Строительные и дорожные машины. – 2012. – №1. – С. 38 – 40.

УДК 621.81-192; ГРНТИ 55.03.05

ПРИМЕНЕНИЕ РЕГРЕССИОННЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ УСТАЛОСТНОЙ ПОВРЕЖДЕННОСТИ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ КРАНОВ

Г.В. Селиверстов, К.С. Коломиец

*Тульский государственный университет,
Российская Федерация, Тула, s456789@mail.ru*

Аннотация. В данной работе приведен пример расчета остаточного ресурса крановой металлоконструкции в условиях развития коррозионных повреждений.

Ключевые слова: кран, коррозия, усталость, питтинг, трещина.

APPLICATION OF REGRESSION MODELS TO ASSESS THE FATIGUE DAMAGE STEEL CRANE

G.V. Seliverstov, K.S. Kolomiets

*Tula State University,
Russian Federation, Tula, diane.lazar@yahoo.com*

Abstract. In this paper, an example of calculating the residual life of the crane metalloconstruction in terms of corrosion damage.

Keywords: crane, corrosion, fatigue, pitting, crack

1. Введение

Процесс накопления усталостной повреждаемости элементом конструкции находит свое отражение в первую очередь в поверхностных слоях материала. Причем, каждому периоду усталости соответствуют свои присущие только ему изменения в этих слоях. Некото-

рые проявления усталости, особенно на начальном этапе, можно заметить только с помощью специальной высокочувствительной аппаратуры (увеличение плотности дислокаций по границам зерен, генерирование отдельных дислокаций исходными субграницами и т. д.), другие, как полосы скольжения, микро – и макротрещины могут наблюдаться невооруженным глазом или с помощью оптических приборов с небольшой кратностью увеличения. Все эти процессы вызывают образование специфичного рельефа поверхности при циклических нагрузениях.

Проанализированы модели, описывающие кинетику развития усталости при упругом и упругопластическом нагружениях. Рассмотрено влияние коррозии на накопление усталости. Данный анализ позволил сделать вывод о взаимосвязи изменения состояния поверхности в процессе увеличения числа циклов может и степени интегрального повреждения и дискретного повреждения структуры в наблюдаемой зоне предразрушения и последовательного продвижения зоны вследствие прироста трещины [1].

2. Принципы решения поставленной задачи

При возникновении питтингов необходимо их рассматривать, как локальные переменные во времени концентрации напряжений, являющиеся источником потенциального зарождения макротрещины [2]. Были смоделированы питтингоподобные дефекты и изучено их влияние на напряженно-деформированное состояние элемента. Конечно-элементные модели для глубин дефектов в 0,1 и в 0,9 от толщины элемента приведены на рисунках 1, 2. Анализ полученных данных показал, что с увеличением глубины дефекта растет также и величина концентрации напряжений. Графически это представлено на рисунке 3. На вертикальной оси показана величина теоретической концентрации напряжений, а на горизонтальной – отношение глубины дефекта к толщине материала. Методом регрессионного анализа было получено соотношение:

$$\alpha_\sigma = 0,4838 \ln(x) + 2,7916 \quad (1)$$

Соотношение 1 позволяет произвести оценку изменения напряженно-деформированного состояния локальной области элемента металлоконструкции в зависимости от глубины питтинга. Применяя известные методики была проведена проверка данной модели с помощью критерия Фишера. Проверка данной модели подтвердила ее адекватность.

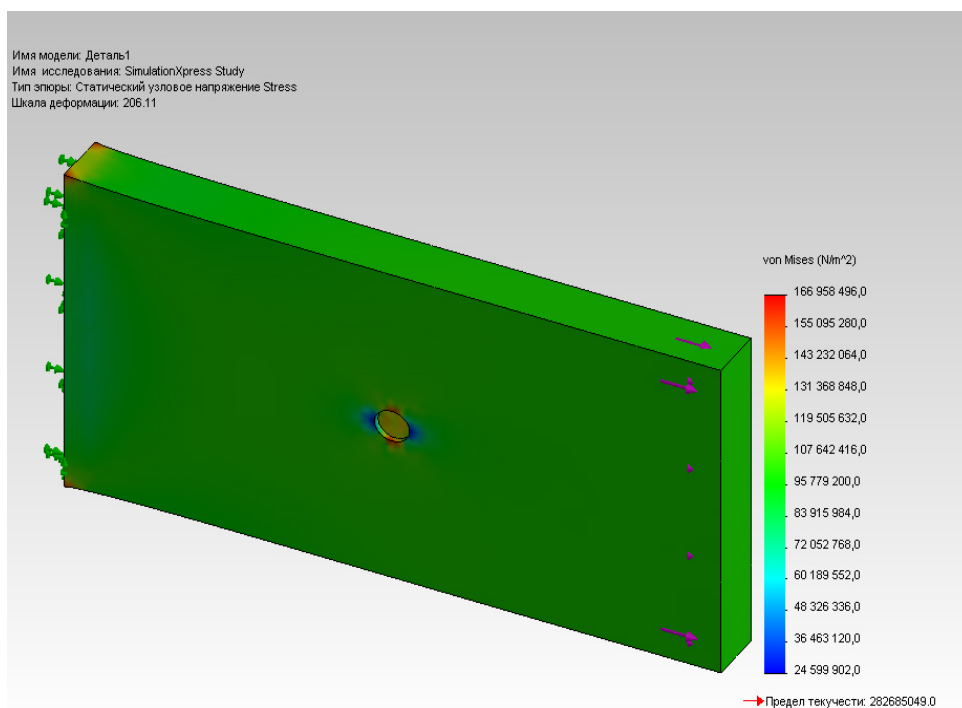


Рис. 1. Питтинг глубиной 0,1 толщины материала

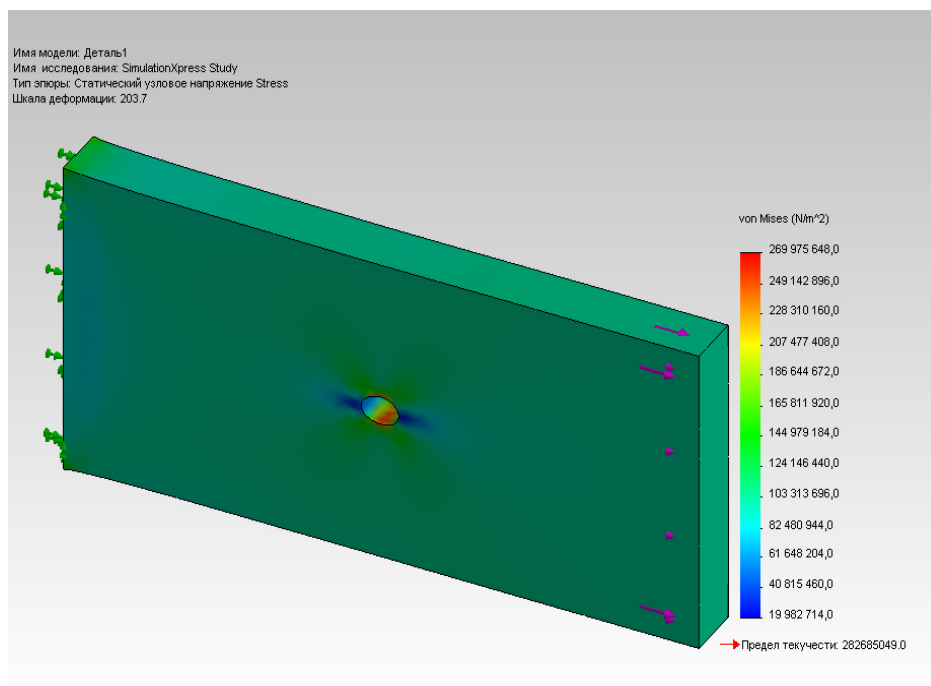


Рис. 2. Питтинг глубиной 0,9 толщины материала

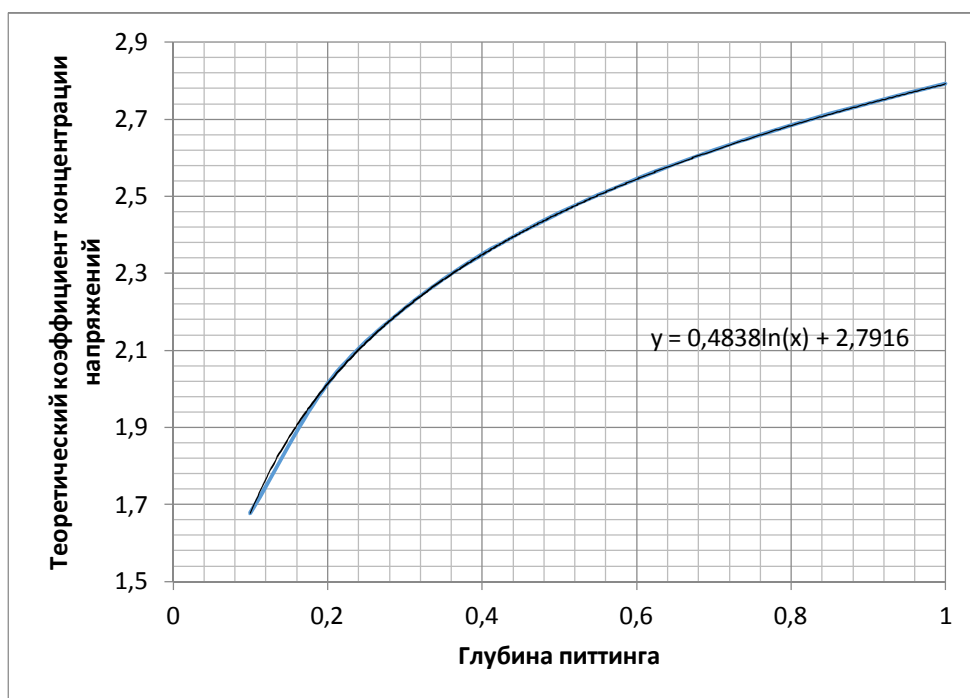


Рис. 3. График изменения концентрации напряжений в зависимости от глубины дефекта

Задавшись величиной концентрации агрессивных загрязнений были посчитаны скорость коррозии и снижение прочностных характеристик материала. Таким образом, дальнейший анализ поврежденности должен проходить в условиях увеличения концентрации напряжений, уменьшения сечения материала и снижения его прочности.

Для примера был проведен расчет накопления поврежденности для стали 09Г2С. Подставив, полученные регрессионные зависимости в уравнение кривой усталости было получена итоговая формула:

$$\lg N_i = 6 \left(\lg \left(\frac{2 \frac{0,5\sigma_{mK}}{1+q(\alpha_{\sigma i}-1)}}{1-R+(1+R) \frac{\psi}{1+q(\alpha_{\sigma i}-1)}} \right) - \lg \sigma_i \right) + \lg N_0, \quad (2)$$

где $\alpha_{\sigma i}$ - теоретический коэффициент концентрации напряжений;
 σ_i - действующее напряжение;
 σ_m - предел текучести;
 ψ - коэффициент чувствительности стали к асимметрии цикла;
 R - асимметрия цикла;
 q - коэффициент чувствительности металла к концентрации напряжений.

Графически данное уравнение иллюстрирует семейство кривых усталости, показанные на рисунках 4, 5. При этом наглядно видно снижение предела выносливости, и увеличение действующих напряжений, в зависимости от времени эксплуатации.

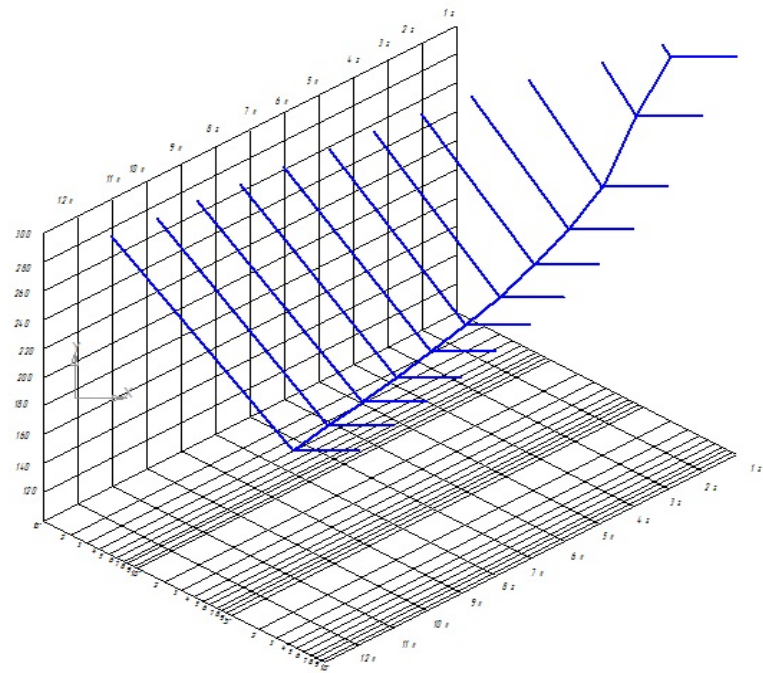


Рис. 4. Трехмерное изображение кривых усталости с графиком изменения предела выносливости

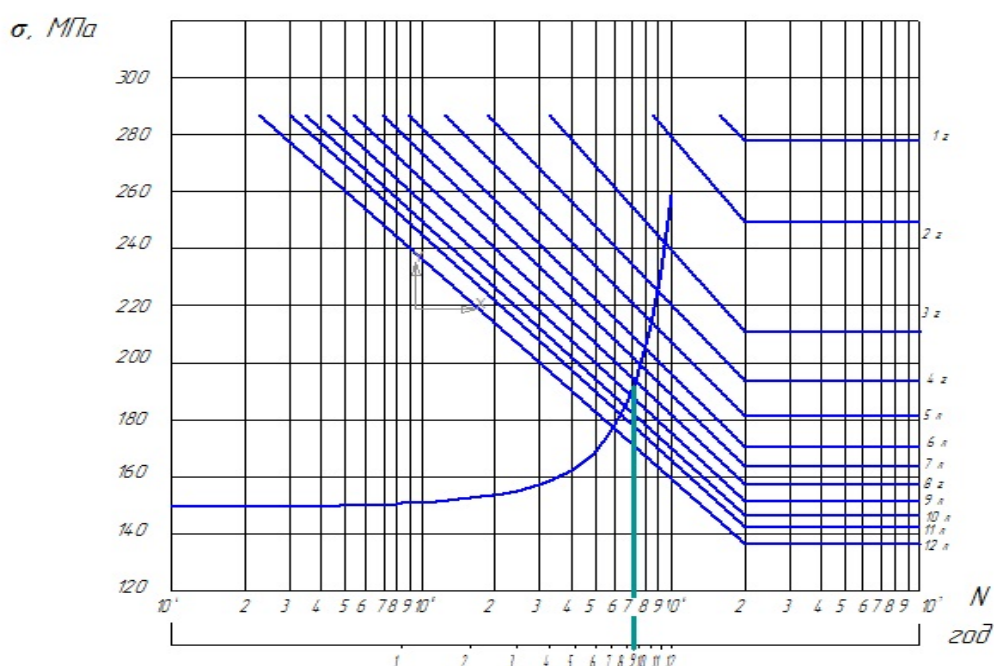


Рис. 5. Семейство кривых усталости и график действующих напряжений

Выводы

Решение данного уравнения показало, что образование макротрещины критического размера (точка пересечения графика изменения действующих напряжений и кривой усталости) может произойти до истечения нормативного срока службы крана по истечению 8,5 лет эксплуатации крана.

Библиографический список

1. Селиверстов Г.В., Вобликова Ю.О. Влияние динамического нагружения на накопление усталостных повреждений металлоконструкций грузоподъемных кранов // Строительные и дорожные машины. – 2012. – №1. – С. 38 – 40.
2. Селиверстов Г.В., Данилов А.С. Исследование коррозионной усталости металлоконструкций грузоподъемных машин // Известия ТулГУ. Сер. Технические науки. Вып. 2.4.1. – Тула: Изд-во ТулГУ, 2009. – С. 264-270.

УДК 377.112.4; ГРНТИ 14.35.07

ОРГАНИЗАЦИЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ В ПРОЦЕССЕ ИЗУЧЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ «ОСНОВЫ ТЕОРИИ НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ»

А.Н. Конюхов

*Рязанский государственный радиотехнический университет,
Россия, Рязань, chronos@bk.ru*

Аннотация. Предложена возможная структура курса «Основы теории нечетких множеств», включающая теоретические и практические модули. Описаны некоторые направления организации самостоятельной работы студентов.

Ключевые слова: самостоятельная работа студентов, реферирование научных текстов, нечеткое моделирование, системы компьютерной математики.

HOW TO GUIDE STUDENT SELF-STUDY ACTIVITIES THROUGH THE COURSE OF «THE BASICS OF FUZZY SETS»

A.N. Konyukhov

*Ryazan state radio engineering university,
Russia, Ryazan, chronos@bk.ru*

Abstract. A possible structure of the course «The basics of fuzzy sets» including theoretical and practical modules is proposed. Some ways to guide student self-study activities are described.

Keywords: student self-study activities, abstracting scientific papers, fuzzy modeling, computer algebra systems.

Изучение дисциплины «Основы теории нечетких множеств» предусмотрено в седьмом семестре для студентов, обучающихся по специальности 10.05.01 «Компьютерная безопасность», а также в шестом семестре - по специальности 10.05.03 «Информационная безопасность автоматизированных систем». Целями освоения курса являются приобретение и систематизация базовых знаний в области теории нечетких множеств и нечеткой логики, а также формирование у обучаемых навыков применения нечетких (мягких) вычислений при разработке алгоритмов обработки слабоструктурированной информации.

На сегодняшний день отмечается явный дефицит учебной литературы и методических разработок по дисциплине «Основы теории нечетких множеств». В частности, относительно новый учебник, разработанный в соответствии с ФГОС третьего поколения, чуть ли не единственный, [1]. Вместе с тем в сети Internet размещено огромное количество научных публикаций и описаний прикладных разработок с использованием теории нечетких множеств.

В этой связи нами была выбрана структура курса, включающая как теоретические (1-3), так и практические (4-5) модули: 1. Нечеткие множества и операции над ними; 2. Нечеткие числа; 3. Элементы теории нечетких отношений; 4. Основы нечеткой логики; 5. Применение систем компьютерной математики (СКМ) для проектирования и анализа систем управления на основе нечеткой логики.

Как это обычно бывает при изучении семестровых курсов, характеризующихся небольшим объемом аудиторной работы, успешный исход освоения дисциплины в значитель-

ной степени определяется надлежащей организацией самостоятельной работы студентов. Такая работа способствует устранению разрыва между теоретическими сведениями, освещаемыми в курсе, и практическими приложениями данной теории, которых на данный момент насчитываются тысячи.

Мы практикуем три основных направления организации самостоятельной работы студентов.

Во-первых, организация индивидуальных исследований информационных ресурсов по темам курса. Студенты знакомятся со «свежими» публикациями отечественных и зарубежных исследователей в области теории нечетких множеств и нечеткой логики, систематизируют направления практических разработок. Для отчетных занятий осуществляется реферирование научных текстов (по выбору студента) по проблемам курса на основе следующих ресурсов:

- сайт научной электронной библиотеки «КиберЛенинка» - URL: <http://cyberleninka.ru>;
- сайт «Экспонента» - URL: <http://exponenta.ru/> Раздел Fuzzy Logic Toolbox. -URL: <http://matlab.exponenta.ru/fuzzylogic/book2/index.php>
- сайт Европейской ассоциации по нечеткой логике и технологии (The European Society for Fuzzy Logic and Technology) – URL: <http://www.eusflat.org>;
- сайт «мягких» вычислений Калифорнийского Университета Беркли (University of California, Berkeley) - Berkeley Initiative in Soft Computing (BISC) - URL: <http://people.eecs.berkeley.edu/~zadeh/presentations.html>;
- сайт «Journal of unceirtain systems» – URL: <http://www.jus.org.uk> и др.

Студентам можно предложить следующие примерные направления реферирования:

- проблемы оснований теории нечетких множеств;
- применение теории нечетких множеств и нечеткой логики при поиске информации в сети Internet;
- методы распознавания образов на основе теории нечетких множеств и нечеткой логики;
- проектирование нечетких баз данных и баз знаний;
- применение нечеткой логики в системах автоматического управления;
- разработка алгоритмов нечеткой логики в СКМ;
- алгоритмы нечеткой классификации и др.

Желательно предлагать к реферированию иноязычные публикации: именно так студенты смогут получить навыки перевода специальных терминов теории нечетких множеств.

Во-вторых, самостоятельное исследование, оформление и защита студентами математических моделей на основе нечетких множеств. Работа подразумевает формализацию лингвистических переменных в некоторой предметной области, описание их термов при помощи нечетких множеств с соответствующими функциями принадлежности, разработка операторного функционала на созданных множествах, описание процедур логического вывода и дефазификации. Эта работа выполняется во второй половине семестра, когда основные понятия теории уже изучены. Форма отчетности - подробная спецификация модели в виде отчета и публичная защита результатов моделирования на практическом занятии.

Наконец, третье направление организации самостоятельной работы студентов - это применение СКМ при проектировании и анализе систем с управлением на основе нечеткой логики.

Отлично зарекомендовал себя пакет расширения системы MATLAB - Fuzzy Logic Toolbox, поддерживающий все фазы разработки нечетких систем, включая синтез, исследование, проектирование, моделирование и внедрение в режиме реального времени. Возможно использование пробной студенческой версии (URL: <http://matlab.ru/education/student-trial>).

Графический интерфейс пользователя создает интуитивно понятную среду, обеспечивающую наглядную навигацию по всем этапам проектирования нечетких систем. Функции пакета реализуют большинство современных нечетких технологий, включая нечеткий логический вывод, нечеткую кластеризацию и адаптивную нейро-нечеткую настройку (ANFIS).

Как показывает практика, большой интерес у студентов вызывает рассмотрение демо-примеров пакета Fuzzy Logic Toolbox, иллюстрирующих применение теории нечетких множеств для управления техническими объектами, для обработки сигналов и др. Наиболее наглядные из них: жонглирование теннисным шариком, парковка грузовика, регулятор воды в баке, управление рукой робота – манипулятора, [2].

Коды демо-примеров полностью открыты, поэтому на их основе студенты могут разрабатывать алгоритмы решения аналогичных задач, возникающих, например, в процессе курсового или дипломного проектирования.

Библиографический список

1. Коньшева, Л.К., Назаров Д.М. Основы теории нечетких множеств: Учебное пособие. - СПб.: Питер, 2011. - 192 с.
2. Штовба, С.Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB. - М.: Горячая линия - Телеком, 2007. - 288 с.

УДК 004.032; ГРНТИ 82.05.21

РАЗРАБОТКА ИНТЕГРАЛЬНОГО ПОКАЗАТЕЛЯ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КАЧЕСТВА ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ПРОГРАММ

М.С. Логачёв

*ФГБОУ ВО «Московский политехнический университет»,
Россия, Москва, logachevmaxim@gmail.com*

Аннотация. В статье представлен общий подход к оценке содержания нормативных документов образовательного процесса, составляемых образовательной организацией самостоятельно. Выделены структурные элементы основного документа образовательного процесса — рабочей программы, предложен подход к их оценке и интерпретации полученного результата.

Ключевые слова: автоматизированная система, критерий качества, интегральный показатель, рабочая программа

THE DESIGN OF INTEGRATED INDICATORS FOR DETERMINING THE QUALITY OF EDUCATIONAL PROGRAMS

M.S. Logachev

*Moscow Polytechnic University,
Russia, Moscow, logachevmaxim@gmail.com*

Abstract. The article presents a general approach to the assessment of the content of the normative documents of the educational process, educational organization compiled independently. The structural elements of the main document of the educational process - the work program, the approach to their evaluation and interpretation of results.

Keywords: automated system, quality criterion, integral indicator, work program

При осуществлении автоматизированного мониторинга качества образовательного процесса необходимо обратить особое внимание на содержание документов учебно-методического комплекса. Такие документы регламентируют образовательную деятельность каждого педагогического работника и формируют профессиональные и общие компетенции обучающегося. Главным документом такого учебно-методического комплекса является рабочая программа учебной дисциплины. На ее основании определяется содержание каждого учебного занятия, контрольных и проверочных работ, промежуточной, итоговой аттестации и т.д.

Для осуществления автоматизированного мониторинга оценки качества содержания рабочей программы необходимо сформулировать ряд критериев. Такое оценивание необходимо осуществлять по структурным блокам, например, разделы, главы или отдельные листы с единым смысловым содержанием.

Каждый блок состоит из ряда элементов, которые должны соответствовать нормативным документам по содержанию, и быть оформлены согласно шаблону, определенным каждой образовательной организацией самостоятельно. Оформление шаблона должно иметь

четкую структуру, которая характерна и справедлива для документа в целом. На основании этого, все критерии можно разделить на три группы:

1. Соответствие Федеральному государственному образовательному стандарту.
2. Соответствие учебному плану образовательной организации.
3. Соответствие шаблону, определенным каждой образовательной организации.

В зависимости от типа образовательной организации количество структурных блоков рабочей программы может отличаться, но имеются такие, которые отсутствовать не могут. К таким структурным блокам можно отнести следующие:

1. Титульный лист,
2. Обратный лист титульного листа,
3. Лист содержания,
4. Глава «Паспорт рабочей программы»,
5. Глава «Результаты освоения рабочей программы»,
6. Глава «Структура и содержание рабочей программы»,
7. Блок соответствия распределения часов,
8. Глава «Условия реализации рабочей программы»,
9. Глава «Контроль и оценка результатов освоения рабочей программы»

Каждый структурный блок состоит из определенного числа элементов, наличие которых определено разными нормативными документами. Соответственно можно сформулировать ряд критериев для каждого структурного блока. Каждая глава рабочей программы имеет разный объем, поэтому количество критериев для них будет неодинаковым. Оценка каждого критерия осуществляется по принципу «полного выполнения», частичное выполнение равнозначно невыполнению. Для осуществления такой оценки вводится единица измерения — условная единица (1 ед.).

Каждый критерий структурного блока имеет разный вес при формировании содержания соответствующего блока. При этом каждый блок в рамках рабочей программы тоже имеет определенный вес. Для определения значений веса каждого критерия и структурного блока необходимо провести экспертный опрос, в рамках которого эксперты должны определить их значимость. Это необходимо для интерпретации полученных результатов в ходе проверки рабочей программы.

Для определения интегрального показателя уровня сформированности содержания рабочей программы необходимо определить вес каждого структурного элемента соответствующей рабочей программы. Для определения весового коэффициента каждого структурного блока проанализируем результаты экспертного опроса, в рамках которого экспертам предлагалось осуществить ранжирование структурных элементов. В качестве анализа рассчитывается коэффициент согласованности экспертов (коэффициент конкордации Кендэла) и степень его значимости (критерий согласия Пирсона).

Уровень сформированности всей рабочей программы рассчитывается по формуле 1:

$$\tilde{N}_{ДП} = \sum_{i=1}^{K_{\text{блок}}} \tilde{N}_{i-\text{блок}} \times \hat{A}_{i-\text{блок}} \times 0.01,$$

где $C_{РП}$ — уровень сформированности всей рабочей программы, %;
 $K_{\text{блок}}$ — количество структурных блоков рабочей программы;
 $C_{i-\text{блока}}$ — уровень сформированности i -го структурного блока, %;
 $B_{i-\text{блока}}$ — вес i -го структурного блока в пределах рабочей программы, %.
 Значение веса структурного блока $B_{i-\text{блока}}$ рассчитывается по формуле 2:

$$B_{j-\text{эксперт}} = \frac{\frac{1}{\sum_{j=1}^m x_{ij}}}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{\sum_{j=1}^m x_{ij}} \right)} \times 100,$$

где m — количество экспертов,

n — объем выборки,

x_{ij} — ранг, поставленный j -экспертом по i -критерию.

На основании полученных результатов от каждого эксперта и расчетов составляется гистограмма (рис. 1) уровней значимости каждого структурного блока рабочей программы.

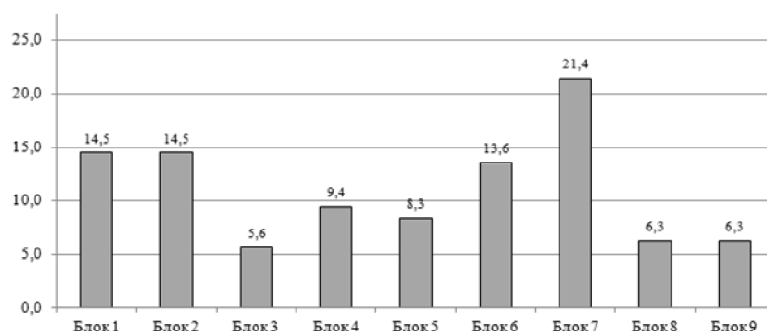


Рис. 1. Гистограмма уровней значимости структурных блоков рабочей программы

Комплексная количественная оценка всех показателей оценивается по пятибалльной шкале, предварительно определив соответствие каждого балла степени отклонения показателя от его целевого значения. Для этого устанавливается, что 5 баллов — полно сформированный блок, 4 балла — высоко сформированный блок, 3 балла — средне сформированный блок, 2 балла — низко сформированный блок, 1 балл — блок отсутствует. Интегральный показатель сформированности всей рабочей программы рассчитывается на основе фактической количественной оценки показателей по единой шкале и весовых значений показателей. Значение интегральных показателей для всех типов рабочих программ отображены в таблице 1.

Таблица 1 - Минимальный интегральный показатель уровня сформированности рабочих программ

№ п/п	Структурный элемент	Рабочая программа	
		Вес, %	Значение минимального интегрального показателя
1	Титульный лист	14,5	2,9
2	Оборот-титул	14,5	2,9
3	Лист с содержанием	5,6	1,12
4	Глава «Паспорт РП»	9,4	1,87
5	Глава «Результаты освоения»	8,3	1,66
6	Глава «Структура и содержание»	13,6	2,72
7	Распределение часов	21,4	4,28
8	Глава «Условия реализации»	6,3	1,27
9	Глава «Контроль и оценка результатов освоения»	6,3	1,27
ИТОГО		100,0	20,0

Таблица 2 - Нормативные значения интегрального показателя уровня сформированности рабочих программ

№ п/п	Структурный элемент	Рабочая программа				
		1 балл	2 балла	3 балла	4 балла	5 баллов
		Нет	Низкий	Средний	Высокий	Полный
1	Титульный лист	2,9	5,8	8,7	11,6	14,5
2	Оборот-титул	2,9	5,8	8,7	11,6	14,5
3	Лист с содержанием	1,1	2,2	3,4	4,5	5,6
4	Глава «Паспорт РП»	1,9	3,8	5,6	7,5	9,4
5	Глава «Результаты освоения»	1,7	3,3	5,0	6,6	8,3
6	Глава «Структура и содержание»	2,7	5,4	8,2	10,9	13,6
7	Распределение часов	4,3	8,6	12,8	17,1	21,4
8	Глава «Условия реализации»	1,3	2,5	3,8	5,0	6,3
9	Глава «Контроль и оценка результатов освоения»	1,3	2,5	3,8	5,0	6,3
ИТОГО		20,0	40,0	59,9	79,9	99,9

Таблица 3 - Интерпретация интегрального показателя уровня сформированности рабочих программ

Балл	Интерпретация показателя
1	Рабочая программа не соответствует ФГОС и учебному плану. Нарушены нормы оформления, предусмотренные образовательной организацией. К сотрудникам, участвующих в составлении и сопровождению документа, должны быть применены дисциплинарные меры воздействия, предусмотренные уставными документами образовательной или контролирующей организации
2	Рабочая программа не отвечает требованиям нормативных документов специальности, определенных ФГОС и образовательной организации. Рабочая программа не может быть использована в образовательном процессе. К сотрудникам, участвующих в составлении и сопровождению документа, могут быть применены дисциплинарные меры воздействия, предусмотренные уставными документами образовательной или контролирующей организацией
3	Рабочая программа частично отвечает требованиям нормативных документов. Имеются замечания, требующие исправления. Не рекомендуется к использованию в образовательном процессе
4	Рабочая программа имеет высокий уровень сформированности. Имеются замечания к оформлению или содержанию. Необходимо обратить внимание на требования нормативных документов и норм оформления. Может быть использована в образовательном процессе
5	Рабочая программа полностью сформирована. Отвечает требованиям оформления образовательной организации. Содержание соответствует требованиям ФГОС специальности и учебному плану образовательной организации. Могут иметься незначительные недоработки или опiski. Рабочая программа может быть использована в образовательном процессе

На основании полученного минимального значения интегрального показателя в таблице 1 формируются нормативные значения интегрального показателя (таблица 2). На основании полученных результатов в таблице 2 производится округление результатов до целой части и составляется таблица интерпретации значений интегрального показателя (таблица 3). Дополнительно могут быть разработаны рекомендации по улучшению определенных показателей.

Применяя такой алгоритм, можно получить интегральный показатель для каждого нормативного документа, входящего не только в учебно-методический комплекс учебной дисциплины, но и для других документов, составляемых в образовательной организации. Полученные результаты должны быть внесены в базу данных автоматизированной системы мониторинга образовательного процесса и использоваться, согласно алгоритмам этой системы.

Библиографический список

1. Бешелев, С.Д. Экспертные оценки в принятии плановых решений / С.Д. Бешелев. -М.: Экономика, 1976. — 78 с.
2. Иванов, М.В. Структура автоматизированной системы оценки квалификации специалистов полиграфического производства / М.В. Иванов // Вестник МГУП. — 2010. — № 5. — С. 53–56.
3. Кудрявцева, О.В. Комплексная оценка персонала с использованием интегрального показателя эффективности / О.В. Кудрявцева, Д.А. Грушко // Экономические исследования. — 2014. — №2. — Режим доступа:

- <http://cyberleninka.ru/article/n/kompleksnaya-otsenka-personala-s-ispolzovaniem-integralnogo-pokazatelya-effektivnosti>. — Дата обращения: 10.05.2016.
4. Логачёв, М.С. Подготовка экспертного опроса для определения значимости элементов рабочей программы учебных дисциплин / М.С. Логачёв // Профессиональное образование и общество. — 2016. — №1(17). — С. 66–73.
5. Логачёв, М.С. Экспертный опрос методиста образовательной организации / М.С. Логачёв // Новая наука: от идеи к результату. — 2015. — №7-1. — С. 63–71.
6. Логачёв, М.С. Разработка критериев для автоматизированного мониторинга качества содержания нормативных документов образовательного процесса / М.С. Логачёв, Ю.Н. Самарин // Автоматизированные системы управления качеством образовательного процесса: монография / М.С. Логачёв, Ю.Н. Самарин, М.С. Тигина. — М.: МГУП имени Ивана Федорова, 2016. — С. 186–243.
7. Орлов, А.И. Экспертные оценки / А.И. Орлов. — М.: Заводская лаборатория, 1996. — 148 с.

УДК 004.932; ГРНТИ 27.47.17

ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ В ЗАДАЧАХ ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЙ

А.И. Новиков

*Рязанский государственный радиотехнический университет,
Россия, Рязань, novikovanatoly@yandex.ru*

Аннотация. Статья имеет два уровня: научно-образовательный – обращен к студентам, желающим начать научную работу и собственно научный. Показывается, что в задачах обработки изображений широко используется аппарат линейной алгебры и аналитической геометрии, который изучается в первом семестре. Поэтому студент даже первого курса может подключаться к решению простейших задач, связанных с обработкой изображений. Во второй части статьи обсуждаются алгоритмы и результаты применения комплексного контурного анализа для решения задачи совмещения изображений.

Ключевые слова: матричная алгебра, преобразования систем координат, углы Эйлера, комплексный контурный анализ, аффинные и проективные преобразования.

MATHEMATICAL METHODS APPLICATION IN IMAGE PROCESSING TASKS

A.I. Novikov

*Ryazan State Radio Engineering University,
Russia, Ryazan, novikovanatoly@yandex.ru*

Abstract. The article includes two levels: scientific and educational addressed to students who wish to begin scientific work and research. It is shown that in problems of image processing widely used apparatus of linear algebra and analytical geometry, which is studied in the first semester. Therefore, even a first-year student can connect to the solution of simple tasks related to image processing. The second part of the paper discussed the algorithms and results of application of complex contour analysis to solve the problem of image superimposition.

Keywords: matrix algebra coordinates systems transformations, Euler angles, complex contour analysis, affine and projective transformation.

1. Введение

Реформы высшего образования в новой России за четверть века кардинально изменили образовательную парадигму. Основной целью работы высших учебных заведений в советский период была подготовка высококвалифицированных специалистов. На достижение этой цели были направлены усилия всех участников образовательного процесса. Эти усилия, в первую очередь, направлялись на работу со студентами с высоким уровнем мотивации, высоким познавательным и творческим потенциалом. Свой важный вклад в достижение этой цели вносила и средняя школа. Теперь же в средней школе учитель отвечает за обеспечение лишь базового уровня подготовки выпускников, который (уровень) определяется структурой и содержанием единого государственного экзамена. Подбор и уровень задач соответствующей части ЕГЭ, может быть, и достаточны для получения аттестата о среднем образовании, но совершенно не отражают содержание и уровень требований высшей школы к абитуриентам. Вместе с тем, «носители» этой базовой части курса в основной своей массе и становятся

студентами технических специальностей вузов и даже физико-математических специальностей педагогических университетов.

В высшей школе после многих «оптимизационных» новаций вышестоящих структур и с учетом ситуации в средней школе вместо подготовки высококвалифицированных специалистов основной целью образовательного процесса де-факто стала забота о сохранении контингента. На достижение этой цели направляются значительные усилия и руководства вузов и преподавателей. Низкий в среднем образовательный потенциал аудитории вынуждает преподавателя снижать теоретический и практический уровень изучения материала. Как следствие, уровень и качество учебного процесса существенно снижаются. Студенты с высоким образовательным потенциалом, с одной стороны, получают превратное представление об истинных высотах знания, а, с другой, лишаются. Следствием такого положения дел в образовании стало размытие критериев качества, губительное как для системы образования, так и для всех сфер приложения выпускников высших учебных заведений.

В этих условиях важно, по возможности с младших курсов, привлекать одаренных студентов к участию в научных исследованиях, где они могли бы одновременно повышать свой образовательный уровень и получать навыки научной работы рядом со старшими товарищами. Цифровая обработка изображений является удобным разделом для привлечения студентов к научной работе с младших курсов. Это убеждение основывается на том факте, что в этом научном разделе важное место занимает аппарат линейной алгебры и аналитической геометрии, который изучается, как правило, в первом семестре первого курса. В пункте 1 приводится краткое обоснование справедливости данного утверждения.

Одной из важнейших в блоке задач обработки изображений, получаемых с помощью разноточных датчиков в авиационных системах технического зрения, является задача совмещения реального изображения и отвечающего ему синтезированного изображения, построенного по цифровой карте местности. О методах решения этой задачи и возникающих в процессе решения проблемах рассказывается в пункте 2 статьи.

1. Роль матричной алгебры в обработке изображений

Изображение, получаемое от сенсоров технического зрения, представляет собой матрицу $I = (I_{ij})$ размером $M \times N$. Различают полутоновые, двоичные и цветные изображения. Полутоновые изображения (изображения в градациях серого): $I_{ij} \in \{0, 1, \dots, 255\}$, двоичные: $I_{ij} \in \{0, 1\}$, т.е. $I_{ij} = 0$ либо $I_{ij} = 1$.

Простейшие преобразования изображения связаны с улучшением его качества либо для визуального восприятия, либо для последующей обработки. Любое преобразование изображения I можно представить как действие некоторого оператора T : $I'_{ij} = T(I_{ij})$, т.е. $(I_{ij}) \xrightarrow{T} (I'_{ij})$ [1]. Здесь (I_{ij}) - входное изображение, (I'_{ij}) - выходное (преобразованное). Ядро преобразования T - матрица $T = (t_{sr})$ весовых коэффициентов (маска, шаблон). В общем случае матрица T может быть прямоугольной. Однако удобнее работать с квадратной матрицей размера $(2k+1) \times (2k+1)$ с нечетным числом строк и столбцов: 3×3 , 5×5 , 7×7 и т.д.

Обработку изображения скользящим окном (маской, шаблоном) начинают, как правило, с левого верхнего угла с ячейки $((k+1), (k+1))$. Затем окно смещают на один пиксель вправо по строке, вновь выполняют преобразование и т. д. Когда все пиксели в данной строке будут пройдены, смещаются в начальную позицию на следующей строке $((k+2)$ -я строка и $(k+1)$ -й столбец). Проходят эту строку, затем смещаются в начальную позицию на следующей $(k+3)$ -й строке и т. д. до исчерпания всех строк. Сглаженное значение $I'_{i_0 j_0}$ в центральной точке «окна» маски находится по формуле

$$I'_{i_0 j_0} = \sum_{s=-k}^k \sum_{r=-k}^k t_{sr} \cdot I_{i_0+s, j_0+r}.$$

Здесь I_{i_0+s, j_0+r} – значения функции яркости в окрестности центральной точки (i_0, j_0) , t_{sr} – весовые коэффициенты маски. В зависимости от значений коэффициентов t_{sr} маски оператор $\mathbf{T}$ может обеспечивать как подавление помех, так и выделение линий перепада яркости, т.е. обеспечивать формирование контуров объектов на изображении. Например, операторы $\mathbf{T}_1$ и $\mathbf{T}_2$ с масками

$$T_1 = \frac{1}{100} \begin{pmatrix} 1 & 2 & 4 & 2 & 1 \\ 2 & 4 & 8 & 4 & 2 \\ 4 & 8 & 16 & 8 & 4 \\ 2 & 4 & 8 & 4 & 2 \\ 1 & 2 & 4 & 2 & 1 \end{pmatrix}, \text{ и } T_2 = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 0 & 2 & 1 \\ 2 & 3 & 0 & 3 & 2 \\ 3 & 4 & 0 & 4 & 3 \\ 2 & 3 & 0 & 3 & 2 \\ 1 & 2 & 0 & 2 & 1 \end{pmatrix},$$

соответственно обеспечивают сглаживание (маска T_1) и выделение границ перепада яркости (маска T_2).

Аффинные преобразования на плоскости и в пространстве, уравнения линий на плоскости и в пространстве активно используются при моделировании зон обзора в плоскости Земли, получаемых с помощью телевизионной и тепловизионной камер, а также с помощью радиолокационной станции. Используются они и при решении множества других задач, в частности, задачи совмещения как однородных, так и разнородных изображений.

2. Задача совмещения разнородных изображений

В условиях плохой видимости, особенно при заходе на посадку, пилоту важно иметь максимально достоверную информацию о закабинном пространстве. Источником такой информации может быть совмещенное, например телевизионное изображение, с изображением, синтезированным по цифровой карте. Построение синтезированного изображения производится на основании информации о навигационных данных, поступающих от соответствующих датчиков. Сложность заключается в том, что в навигационных данных присутствуют ошибки и потому при простом наложении синтезированного изображения на телевизионное изображение обнаруживается смещение контуров объектов постоянного присутствия (водные объекты, дороги, мосты, крупные производственные сооружения и т.д.). В результате возникает задача поиска преобразования $\mathbf{H}$, которое преобразовывало бы синтезированное изображение I_s к плоскости реального I_r с минимальными ошибками. Ошибки преобразования могут определяться различными способами. Один из основных способов связан с поиском множества пар соответствующих (ключевых точек) на реальном и синтезированном изображениях. Затем на этом множестве решается оптимизационная задача

$$\sum_{i=1}^n \rho(\mathbf{H}(M_i^s), M_i^r) \rightarrow \min_{\mathbf{H}}. \quad (1)$$

В (1) преобразование $\mathbf{H}$ задается, так называемой, матрицей гомографии H . Аффинные преобразования не могут учитывать проективные искажения, неизбежно возникающие при сопоставлении двух изображений, полученных под различными ракурсами с борта воздушного судна, и, тем более, при совмещении разнородных изображений. Проективные преобразования описываются дробно-линейными функциями:

$$x = \frac{h_{11}x' + h_{12}y' + h_{13}}{h_{31}x' + h_{32}y' + 1}, \quad y = \frac{h_{21}x' + h_{22}y' + h_{23}}{h_{31}x' + h_{32}y' + 1}. \quad (2)$$

или в матричной форме и в однородных координатах:

$$\begin{pmatrix} \lambda x \\ \lambda y \\ \lambda \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} h_{11} & h_{12} & h_{13} \\ h_{21} & h_{22} & h_{23} \\ h_{31} & h_{32} & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{pmatrix}. \quad (3)$$

Матрица $H = (h_{ij})_{3 \times 3}$ в составе формулы (1) называется матрицей гомографии. В (2) и (3) (x', y') - координаты ключевых точек на синтезированном изображении, (x, y) - координаты отвечающих им ключевых точек на реальном изображении.

В [2] доказывалось, что решение задачи (1) в евклидовой метрике сводится к решению нормальной системы линейных алгебраических уравнений $(A^T A) G_H = A^T B$, где A - квадратная матрица порядка 8, $G_H = (h_{11} \ h_{12} \ h_{13} \ h_{21} \ h_{22} \ h_{23} \ h_{31} \ h_{32})^T$ - вектор-столбец подлежащих определению элементов матрицы гомографии, $B = (x_1 \ x_2 \ x_3 \ x_4 \ y_1 \ y_2 \ y_3 \ y_4)^T$ - вектор-столбец координат ключевых точек реального изображения. Элементы матрицы A выводятся из уравнений (2).

$$\begin{cases} h_{31}x_i x'_i + h_{32}x_i y'_i - h_{11}x'_i - h_{12}y'_i - h_{13} = x_i, \\ h_{31}y_i x'_i + h_{32}y_i y'_i - h_{21}x'_i - h_{22}y'_i - h_{23} = y_i. \end{cases}$$

После того как найдена матрица гомографии H выполняется пересчет координат всех точек $S_i(x_i^s; y_i^s)$ синтезированного изображения к плоскости реального изображения по формулам

$$\begin{pmatrix} x_i^r & y_i^r & z_i^r \end{pmatrix}^T = H \cdot \begin{pmatrix} x_i^s & y_i^s & z_i^s \end{pmatrix}^T, \quad \begin{pmatrix} x_i^r \\ y_i^r \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_i^r / z_i^r \\ y_i^r / z_i^r \end{pmatrix}.$$

Задача совмещения изображений и предшествующие ей вспомогательные задачи должны решаться в бортовом вычислителе в реальном времени и в автоматическом режиме. Если первое требование достаточно реалистично, то второе требование удастся обеспечить далеко не всегда. Основное препятствие в обеспечении автоматического режима заключается в наличии грубых ошибок при установлении соответствий между парами ключевых точек, которые выражаются в ложных соответствиях. Но и негрубые ошибки в определении координат ключевых точек могут существенно влиять на качество итогового совмещения.

В определенных случаях проективные преобразования можно заменить аффинными. Они дают в общем случае менее точные совмещения, но обладают большей устойчивостью к ошибкам. В докладе приводится большое число примеров совмещения реальных и соответствующих им синтезированных изображений как с помощью проективных, так и с помощью аффинных преобразований.

Библиографический список

1. Обработка изображений в авиационных системах технического зрения. Под ред. Л.Н. Костяшкина, М.Б. Никифорова. М.: Физматлит, 2016.
2. А.И. Ефимов, А.И. Новиков. Алгоритм поэтапного уточнения проективного преобразования для совмещения изображений // Компьютерная оптика. 2016. Т. 40, № 2. С. 258-266. DOI: 18287/2412-6179-2016-40-2- 258-266.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ИССЛЕДОВАНИЯХ ПЛАСТИЧЕСКОГО ТЕЧЕНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

М. Жаров

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский авиационный институт» (национальный исследовательский университет),
Россия, Москва, MaximZharov@mail.ru*

Аннотация. В данной работе рассматривается целесообразность применения метода конечных элементов в качестве основного математического метода при моделировании процессов изотермической штамповки сложнооребранных авиационных панелей и обечаек.

Ключевые слова: математические методы, моделирование, метод конечных элементов, пластическое течение, деформации, образование дефектов формы

THE APPLICATION OF THE FINITE ELEMENT METHOD IN STUDIES OF PLASTIC FLOWS OF METAL MATERIALS

M. Zharov

*Federal state budgetary educational institution of higher education «Moscow Aviation Institute»
(National Research University). Russia, Moscow, MaximZharov@mail.ru*

Abstract. This paper deals with the feasibility of application of the finite element method as a basic mathematical method for modeling processes of isothermal forming the aircraft panels and shells.

Keywords: mathematical methods, a modeling, a finite element method, a plastic flow, deformations, the defects forming

1. Введение

В настоящее время, в связи с бурным развитием мощной вычислительной техники, все эффективнее используются различные математические методы, которые являются основой для осуществления математического моделирования различных процессов, объектов, явлений. В частности, в связи с развитием мощных вычислительных систем, математические методы все чаще используются при моделировании процессов обработки металлов давлением. Одним из перспективных методов, который в настоящее время активно используется для решения вопросов пластического течения металлов и сплавов является метод конечных элементов. Идея данного метода заключается в замене искомой непрерывной функции, описывающей характер течения металла, ее дискретной моделью. При этом область существования исследуемой функции разбивается на множество областей – так называемых конечных элементов, представляющих собой фигуры в виде плоских либо объемных многоугольников с узловыми точками в их вершинах. В рамках каждого полученного конечного элемента искомая функция аппроксимируется какой-либо функцией (в большинстве случаев полиномом), которая в базовых точках каждого исследуемого конечного элемента приобретает определенные значения. В дальнейшем происходит глобальная аппроксимация полученных дискретных функций, что, в итоге, позволяет получить непрерывную зависимость, с той или иной степенью точности описывающей закономерности, происходящие при пластическом течении металла.

2. Целесообразность математического моделирования процессов обработки металлов давлением

Известно, что исследование характера пластического течения металлов и сплавов относится к числу наиболее сложных задач математического анализа. Полная математическая модель характера течения металла содержит более 15 дифференциальных и интегральных уравнений, решение которых обычными (классическими) математическими методами крайне затруднено [1]. Одновременно с решением задач напряженно-деформированного состояния металла необходимо решать задачи пластического формоизменения, задачу теплопроводности, задачи изменения температурных полей деформируемого материала, задачи изменения реологических свойств материала в процессе горячей или холодной обработки. Для решения такой сложной системы уравнений используют целый комплекс допущений и ограничений, который существенно упрощает модель, но в то же время сказывается на эффективности всей построенной модели. Широкое применение упрощенных моделей характера

течения металла, распределения напряженно-деформированного состояния, распределение температурного эффекта деформации не позволяет получать достоверно точных результатов [2].

Поэтому в научно-исследовательской деятельности, при создании материалов с заранее известным комплексом реологических свойств, при разработке новых технологических процессов обработки металлов давлением крайне редко используют этот мощный элемент математического анализа. В подавляющем большинстве случаев разработка новых технологических процессов изготовления деталей ответственного назначения (в том числе деталей авиационной и космической техники) строиться на эмпирическом опыте технолога. Вопросы управления структурой и свойствами деформируемых материалов, которые определяют не только исходным состоянием поставки и назначенной термообработкой, но и во многом определяются характером напряженно-деформированного состояния материала также решаются на основе накопленного технологом производственного опыта.

Другой причиной использования методов математического моделирования является дороговизна реальных экспериментов. На современном этапе сильно повысилась стоимость материалов, электроэнергии и оборудования обработки металлов давлением. Стоимость изготовления специальной штамповой или прессовой оснастки также довольно высокая. Поэтому, для снижения затрат на научные исследования целесообразно применять математическое моделирование процессов.

3. Использование метода конечных элементов для моделирования процессов обработки металлов давлением

Бурное развитие современной мощной вычислительной техники позволяет эффективно использовать методы математического моделирования, в том числе и метод конечных элементов, для решения задач обработки металлов давлением. Как уже ранее говорилось, суть метода конечных элементов заключается в замене искомой непрерывной функции ее дискретной моделью. При этом область исследования разбивается на множество областей – конечных элементов – представляющих собой фигуры в виде плоских либо объемных многоугольников с узловыми точками в их вершинах. На рисунке 1 наглядно представлено разбиение областей обрабатываемого материала (working piece) и деформирующего инструмента (tool 1 и tool 2). Треугольные области и представляют собой области конечных элементов.

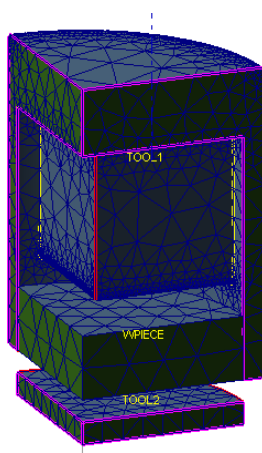


Рис.1. Пример разбиения на дискретные области

Эта замена на уровне конечных элементов представляет собой первый этап моделирования - локальную аппроксимацию, которая позволяет задавать и контролировать граничные и начальные условия поставленной задачи. Для рассмотрения всей области пластической деформации как единого целого объекта необходимо приближение второго этапа - глобальной аппроксимации. Объединение системы конечных элементов в единую модель осуществляется путем уравнивания значений полиномов соседних элементов в каждой их совместной узловой точке [3, 4].

В настоящее время на кафедре ТОМД МАИ имеется достаточно большой накопленный опыт по применению прикладного программного обеспечения, созданного на основе метода конечных элементов. Результаты проведенного моделирования показали достаточно высокую сходимость с результатами реальных экспериментов. Для моделирования используются программные конечно-элементные программные продукты QForm и DeForm, направленные на решение задач обработки металлов давлением, и универсальный конечно-элементный пакет Ansys-DYNA для моделирования процессов формоизменения гетерогенных материалов [4].

Естественно, что любое математическое моделирование имеет определенные отклонения от реальности. Необходимо понимать все недостатки результатов математического моделирования. Даже самая совершенная математическая модель отличается от реальных процессов или явлений. Однако, необоснованная критика метода конечных элементов как одного из методов математического анализа и отказ от его использования не позволяют эффективно решать задачи моделирования пластического течения металлов и сплавов.

Были проведены исследования, показавшие, что моделирование на основе метода конечных элементов позволяет эффективно строить модели пластического течения металлов и сплавов и еще на этапе проектирования технологических процессов выявлять возможные дефекты формы. Одной из проблем при штамповке тонкостенных оребренных авиационных панелей и обечаек является образование утяжин на донной и боковой поверхности ребра. На рисунке 2 представлено наличие дефекта на реальном изделии (а) и на математической модели выполненной с применением конечно-элементного прикладного программного продукта QForm (б).

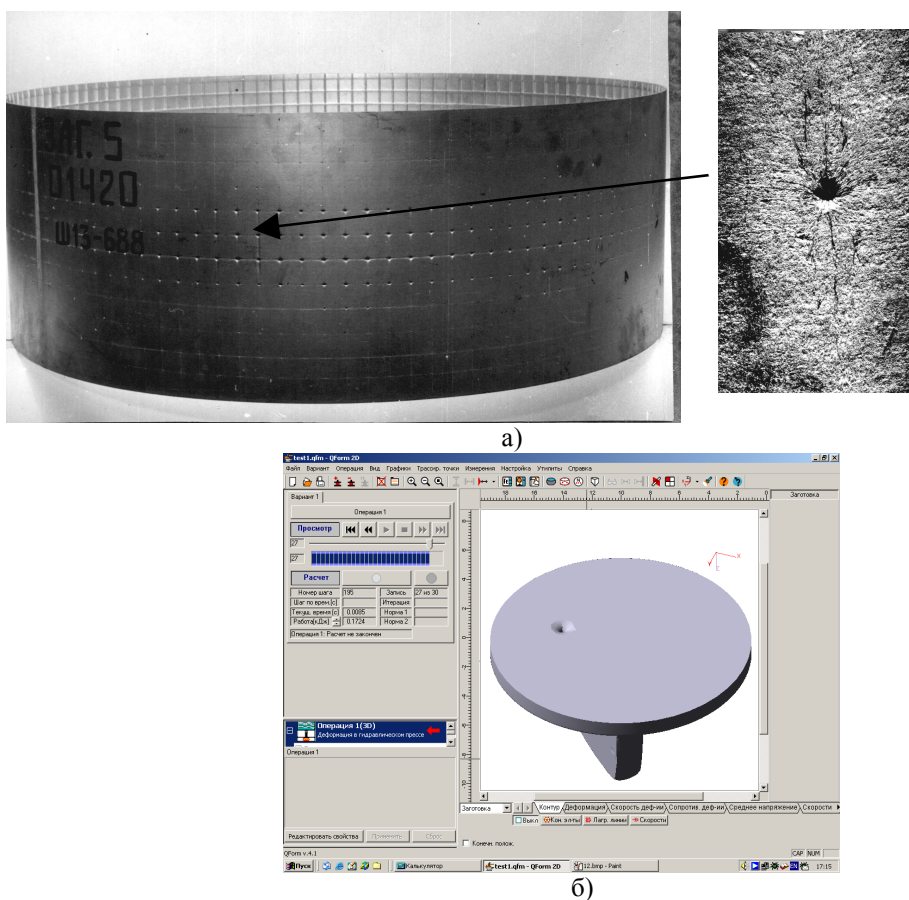


Рис. 2. Дефект в виде утяжины на реальном изделии (а) и на математической модели, выполненной с применением продукта QForm (б)

На рисунке 3 представлены этапы формирования дефекта в виде утяжины при построении модели в программном продукте (а) и в образце, экспериментально полученном по аналогичным температурно-скоростным режимам деформирования (б)

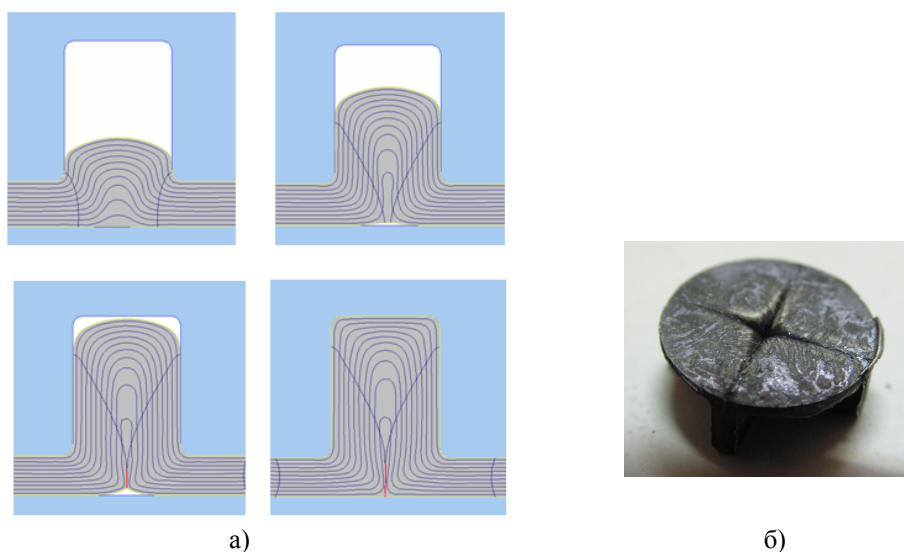


Рис. 3. Этапы формирования дефекта в виде утяжины при построении модели в программном продукте QForm (а) и в экспериментально полученном образце (б)

На основе использования построенной модели определена функциональная взаимосвязь температурно-скоростных режимов протекающего процесса изотермической штамповки и характера течения металла. Установлен тот факт, что с уменьшением скорости деформирования при изотермической штамповке оребренных панелей и обечаек течение металла имеет более стабильный характер. Потеря устойчивости заготовки происходит при уменьшении толщины заготовки на 13 – 15 % меньше при изменении скорости деформирования с 1 мм/с до 0,04 мм/с [5].

Посредством математического моделирования на основе метода конечных элементов определены оптимальные параметры технологического процесса получения бездефектных сложнооребранных панелей из алюминиевых сплавов АМг3, АМг6, 01420, Д16. Выявлена высокая сходимость результатов математического моделирования и результатов реальных экспериментов.

Библиографический список

1. Теория пластических деформаций металлов / Под ред. Ункова Е.П., Овчинникова А.Г. М.: Машиностроение, 1983. – 598 с.
2. Гун Г.Я. Математическое моделирование процессов обработки металлов давлением. Учебное пособие для вузов – М.: Металлургия, 1983. – 352 с.
3. Сегерлинд Л. Применение метода конечных элементов. М.: Мир, 1979. – 392 с.
4. Галкин В.И. Конечно-элементный анализ. Возможности и перспективы применения при решении задач обработки металлов давлением. В сборнике научных трудов «Современные технологии обработки металлов и сплавов» – М.: МАТИ: ИНФРА-М, 2015. – 252 с. (Серия «Научная мысль»). С. 112 – 140. ISBN 978-5-16-102533-8 (online).
5. Жаров М.В. Моделирование характера течения металла в процессе заполнения рабочей полости штампа в условиях изотермической штамповки. В сборнике научных трудов «Современные технологии обработки металлов и сплавов» – М.: МАТИ: ИНФРА-М, 2015. – 252 с. (Серия «Научная мысль»). С. 95 – 105. ISBN 978-5-16-102533-8 (online).

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИСТЕМ КОМПЬЮТЕРНОЙ МАТЕМАТИКИ ПРИ ИЗУЧЕНИИ КВАДРАТИЧНЫХ ФОРМ

С.А. Нелюхин

Рязанский государственный радиотехнический университет,

Россия, Рязань, sergey-nel@yandex.ru

Аннотация. Рассматриваются особенности применения систем компьютерной математики Maple и wxMaxima к решению задач, связанных с квадратичными формами. В качестве примера рассматривается задача приведения квадратичной формы к каноническому виду.

Ключевые слова: системы компьютерной математики, Maple, wxMaxima, квадратичные формы, метод ортогональных преобразований, метод Якоби.

THE USE OF COMPUTER MATHEMATICS IN THE STUDY OF QUADRATIC FORMS

S.A. Nelukhin

Ryazan state radio engineering university,

Russia, Ryazan, sergey-nel@yandex.ru

Abstract. We describe the use of mathematical packages Maple and wxMaxima for the solution of problems related to quadratic forms. For example we consider the problem of bringing a quadratic form to canonical form.

Keywords: systems of the computer algebra, Maple, wxMaxima, quadratic forms, orthogonal transformations method, Jacobi's method.

Основные вопросы, рассматриваемые при изучении темы “Квадратичные формы”, связаны с приведением квадратичной формы (далее к.ф.) к каноническому (или нормальному) виду различными способами, с исследованием к.ф. на знакоопределенность. Рассматривается также задача о приведении пары к.ф. при помощи общего линейного преобразования к каноническому виду. Немаловажный момент относится и к нахождению соответствующего линейного преобразования (матрицы преобразования, канонического базиса).

В процессе изучения к.ф. одновременно с классическим подходом решения задач можно применять и современные системы компьютерной математики (далее СКМ), такие как Mathematica, Maple, MathCad, wxMaxima [1, 2, 3]. Использование перечисленных СКМ позволяет проследить правильность проведенных расчетов, проверить полученный результат. Одновременно с этим при больших объемах данных (в случае к.ф. это означает достаточно большой порядок к.ф.) применение СКМ позволяет значительно уменьшить время проведения расчетов.

Рассмотрим использование СКМ Maple и wxMaxima при приведении к.ф. к каноническому виду (далее к.в.). Как правило, в этом случае пользуются одним из трех способов: метод Лагранжа (выделения полных квадратов), метод ортогонального преобразования, метод Якоби [4, 5]. Пусть к.ф. от переменных $x_1, x_2, \dots, x_n$ записана в матричной форме

$$L(\bar{x}) = \bar{x}^T A \bar{x}, \quad (1)$$

где $A = (a_{ij})_{i,j=1}^n$ - матрица формы ($a_{ij} = a_{ji}, i, j \in \{1, 2, \dots, n\}$), $\bar{x} = (x_1 \dots x_n)^T$.

Требуется привести к.ф. (1) к к.в.

$$L(\bar{y}) = \sum_{i=1}^n \mu_i y_i^2 = \bar{y}^T A' \bar{y}, \quad \mu_i \in \mathbf{R}, \quad (2)$$

($A' = \text{diag}(\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_n)$, $\bar{y} = (y_1 \dots y_n)^T$) и найти соответствующий диагонализующий базис. Как известно, любую к.ф. (1) при помощи неособенного линейного преобразования $\bar{x} = T \bar{y}$ с матрицей T можно привести к к.в. (2).

Рассмотрим реализацию метода Лагранжа (последовательного выделения полных квадратов) в СКМ Maple. Для решения задачи помимо пакета LinearAlgebra используется пакет

Student[Precalculus], в котором есть процедура Student[Precalculus][CompleteSquare], предназначенная для выделения полного квадрата в к.ф. при некоторой ведущей переменной. В результате последовательного выделения полных квадратов, получим к.н. формы. Для составления матрицы T преобразования вводим дополнительные канонические переменные. Ниже приведен фрагмент листинга данной программы в случае третьего порядка к.ф.

```

> restart; with(LinearAlgebra): with(Student[Precalculus]):
>
A:=Matrix(3,3,[[a[1,1],a[1,2],a[1,3]],[a[1,2],a[2,2],a[2,3]],[
[a[1,3], a[2,3], a[3,3]]]): X:=Matrix(3,1,[[x[1]], [x[2]],
[x[3]]]):

L:=a[1,1]*x[1]^2+a[2,2]*x[2]^2+a[3,3]*x[3]^2+2*a[1,2]*x[1]*x[2]+
2*a[1,3]*x[1]*x[3]+2*a[2,3]*x[2]*x[3]:
> # выделяем полный квадрат при x1
L:=Student[Precalculus][Student:-Precalculus:-
CompleteSquare](L,[x[1]]);


$$L := (x_1 - 2x_3 + x_2)^2 + 5x_2^2 - 4x_3^2 - \frac{1}{4}(-4x_3 + 2x_2)^2$$


> # выделяем полный квадрат при x2
L:=(x[1]-2*x[3]+x[2])^2+Student[Precalculus][Student:-
Precalculus:-CompleteSquare](4*x[2]^2-
8*x[3]^2+4*x[3]*x[2],[x[2]]);


$$L := (x_1 - 2x_3 + x_2)^2 + 4\left(x_2 + \frac{1}{2}x_3\right)^2 - 9x_3^2$$


> # вводим канонические переменные
y[1]:=x[1]-2*x[3]+x[2]: y[2]:=x[2]+x[3]/2: y[3]:=x[3]:
> # формируем матрицу S из коэффициентов при старых перемен-
ных
for i from 1 by 1 to 3 do
  for j from 1 by 1 to 3 do
    s[i,j]:=diff(y[i],x[j]):
  end do
end do;

S:=Matrix(3,3,[[s[1,1],s[1,2],s[1,3]],[s[2,1],s[2,2],s[2,3]],[
[s[3,1],s[3,2],s[3,3]]]):


$$S := \begin{bmatrix} 1 & 1 & -2 \\ 0 & 1 & \frac{1}{2} \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$


> # Находим матрицу преобразования, приводящего к.ф. к к.в.
P:=MatrixInverse(S);
MatrixCanonical_Form:=MatrixMatrixMultiply
(MatrixMatrixMultiply(Transpose(P),A), P);


$$P := \begin{bmatrix} 1 & -1 & \frac{5}{2} \\ 0 & 1 & \frac{-1}{2} \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \text{Matrix\_Canonical\_Form} := \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 4 & 0 \\ 0 & 0 & -9 \end{bmatrix}$$


```

Рассмотрим второй способ приведения к.ф. к к.в. – метод ортогональных преобразований. Данный метод основан на том, что для любой симметрической матрицы $A = (a_{ij})_{i,j=1}^n$ существует ортогональная матрица $U = (u_{ij})_{i,j=1}^n$ ($U^T \cdot U = E$) такая, что выполняется равенство $A' = U^T \cdot A \cdot U$, $A' = \text{diag}(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n)$, где $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n \in \mathbf{R}$ – собственные значения матрицы A , повторяющиеся с учетом их алгебраических кратностей. При этом собственные векторы матрицы A , отвечающие различным собственным значениям, ортогональны (собственные векторы, соответствующие одному и тому же собственному значению не ортогональны, а значит, в этом случае необходимо проводить процесс ортогонализации Грамма-Шмидта). В результате ортогональное преобразование имеет вид

$$\bar{x} = U \cdot \bar{y}. \quad (3)$$

Если в качестве матрицы A взять матрицу к.ф. (1), то при помощи преобразования (3) ее можно привести к диагональному виду A' . А это означает, что любую к.ф. (1) с помощью ортогонального преобразования (3) можно привести к следующему каноническому виду

$$K(y_1, y_2, \dots, y_n) = \sum_{i=1}^n \lambda_i y_i^2.$$

Рассмотрим реализацию метода ортогональных преобразований в СКМ Maple. В программе с помощью процедуры Eigenvectors вычисляются собственные значения и соответствующие собственные векторы матрицы к.ф. Используя процедуру GramSchmidt, проводится процесс ортогонализации Грамма-Шмидта. Столбцами матрицы U являются ортонормированные собственные векторы, матрица K есть диагональная матрица к.ф. к.в.

```
> restart; with(LinearAlgebra): n:=3:
> A:=Matrix(3,3,[[a[1,1], a[1,2], a[1,3]], [a[1,2], a[2,2],
a[2,3]], [a[1,3], a[2,3], a[3,3]]):
X:=Matrix(3,1,[[x[1]], [x[2]], [x[3]]]):
L:=a[1,1]*x[1]^2+a[2,2]*x[2]^2+a[3,3]*x[3]^2+2*a[1,2]*x[1]*x[2]+2*
a[1,3]*x[1]*x[3]+2*a[2,3]*x[2]*x[3]:
> # вычисляем собственные числа и соответственные собственные
векторы матрицы A квадратичной формы
F:=Eigenvectors(A):
> Matrix_Eigen_Vectors:=Transpose(F[2]):
v[1]:=Matrix_Eigen_Vectors[1]:
v[2]:=Matrix_Eigen_Vectors[2]:
v[3]:=Matrix_Eigen_Vectors[3]:
> # процесс ортогонализации системы собственных векторов
Ortogonal_System:=GramSchmidt([v[1],v[2],v[3]]):
> # нормируем собственные векторы и получаем систему ортонор-
мированных векторов
u[1]:=Ortogonal_System[1]/Norm(Ortogonal_System[1], Euclid-
ean):
u[2]:=Ortogonal_System[2]/Norm(Ortogonal_System[2], Euclid-
ean):
```

```

u[3]:=Ortogonal_System[3]/Norm(Ortogonal_System[3], Euclidean):
> # формируем матрицу U ортогонального преобразования
U:=Transpose(Matrix(3,3,[u[1]],u[2]],u[3]])):
> # диагональная матрица к.ф. к.в. K:=Transpose(U).A.U:
> # вывод результатов L:=L; [F, U, K];

```

$$L := 2x_1^2 + 5x_2^2 + 5x_3^2 + 4x_1x_2 - 4x_1x_3 - 8x_2x_3$$

$$\left[\begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 10 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 2 & -2 & -1 \\ 0 & 1 & -1 \\ 1 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} \frac{2\sqrt{5}}{5} & -\frac{2\sqrt{5}}{15} & -\frac{1}{3} \\ 0 & \frac{\sqrt{5}}{3} & -\frac{2}{3} \\ \frac{\sqrt{5}}{5} & \frac{4\sqrt{5}}{15} & \frac{2}{3} \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 10 \end{bmatrix} \right]$$

Рассмотрим реализацию метода ортогональных преобразований в СКМ wxMaxima. Процедура `eigenvectors(A)` выводит на экран списки. Первый список состоит из собственных значений матрицы к.ф. с указанием их алгебраических кратностей, а второй – из соответствующих собственных векторов матрицы к.ф. При этом список, отвечающий собственным векторам матрицы, разделен на два списка в соответствии с собственными значениями). Далее при помощи процедуры `uniteigenvectors(A)` вычисляются нормированные собственные векторы матрицы к.ф., и проводится процесс ортогонализации Грамма-Шмидта для второго и третьего собственных векторов (встроенная процедура `gramschmidt`, присутствующая в СКМ wxMaxima, не дает нужного результата относительно процесса ортогонализации). В результате выполнения команды `U:transpose(matrix(EigenVect1, EigenVect2, e))` на экран выводится матрица U соответствующего ортогонального преобразования.

```

(%i37) A: matrix([2,2,-2], [2,5,-4], [-2,-4,5]);
      x: matrix([x1,x2,x3]); KF: expand(x.A.transpose(x));
(KF)  5 x3^2 - 8 x2 x3 - 4 x1 x3 + 5 x2^2 + 4 x1 x2 + 2 x1^2
(%i21) eigenvectors(A);
      [[ [10,1], [1,2] ], [[ [1,2,-2] ], [ [1,0,1/2], [0,1,1] ] ] ]
(%o21)
(%i41) lambda[1]: uniteigenvectors(A)[1][1][1]; lambda[2]:
      uniteigenvectors(A)[1][1][2];
(%i26) EigenVect1: uniteigenvectors(A)[2][1][1]; EigenVect2:
      uniteigenvectors(A)[2][2][1];
      EigenVect3: uniteigenvectors(A)[2][2][2];
(EigenVect1)  [1/3, 2/3, -2/3]
(EigenVect2)  [2/sqrt(5), 0, 1/sqrt(5)]
(EigenVect3)  [0, 1/sqrt(2), 1/sqrt(2)]
(%i29) EigenVect1.EigenVect2; EigenVect1.EigenVect3;
      EigenVect2.EigenVect3;
(%i32) alpha: EigenVect3.EigenVect2; g: EigenVect3-
      alpha.EigenVect2; e:g/sqrt(g.g);

```

(g)
$$\left[-\frac{\sqrt{2}}{5}, \frac{1}{\sqrt{2}}, \frac{2^{3/2}}{5}\right]$$

(e)
$$\left[-\frac{\sqrt{2}\sqrt{10}}{15}, \frac{\sqrt{10}}{3\sqrt{2}}, \frac{2^{3/2}\sqrt{10}}{15}\right]$$

(%i38) U:transpose(matrix(EigenVect1, EigenVect2, e));

(U)
$$\begin{bmatrix} \frac{1}{3} & \frac{2}{\sqrt{5}} & -\frac{\sqrt{2}\sqrt{10}}{15} \\ \frac{2}{3} & 0 & \frac{\sqrt{10}}{3\sqrt{2}} \\ -\frac{2}{3} & \frac{1}{\sqrt{5}} & \frac{2^{3/2}\sqrt{10}}{15} \end{bmatrix}$$

Библиографический список

1. Дьяконов В.П. Энциклопедия компьютерной алгебры. М.: ДМК Пресс, 2009. – 1264 с.
2. Таранчук В.Б. Основные функции систем компьютерной алгебры. Минск: БГУ, 2013. – 59 с.
3. Система компьютерной алгебры Maxima [Электронный ресурс]. Режим доступа <http://maxima.sourceforge.net/ru/>
4. Стренг Г. Линейная алгебра и ее применения / Пер. с англ. под ред. Г.И. Марчука. М.: Мир, 1980. – 456 с.
5. Нелюхин С.А. Применение Maple к решению задач линейной алгебры: линейные пространства, евклидовы пространства, линейные операторы, квадратичные формы: учебное пособие / С.А. Нелюхин; Рязан. гос. радиотехн. ун-т; – Рязань: РГРТУ, 2012. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.exponenta.ru> (дата обращения: 18.11.2015).

УДК 519.766.26; ГРНТИ 27.03.33

ПАРАМЕТРИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЛИНГВИСТИЧЕСКИХ МОДИФИКАТОРОВ НА НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВАХ С ОГРАНИЧЕННЫМИ НОСИТЕЛЯМИ

А.Н. Конюхов, А.Б. Дюбуа

Рязанский государственный радиотехнический университет,
Россия, Рязань, chronos@bk.ru

Аннотация. Рассмотрены параметризованные операторы концентрации (CON), растяжения (DIL) и повышения контрастности (INT). Исследовано их действие на нечеткие множества, описываемые типовыми функциями принадлежности, в широком диапазоне значений параметра. Предложены и рассчитаны некоторые коэффициенты, адекватно оценивающие эффект воздействия операторов. Предложены оптимальные значения параметра.

Ключевые слова: нечеткое множество, функция принадлежности, лингвистический модификатор, индекс нечеткости.

PARAMETRIC INVESTIGATION OF LINGUISTIC HEDGES ON SUPPORT-BOUNDED FUZZY SETS

A.N. Konyukhov, A.B. Dubois

Ryazan state radio engineering university,
Russia, Ryazan, chronos@bk.ru

Abstract. The parameterized operators of concentration (CON), dilatation (DIL) and contrast intensification (INT) were considered. Their action on fuzzy set describing by most common membership functions was investigated in a wide range of parameter values. Some special coefficients were created and calculated in order to evaluate the operator's effect level. Optimal parameter values were proposed.

Keywords: fuzzy set, membership function, linguistic hedge, index of fuzziness.

Одним из актуальных направлений исследований в теории нечетких множеств является математическая формализация так называемых «лингвистических модификаторов», используемых для передачи нечетких градаций человеческого восприятия и мышления. Например, если имеется нечеткое множество (НМ) объектов, именуемых как «хороший», то при помощи модификаторов можно преобразовать данное НМ во множества, описывающие понятия «очень хороший», «более или менее хороший» и т.д. Как правило каждому лингвистическому модификатору ставится в соответствие некоторый оператор, оказывающий необходимое воздействие на исходное НМ, [1, 2].

Несмотря на широкое применение лингвистических модификаторов в теории нечетких множеств, пока недостаточно проработана проблема количественной оценки их действия на НМ. В данной работе поставим задачу исследования действия операторов, соответствующих некоторым лингвистическим модификаторам, путем их параметризации. В качестве модельных НМ возьмем нормальные нечеткие множества с ограниченными носителями, описываемые некоторыми типовыми функциями принадлежности.

В соответствии с классическим определением L. Zadeh под нечетким множеством $\tilde{A}$ мы понимаем совокупность всех пар следующего вида: $\tilde{A} = \{ \langle x \in U, \mu_{\tilde{A}}(x) \rangle \}$, где U - множество-универсум; $\mu_{\tilde{A}}(x)$ - функция принадлежности элемента x множеству $\tilde{A}$, причем $0 \leq \mu_{\tilde{A}}(x) \leq 1$, [1].

Естественно, выбор функции принадлежности (ФП) неоднозначен и определяется представлениями о моделируемой предметной области. Тем не менее, существуют классы так называемых «типовых» функций принадлежности, которые используются на практике чаще других. Достаточно полный обзор таких функций содержится в работе В. Kosko, [3].

Рассмотрим три основных лингвистических модификатора, реализуемых посредством действия на НМ следующих унарных операторов:

- оператора концентрирования CON (лингвистический модификатор «очень»);
- оператор растяжения DIL (лингвистический модификатор «более или менее»);
- оператор повышения контрастности INT (лингвистический модификатор «определенно»), [4].

Были параметризованы классические формулы вышеуказанных операторов.

1. Оператора повышения контрастности (с параметром $k > 1$) на нечетком множестве $\tilde{A}$ с функцией принадлежности $\mu_{\tilde{A}}(x)$, возвращающего новое множество с функцией принадлежности $\mu_{INT_k(\tilde{A})}(x)$

$$\mu_{INT_k(\tilde{A})}(x) = INT_k(\mu_{\tilde{A}}(x)) = \begin{cases} 2^{k-1}(\mu_{\tilde{A}}(x))^k, & \text{если } \mu_{\tilde{A}}(x) < 0,5 \\ 1 - 2^{k-1}(1 - \mu_{\tilde{A}}(x))^k & \text{иначе} \end{cases}$$

2. Оператора концентрирования (с параметром $k > 1$)

$$\mu_{CON_k(\tilde{A})}(x) = CON_k(\mu_{\tilde{A}}(x)) = (\mu_{\tilde{A}}(x))^k.$$

3. Оператора растяжения (с параметром $0 < k < 1$):

$$\mu_{DIL_k(\tilde{A})}(x) = DIL_k(\mu_{\tilde{A}}(x)) = (\mu_{\tilde{A}}(x))^k.$$

В качестве меры эффекта воздействия операторов на НМ при каждом значении параметра k рассчитывался коэффициент относительного изменения индекса нечеткости

$$\alpha(k) = \frac{I_0 - I_k}{I_0},$$

где I_0 – индекс нечеткости исходного НМ (предполагается $I_0 \neq 0$, т.е. исходное множество – нечеткое); I_k – индекс нечеткости НМ, полученного в результате воздействия оператора с параметром k .

Значения коэффициента α позволяют количественно и качественно оценивать эффект воздействия операторов на нечеткость множества. При $\alpha=0$ изменения нечеткости НМ не наблюдается (эффект отсутствует); при $\alpha=1$ действие оператора приводит к формированию четкого множества; отрицательные значения α свидетельствуют о том, что нечеткость множества увеличилась.

Индекс нечеткости множества $\tilde{A}$ рассчитывался с использованием меры Хемминга:

$$I_{\tilde{A}} = \frac{2}{m(\text{Supp}(\tilde{A}))} d^H(\tilde{A}, A),$$

где $m(\text{Supp}(\tilde{A}))$ – мощность носителя НМ $\tilde{A}$; $d^H(\tilde{A}, A)$ – расстояние Хэмминга между нечетким множеством $\tilde{A}$ и ближайшим к нему четким множеством A .

Ближайшим к данному нечеткому множеству $\tilde{A}$ считалось четкое множество A , характеристическая функция которого

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1, & \text{если } \mu_{\tilde{A}}(x) > 0,5 \\ 0 & \text{иначе} \end{cases}$$

Действие модификаторов исследовали на НМ с непрерывными функциями принадлежности с ограниченными носителями в виде отрезка $[a, c]$, вследствие чего расчетная формула для индекса нечеткости приобрела вид

$$I_{\tilde{A}_k} = \frac{2}{c-a} \int_a^c \left| \mu_{\text{OPER}_k(\tilde{A})}(x) - \mu_A(x) \right| dx,$$

где $\tilde{A}_k$ – нечеткое множество, полученное после воздействия на НМ $\tilde{A}$ одного из трех вышеперечисленных операторов OPER_k с параметром k .

В качестве модельных были взяты нормальные НМ, описываемые следующими типовыми ФП с модальным значением b на носителе $[a, c]$:

- гармоническая:

$$\mu_{\tilde{A}}^h(x) = \begin{cases} 0,5 \left(1 + \cos \left(\pi \frac{x-b}{c-b} \right) \right), & \text{если } a \leq x \leq c \\ 0 & \text{иначе} \end{cases}$$

- треугольная:

$$\mu_{\tilde{A}}^t(x) = \begin{cases} \frac{x-a}{b-a}, & \text{если } a \leq x < b, \\ \frac{c-x}{c-b}, & \text{если } b \leq x \leq c, \\ 0 & \text{иначе} \end{cases}$$

- гауссова:

$$\mu_A^g(x) = \begin{cases} \exp \left[\frac{4(c-x)(x-a) - (c-a)^2}{4(c-x)(x-a)} \right], & \text{если } a \leq x \leq c \\ 0 & \text{иначе} \end{cases}$$

Моделирование действия операторов проведено в пакете MathCad.

Получены следующие результаты.

1. Исследование оператора INT_k показало, что на всех трех модельных НМ действие его устойчиво (приводит к ожидаемому увеличению четкости множества), причем количественно отличается несильно (рис. 1). В области значений параметра $1 < k < 3$ «разгон» эффекта действия оператора максимальный. Нарастание значений параметра k свыше 4 едва ли целесообразно, так как прирост относительного эффекта уже незначительный.

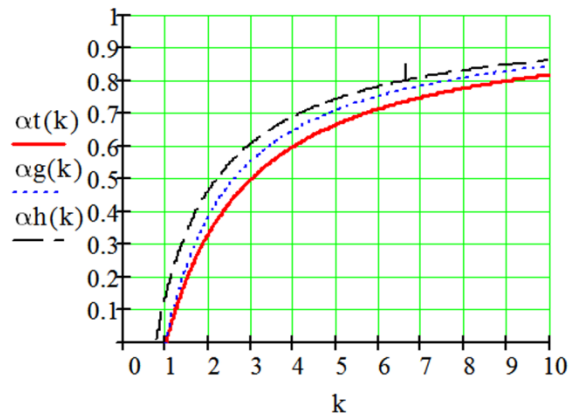


Рис. 1. Зависимость коэффициента относительного изменения индекса нечеткости $\alpha(k)$ для оператора INT_k от параметра k . Здесь и далее «t» - для НМ с треугольной ФП, «g» - для гауссовой ФП; «h» - для гармонической ФП

2. Исследование оператора CON_k показало, что лишь на двух модельных НМ (с треугольной и гармонической ФП) действие его приводит к ожидаемому росту четкости во всем диапазоне значений k (рис. 2). На нечетком множестве с гауссовой функцией принадлежности оператор имеет небольшую область значений k (от 0 до $\approx 1,368$) в которой его эффект вообще противоположен ожидаемому: нечеткость возрастает. Кроме того видно, что чувствительность различных НМ к действию данного оператора существенно различная: максимальная для НМ с треугольной ФП, минимальная – для гауссовой ФП. По сравнению с оператором INT_k скорость роста эффекта для CON_k существенно ниже при одних и тех же значениях параметра $1 < k < 3$.

В соответствии с выявленными недостатками индикатора $\alpha(k)$ введен дополнительный показатель оценки действия оператора CON_k . Это коэффициент концентрации, рассчитываемый по формуле

$$K_{\text{CON}_k} = \frac{\int_a^c (\mu_A(x) - \mu_{\text{CON}_k(A)}(x)) dx}{\int_a^c \mu_A(x) dx}.$$

Данный коэффициент – мера с геометрическим смыслом: он показывает величину относительного «сжатия» площади, заключенной между кривыми ФП до и после воздействия оператора, по сравнению с площадью под кривой ФП исходного множества A . Нулевое значение соответствует нулевому эффекту оператора, предельное значение 1 получается при бесконечном наращивании параметра k , в результате чего образуется четкое множество, состоящее из единственного элемента b .

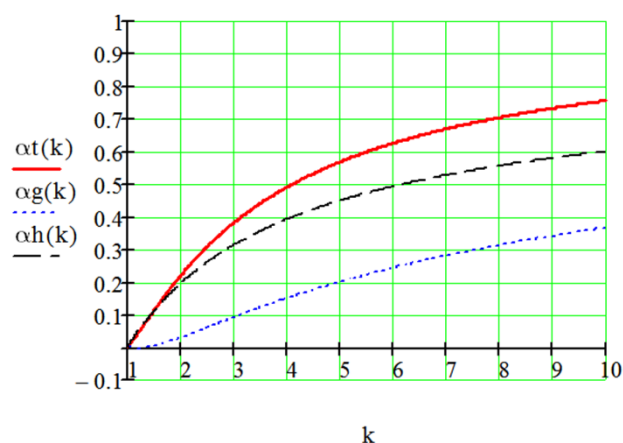


Рис. 2. Зависимость коэффициента относительного изменения индекса нечеткости $\alpha(k)$ для оператора CON_k от параметра k .

Результат параметрического исследования оператора по данному показателю представлен на рисунке 3. Видно, что вышеуказанные противоречия снимаются, т.е. коэффициент концентрации в большей мере подходит для количественной оценки действия оператора CON.

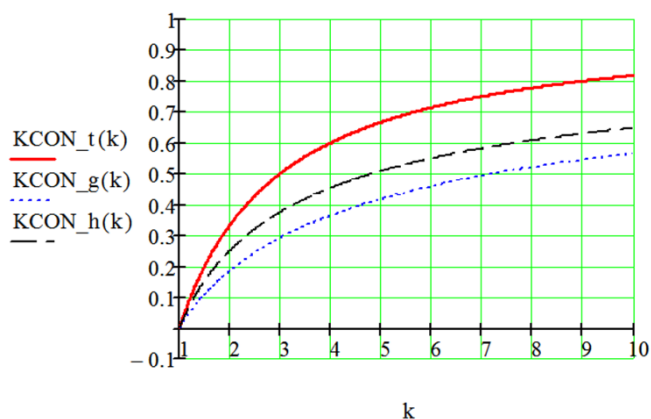


Рис. 3. Зависимость коэффициента концентрации K_{CON} для оператора CON_k от параметра k .

3. Исследование оператора DIL_k показало, что ожидаемое его действие (повышение нечеткости) проявляется не во всех диапазонах значений параметра k , а лишь от 0,5 до 1 для треугольной ФП и от 0,24 до 1 для гармонической ФП. Для НМ с гауссовой ФП действие оператора DIL_k всегда приводит к снижению нечеткости (рис. 4).

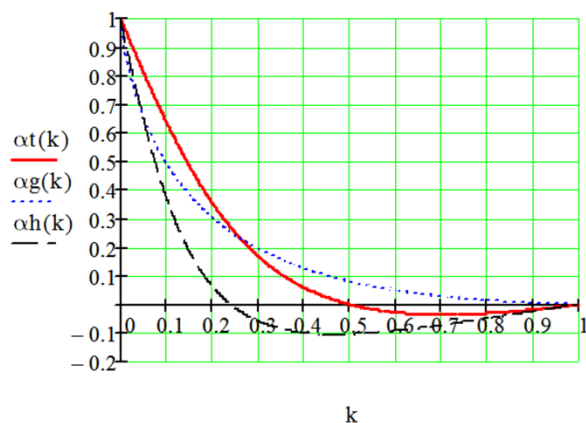


Рис. 4. Зависимость коэффициента относительного изменения индекса нечеткости $\alpha(k)$ для оператора DIL_k от параметра k .

Как в случае оператора концентрации введем альтернативный показатель оценки действия оператора DIL_k – коэффициент растяжения:

$$K_{DIL_k} = \frac{\int_a^c \left(\mu_{DIL_k(\bar{A})}(x) - \mu_{\bar{A}}(x) \right) dx}{\int_a^c (1 - \mu_{\bar{A}}(x)) dx}.$$

Результат параметрического исследования оператора DIL_k по данному показателю приведен на рисунке 5. Сопоставляя кривые на рисунке 4 и 5, можно предположить, что практически целесообразно применять оператор DIL_k при значениях k от 0,5 до 0,8 для треугольной ФП; от 0,3 до 0,8 для гармонической ФП.

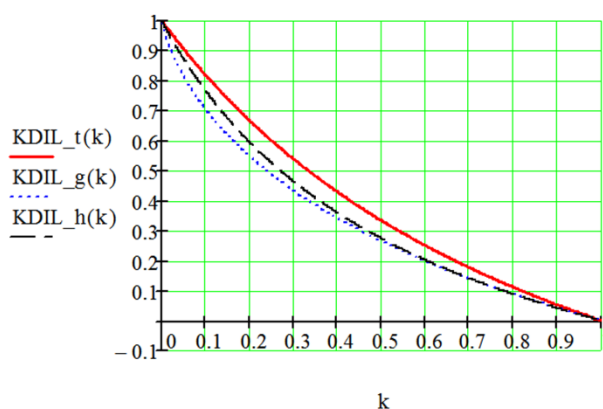


Рис. 5. Зависимость коэффициента растяжения K_{DIL} для оператора DIL_k от параметра k

Выводы. Исследование лингвистических модификаторов в виде параметризованных операторов, действующих на нечеткие множества, позволяет количественно оценить оказываемый эффект, выявить оптимальные условия их применения, а также возможные ограничения. Подход, предложенный в данной статье, может быть применен для совершенствования математического аппарата лингвистических модификаторов.

Библиографический список

1. L.A. Zadeh, A fuzzy-set-theoretic interpretation of linguistic hedges, Journal of Cybernetics, 1972, 2, p. 4–34.
2. D. Dubois, H. Prade, Fuzzy sets in approximate reasoning, Part 1: Inference with possibility distributions, Fuzzy Sets and Systems 40 (1991), p. 143–202.
3. S. Mitaim, B. Kosko, The shape of fuzzy sets in adaptive function approximation, IEEE Transactions on Fuzzy Systems, vol. 9, no. 4, 2001, p. 637–656.
4. Пегат А. Нечеткое моделирование и управление / А. Пегат; пер. с англ. 2-е изд. - М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. -798 с.: ил.

РЕГРЕССИОННАЯ МОДЕЛЬ ЗАВИСИМОСТИ КОНЕЧНОГО ПОТРЕБЛЕНИЯ ОТ ЧИСЛЕННОСТИ НАСЕЛЕНИЯ

Е.Ю. Лискина

Рязанский государственный университет имени С.А. Есенина,
Россия, Рязань, katelis@yandex.ru

Аннотация. В данной работе проанализированы временные ряды конечного потребления на душу населения и численности населения Рязанской области и их взаимосвязь. Построена регрессионная модель зависимости конечного потребления от численности населения.

Ключевые слова: анализ временных рядов, регрессионная модель, статистическая оценка взаимосвязи двух временных рядов

REGRESSION MODEL FOR DEPENDENCE OF THE FINAL CONSUMPTION ON THE POPULATION

E.Y. Liskina

Ryazan state university named for S.A. Esenin,
Russia, Ryazan, katelis@yandex.ru

Abstract. This paper we analyzed time-series data of the final consumption and the population of Ryazan region and their dependence. We developed regression model for the dependence of the final consumption on the population.

Keywords: time-series analysis, regression model, statistical estimation of two time series dependence

1. Введение

Изучение причинно-следственных зависимостей между величинами, представленными в форме временных рядов, является весьма актуальной задачей как при анализе микро- и макроэкономических показателей, так и при биржевом анализе. Однако применение традиционных методов регрессионного анализа в этом случае может привести к ряду серьезных проблем, подробно проанализированных в [1]. Там же представлена последовательность анализа взаимосвязи двух временных рядов, состоящая из следующих этапов:

- 1) выявление структуры изучаемых временных рядов, построение моделей системных компонент (трендовой, сезонной, циклической), устранение сезонной и циклической компонент из уровней данных временных рядов;
- 2) построение регрессионной модели взаимосвязи временных рядов, учитывающей трендовые компоненты в уровнях временных рядов (с применением методов исключения тенденции или методов включения в модель фактора времени);
- 3) проверка гипотезы об отсутствии автокорреляции в остатках в построенной модели по критерию Дарбина – Уотсона;
- 4) проверка гипотезы об отсутствии коинтеграции между двумя временными рядами по критерию Ингла – Грэнджера или по критерию Дарбина – Уотсона;
- 5) оценивание параметров уравнения регрессии при наличии автокорреляции в остатках и/или наличии коинтеграции.

В настоящей работе по предложенному алгоритму исследуется зависимость конечного потребления на душу населения от численности населения на примере Рязанской области. В расчетах использованы статистические данные из сборника «Регионы России. Социально-экономические показатели» с официального сайта Федеральной службы государственной статистики [2].

2. Построение регрессионной модели зависимости конечного потребления на душу населения от численности населения

Для удобства введем следующие обозначения: t – время (в годах), N_t – численность населения рязанской области на конец s -го года, тыс. чел., S_t – конечное потребление на душу населения, тыс. руб. t -м году. Временной диапазон с 1999 по 2015 год выбран потому, что на рубеже 1998–1999 годов произошло сразу несколько структурных изменений в экономике страны: деноминация и дефолт в 1998 году, и изменение налоговой системы в 1999 году

(с 01.01.1999 года вступила в силу первая часть действующего налогового кодекса Российской Федерации [3]). Изучение зависимости S_t от N_t выполним по приведенному алгоритму.

1) Изучение структуры временных рядов N_t и S_t показало, что они не имеют циклических компонент, но в них присутствуют ярко выраженные трендовые компоненты. Далее были построены модели трендовых компонент методом аналитического выравнивания. Наилучшие по статистическим характеристикам уравнения трендовых компонент представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Наилучшие уравнения трендовых компонент и их статистические характеристики

Параметр	Обозначение	N_t	S_t
уравнение		$N_t = \begin{cases} e^{27,831-0,010t}, & t < 2010; \\ e^{14,699-0,004t}, & t \geq 2010 \end{cases}$	$S_t = \begin{cases} e^{-468,812+0,299t}, & t < 2009; \\ e^{-258,711+0,134t}, & t \geq 2009 \end{cases}$
коэффициент детерминации нелинейного уравнения	$\bar{R}^2$	0,9888	0,9971
средняя ошибка аппроксимации	$\bar{A}$	0,0028	0,0239
статистика Дарбина – Уотсона	DW	0,813	2,053
F -статистика	F_n	285,03	3237,3
уровень значимости	α	0,05	0,05
объем выборки	n	17	16

Следует заметить, что наилучшие уравнения трендовых компонент временных рядов N_t и S_t имеют переменную структуру. Изменение структуры временного ряда N_t при $t = 2010$ г. связано с уточнением методологии оценки численности населения вследствие проведенной переписью (см. [2] за 2011 г., раздел «Методология»). Кроме того временной ряд N_t имеет отрицательную корреляцию остатков ($DW = 0,813$). Изменение структуры временного ряда S_t при $t = 2009$ г. предположительно связано с последствиями финансового кризиса, произошедшего в конце 2008 г. В выборку для оценки модели трендовой компоненты временного ряда S_t не входит значение S_{2015} , так как по оценке методом Ирвина оно является аномальным. Причиной аномальности предположительно являются экономический кризис и введение санкций в 2014 г. Временные ряды N_t и S_t и наилучшие модели их трендов представлены ниже на рисунке 1 и рисунке 2.

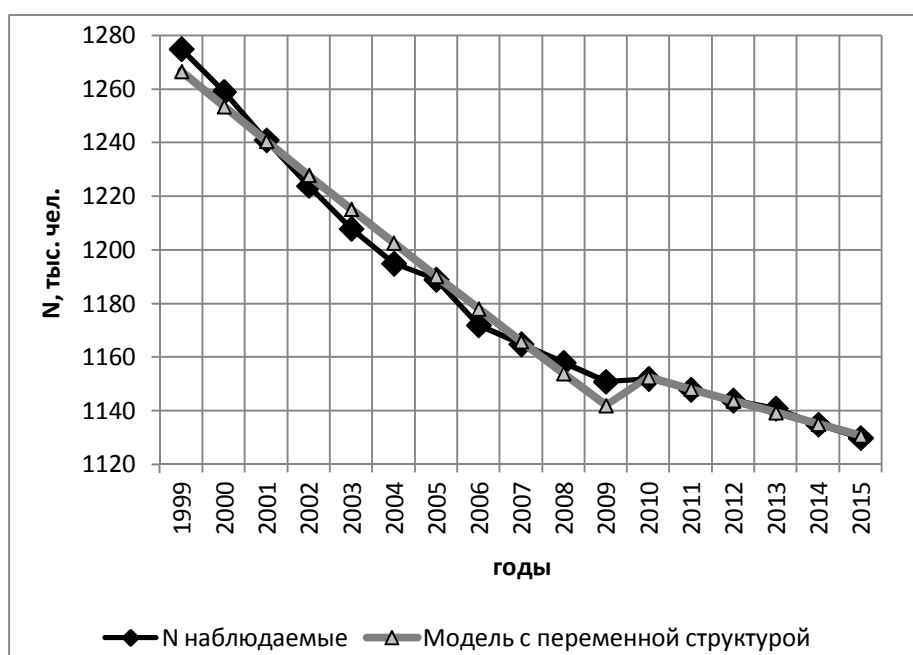


Рис. 1. Временной ряд численности населения N_t Рязанской области и его тренд



Рис. 2. Временной ряд конечного потребления на душу населения S_t Рязанской области и его тренд

2) Построение регрессионной модели взаимосвязи временных рядов N_t и S_t методом исключения тенденции (в частности, методом отклонений от трендов) оказалось невозможным в силу того, что коэффициенты автокорреляции отклонений оказались достаточно далекими от нуля: $r_{\Delta N_t} = -0,5582$ и $r_{\Delta S_t} = -0,4084$. Поэтому для построения регрессионной модели взаимосвязи временных рядов N_t и S_t использовался метод включения в модель фактора времени. Были построены линейная модель вида

$$S_t = a_0 + a_1 N_t + a_2 t + e_t \quad (1)$$

и линейная модель с переменной структурой

$$S_t = a_0 + b z_t + a_1 N_t + a_2 t + e_t, \text{ где } z_t = \begin{cases} 0, & t < 2009; \\ 1, & t \geq 2009 \end{cases} \quad (2)$$

Уравнения моделей (1) и (2) с идентифицированными коэффициентами представлены ниже, их статистические характеристики приведены в таблице 2., а графики – на рисунке 3.

Таким образом, линейная модель имеет вид

$$S_t = -50445873,64 + 1136,77 N_t + 24515,43 t + e_t, \quad (3)$$

а линейная модель с переменной структурой – вид

$$S_t = \begin{cases} -63329944,58 + 1581,35 N_t + 30678,27 t + e_t, & t < 2009; \\ -63356855,58 + 1581,35 N_t + 30678,27 t + e_t, & t \geq 2009. \end{cases} \quad (4)$$

Таблица 2 - Статистические характеристики регрессионных моделей $S_t = f(N_t, t)$

Параметр	Обозначение	Линейная модель	Линейная модель с переменной структурой
коэффициент детерминации линейного уравнения	R^2	0,9876	0,9926
средняя ошибка аппроксимации	$\bar{A}$	0,064	0,060
статистика Дарбина – Уотсона	DW	1,44	2,14
F -статистика	F_n	515,98	533,68
уровень значимости	α	0,05	0,05
объем выборки	n	16	16

Из таблицы 2 следует, что регрессионные модели (3) и (4) имеют близкие значения коэффициентов корреляции и средней ошибки аппроксимации. С помощью критерия Гуя-

рати была выполнена проверка преимущества использования модели (4) перед моделью (3). Наблюдаемое значение критерия оказалось $F_{fact} = 2,02$, критическое значение критерия $F_{krit} = 5,91$. Так как $F_{fact} < F_{krit}$, то можно сделать вывод, что на уровне значимости $\alpha = 0,05$ отсутствует преимущество использования модели (4) перед моделью (3). В этом случае целесообразно не усложнять модель, а использовать уравнение (3).

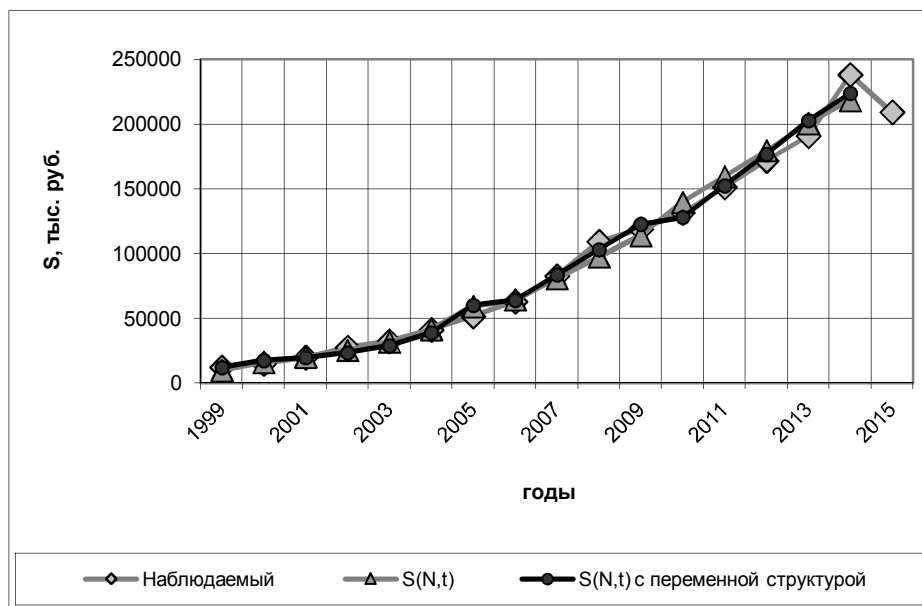


Рис. 3. Регрессионные модели $S_t = f(N_t, t)$

3) Для проверки гипотезы об отсутствии автокорреляции в остатках в построенной модели были вычислены значения статистики Дарбина – Уотсона DW (см. таблицу 2). В обоих случаях оказалось, что на уровне значимости $\alpha = 0,05$ гипотеза об отсутствии автокорреляции в остатках не может быть отвергнута.

4) Проверка гипотезы об отсутствии коинтеграции между двумя временными рядами была проведена по критерию Ингла – Грэнджера. Наблюдаемое значение критерия оказалось $t_{fact} = -0,8259$, а критическое $\tau_{krit} = 1,9439$ (см. [1, с. 448]). Так как $t_{fact} < \tau_{krit}$, то гипотеза об отсутствии коинтеграции временных рядов N_t и S_t на уровне значимости $\alpha = 0,05$ не может быть отвергнута.

Таким образом, регрессионная зависимость конечного потребления на душу населения от численности населения Рязанской области имеет вид (3). Пункт 5) алгоритма, изложенного выше, не требует выполнения.

Выводы

Предложенная в данной работе регрессионная модель зависимости конечного потребления на душу населения от численности населения Рязанской области носит обучающий характер. Автор использует ее в учебной дисциплине «Компьютерное и эконометрическое моделирование экономических процессов» магистратуры по направлению 01.04.01 «Математика», профиль «Математические методы в экономике». Цель ее применения – научить студентов грамотно применять аппарат эконометрики при моделировании экономических процессов.

Библиографический список

1. Эконометрика: учебник / И.И. Елисеева [и др.]. М.: Финансы и статистика, 2007. 576 с.
2. Регионы России. Социально-экономические показатели: статистический сборник [Электронный ресурс], URL: http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/publications/catalog/doc_1138623506156 (дата обращения 30.01.2017 г.).
3. Назаров В.С. Налоговая система России в 1991–2008 годах // История новой России. [Электронный ресурс], URL: <http://www.ru-90.ru/node/1170> (дата обращения 25.10.2015 г.).

ЗАДАЧИ ОБРАБОТКИ КОСВЕННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ МЕТОДОМ ОРТОГОНАЛЬНЫХ РАЗЛОЖЕНИЙ ПРИ СОВМЕСТНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ МУЛЬТИПЛИКАТИВНОЙ И АДДИТИВНОЙ ПОМЕХ

А.В. Дубовиков, К.А. Ципоркова, Н.И. Ципорков

Рязанский государственный радиотехнический университет,
Россия, Рязань, ktsiporkova@list.ru

Аннотация: Присутствие в измерениях одновременно мультипликативной и аддитивной помех порождает особенности алгоритма обработки в ситуации косвенных измерений. В настоящей работе эти особенности проанализированы, сделаны соответствующие выводы, получены расчетные соотношения.

Ключевые слова: полезный сигнал, косвенные измерения, ортогональное разложение, мультипликативная и аддитивная помехи.

PROCESSING TASKS OF INDIRECT MEASUREMENT ORTOGHOONAL EXPANSIONS UNDER THE COMBINED ACTION OF MULTIPLICATIVE AND ADDITIVE NOISE

A.V. Dubovikov, K.A. Tsiporkova, N.I. Tsiporkov

Ryazan State Radiotechnical University,
Russia, Ryazan, ktsiporkova@list.ru

Abstract: The presence in the measurements simultaneously multiplicative and additive noise creates a particular processing algorithm in the situation of indirect measurements. In the present work these features are analyzed, made conclusions, the design ratio.

Keywords: useful signal, indirect measurement, orthogonal decomposition, multiplicative and additive noise.

1. Вектор полезного сигнала $\bar{\xi}(t) = \text{col}(\xi_i(t))_{i=1}^n$ имеет нулевое математическое

ожидание и ковариационную матрицу $R = [R_{ij}] = [\text{cov}(\xi_i(t_1); \xi_j(t_2))]$. Производятся m измерений линейных комбинаций компонент линейного сигнала:

$$\eta_j(t) = \chi_j(t) \sum_{i=1}^n h_{ji} \xi_i(t) + v_j(t), \quad j = \overline{1, m}, \quad (1)$$

где $\chi_j(t)$ - мультипликативная помеха с математическим ожиданием $M[\chi_j] = m_j = \text{const}$,

$v_j(t)$ - аддитивная помеха с нулевым математическим ожиданием. $\chi_j(t)$, $\xi_i(t)$, $v_j(t)$ -

независимы. Корреляционная связь между компонентами помех задана матрицами

$$K = [K_{sr}] = [\text{cov}(\chi_s(t_1); \chi_r(t_2))]; \quad N = [N_{sr}] = [\text{cov}(v_s(t_1); v_r(t_2))].$$

Оценка составляющих полезного сигнала $\hat{\xi}_i(t)$ строится по формуле [1]

$$\hat{\xi}_i = \sum_k a_{ij}^k \gamma_{jk} \varphi_k(t), \quad (2)$$

где $\varphi_k(t)$ элементы ортонормированной на интервале наблюдения $[0; T]$ системы функций

$$\{\varphi_k(t) : \int_0^T \varphi_k(t) \varphi_l(t) dt = \delta_{kl}\}; \quad \gamma_{jk} = \int_0^T \eta_j(t) \varphi_k(t) dt$$

- коэффициенты разложения измерения $\eta_j(t)$ по элементам ортонормированной системы. Переход к матричным обозначениям даёт [2]

$$\bar{\xi}(t) = \sum_k A_k \Gamma_k \varphi_k(t), \quad (3)$$

где $A_k = [a_{ij}^k]_{i=1, \overline{n}}^{j=1, \overline{m}}$; $\Gamma_k = \text{col}(\gamma_{jk})_{j=1}^m$

Качество оценивания определяется величиной квадратичного функционала [3]

$$J = \int_0^T M[(\bar{\xi}(t) - \bar{\xi}(t))^T B(\bar{\xi}(t) - \bar{\xi}(t))] dt \longrightarrow \min_{a_{ij}} \quad (4)$$

Здесь B - симметрическая положительно определенная матрица [3], выбор элементов которой позволяет “управлять” величиной и структурой критерия.

2. Формулу (4) можно представить в виде

$$J = \int_0^T M[\bar{\xi}^T(t) B \bar{\xi}(t)] dt - \sum F_k; \quad (4')$$

$$F_k = G_k(M[\bar{\xi}^T(t_1) B A_k \bar{\eta}(t_1)]) - G_k(M[\bar{\eta}^T(t_1) A_k^T B A_k \bar{\eta}(t_2)]);$$

$$G_k(R) = \int_0^T \int_0^T R(t_1; t_2) \varphi_k(t_1) \varphi_k(t_2) dt_1 dt_2,$$

И таким образом, задача минимизации критерия качества сводится к максимизации всех F_k : $F_k \longrightarrow \max_{A_k} \quad (5)$

Реализовав все необходимые условия максимума F_k , получим

$$\frac{\partial F_k}{\partial a_{ij}} = 0 \mapsto \sum_{r=1}^n \sum_{q=1}^m (\sum_{s=1}^n \sum_{p=1}^n h_{js} h_{qp} b_{ri} G_k((m_j m_q + k_{jq}) R_{sp} + N_{jq}) a_{rq}^k = \sum_{r=1}^n \sum_{s=1}^n m_j h_{jr} b_{si} R_{sr}; \quad (5')$$

$$i = \overline{1, n}; \quad j = \overline{1, m}.$$

Следовательно, реализация условий максимума требует решение $n \times m$ уравнений.

3. На практике зачастую представляет интерес лишь одна составляющая вектора полезного сигнала, например $\xi_1(t)$. Это означает, что при сохранении (1) и реализации (2) лишь при $i=1$ формула для функционала качества (4) приобретает вид [4]

$$J = \int_0^T M[(\hat{\xi}_1(t) - \xi_1(t))^2] dt \longrightarrow \min_{a_j^k},$$

где $\hat{\xi}_1(t) = \sum_k a_j^k \gamma_{jk} \varphi_k(t)$.

Это означает, что $b_{11} = 1$, $b_{ii} = 0$ при $i > 1$ или $i > 1$.

Воспользовавшись в этих предположениях результатом предыдущего раздела, запишем условие максимума F_k :

$$\frac{\partial F_k}{\partial a_j^k} = 0 \mapsto \sum_{q=1}^m (\sum_{s=1}^n \sum_{p=1}^n h_{js} h_{qp} G_k((m_j m_q + k_{jq}) R_{sp} + N_{jq}) a_q^k = \sum_{s=1}^n m_j h_{js} G_k(R_{s1}), \quad j = \overline{1, m}.$$

Следовательно, в данной постановке задача сводится к решению систем m уравнений.

4. Дальнейшее упрощение приводит к постановке задачи, когда имеется лишь

один измерительный канал: $\eta(t) = \chi(t) \sum_{i=1}^h h_i \xi_i(t) + v(t)$.

Система уравнений, полученная в предыдущем разделе, выражается в единственном уравнении

$$\frac{\partial F}{\partial a_k} = 0 \mapsto \sum_{s=1}^n \sum_{p=1}^n h_s h_p G_k((m^2 + K) R_{sp} + N) a_k = m \sum_{s=1}^n h_s G_k(R_{s1}), \quad (6)$$

решение которого, очевидно доставляет максимум F_k .

Здесь $m = M[\chi(t)]$; $K(t_1, t_2) = \text{cov}(\chi(t_1), \chi(t_2))$; $N = \text{cov}(v(t_1), v(t_2))$. Если вместо схемы решения, использованной в данной работе, применять подход [5], т.е. вместо оптимальной линейной комбинации с коэффициентами a_k строить оценку $\hat{\xi}_1(t) = \sum_{k \in M} \gamma_k \varphi_k(t)$, в состав $M = \{k\}$ которой входят лишь те гармоники $\varphi_k(t)$, которые “способствуют” улучшению оценки, то решение выглядит так:

$$M = \{k : 2mh_1 \sum_{s=1}^n G_k(R_{s1}) - \sum_{s=1}^n \sum_{p=1}^n h_s h_p G_k((m^2 + K)R_{sp} + N) > 0\}.$$

5. В качестве конкретного приложения рассмотрим задачу оценивания

производной случайного сигнала, т.е. $\xi_1(t) = \dot{\xi}(t)$; $\xi_2(t) = \xi(t)$. Тогда $R_{11}(t_1; t_2) = \frac{\partial^2 R_\xi}{\partial t_1 \partial t_2}$;

$$R_{12}(t_1; t_2) = \frac{\partial R_\xi}{\partial t_2}; \quad R_{22}(t_1; t_2) = R_\xi(t_1; t_2).$$

Уравнение измерительного канала (за счёт выбора масштаба) запишем в виде:

$$\eta(t) = \chi(t)(\dot{\xi}(t) + h\xi(t)) + v(t). \quad (1')$$

Оптимальные значения коэффициентов a_k линейной комбинации (2) в этом случае определяются формулой

$$a_k^* = \frac{m(G_k(R_{11})) + hG_k(R_{12})}{G_k((m^2 + K)R_{11} + N) + 2hG_k((m^2 + K)R_{12} + N) + h^2G_k((m^2 + K)R_{22} + N)}. \quad (7)$$

Максимальное значение F_k определяются формулой $F_k^* = m(G_k(R_{11}) + hG_k(R_{12}))a_k^*$.

6. Задача оценивания производной квазидетерминированного [6] случайного сигнала $\xi(t) = \alpha t^2$ со случайным коэффициентом α , $M[\alpha] = 0$; $D[\alpha] = A$.

Тогда элементы ковариационной матрицы равны

$$R_{11}(t_1; t_2) = 4At_1t_2; \quad R_{12}(t_1; t_2) = 2t_1^2t_2; \quad R_{22}(t_1; t_2) = At_1^2t_2^2.$$

Аддитивную помеху и случайную составляющую мультипликативной будем рассматривать как широкополосные сигналы [6] и, поэтому аппроксимировать белым шумом [6].

$$K(t_1, t_2) = B\delta(t_2 - t_1); \quad N(t_1, t_2) = C\delta(t_2 - t_1) \quad (\delta(t) - \text{дельта функция Дирака}).$$

Полезный сигнал (производная) представляет собой линейную функцию. Поэтому в качестве базисной ортонормированной системы примем систему ортонормированных на интервале наблюдения $[0; T]$ многочленов [7]:

$$\varphi_0 = \frac{1}{\sqrt{T}}; \quad \varphi_1 = \frac{2\sqrt{3}}{T\sqrt{T}}(t - \frac{T}{2}); \quad \varphi_2 = \frac{12\sqrt{5}}{3\sqrt{5}T^2\sqrt{T}}(t^2 - Tt + \frac{T^2}{6}); \quad \dots$$

Расчет параметров формулы (7) даёт:

$$\text{- при } k=0, \quad G_0(R_{11}) = AT^3; \quad G_0(R_{12}) = \frac{AT^4}{3}; \quad G_0(R_{22}) = \frac{AT^5}{9}; \quad G_0(KR_{11}) = \frac{4ABT^2}{3};$$

$$G_0(KR_{12}) = \frac{ABT^3}{2}; \quad G_0(KR_{22}) = \frac{ABT^4}{5}; \quad G_0(N) = C;$$

$$\begin{aligned} & \text{ - при } k=1, \quad G_1(R_{11}) = \frac{AT^3}{3}; \quad G_1(R_{12}) = \frac{AT^4}{6}; \quad G_1(R_{22}) = \frac{AT^5}{12}; \quad G_1(KR_{11}) = \frac{ABT^2}{3}; \\ & G_1(KR_{12}) = \frac{7ABT^3}{10}; \quad G_1(KR_{22}) = \frac{11ABT^4}{35}; \quad G_1(N) = C; \end{aligned}$$

Так как из свойства ортогональности следует $G_k(R_{11}) = G_k(R_{12}) = 0$; при $k \geq 2$, то отличны от нуля лишь a_0 и a_1 :

$$\begin{aligned} a_0 &= \frac{\frac{mAT^3}{3}(3+hT)}{\frac{ABT^2}{30}(40+30hT+6h^2T^2) + m^2 \frac{AT^3}{9}(9+3hT+h^2T^2) + C(1+h)^2}; \\ a_1 &= \frac{m \frac{AT^3}{6}(2+hT)}{\frac{ABT^2}{210}(70+147hT+66h^2T^2) + m^2 \frac{AT^3}{12}(4+2hT+h^2T^2) + C(1+h)^2}; \end{aligned}$$

$a_k = 0$ при $k \geq 2$.

7. Анализируя полученный результат, во-первых, отметим отсутствие в формуле оценки слагаемых степени t выше первой. Этот факт имеет очевидное объяснение: производная представляет собой линейную функцию и, поэтому для её оценивания достаточно многочленов ортонормированной системы лишь нулевой и первой степени.

При $T \rightarrow 0$ коэффициенты a_0, a_1 также стремятся к нулю как T^3 . Причем, как следует из формул предыдущего раздела, этот эффект достигается за счёт присутствия аддитивной помехи ($C \neq 0$). А при $C=0$ стремление к нулю коэффициентов a_0, a_1 происходит более медленно, как T^1 .

При $T \rightarrow \infty$ коэффициенты a_0, a_1 также стремятся к нулю как T^{-1} .

Присутствие в формулах для a_0, a_1 параметров m и h позволяет, в принципе, ставить задачу подбора наилучших (для данного T) значений этих параметров.

Точно также, как изложено выше, можно подвергнуть анализу величины F_0^* и F_1^* , что не представляет труда.

Библиографический список

1. Дубовиков А.В. Модифицированный метод ортогональных разложений оценивания случайного процесса.// Математические методы в научных исследованиях. Сб. науч. трудов. - Рязань: РГРТУ, 2006. - С. 4-7.
2. Дубовиков А.В., Ципоркова К.А. Задача сглаживания многомерного случайного сигнала методом ортогональных разложений.// Математические методы в научных исследованиях. Сб. науч. трудов. - Рязань: РГРТУ, 2012. - С. 13-21.
3. Дубовиков А.В., Ципоркова К.А., Ципоркова М.И. Задача использования косвенных измерений для сглаживания многомерного случайного сигнала методом ортогональных разложений.// Математические методы в прикладных исследованиях. Сб. науч. трудов. - Рязань: РГРТУ, 2012. - С. 12-19.
4. Дубовиков А.В., Дубовиков Д.А., Ципоркова К.А. Метод ортогональных разложений при совместной обработке сигналов разнородных измерителей случайного сигнала.// Математические методы в экономических исследованиях. Сб. науч. трудов. - Рязань: РГРТУ, 2006. - С. 3-7.
5. Дубовиков А.В. Выделение полезного сигнала из аддитивной смеси с помехой разложением измерения в ряд Фурье // Математические методы оптимального управления и обработки данных: Межвуз. сб. Рязань, 1983. С. 32-36.
6. Розанов Ю.А. Теория вероятностей, случайные процессы и математическая статистика. М. Наука, 1989.
7. Суетин П.К. Классические ортогональные многочлены. - М.: Наука, 1975.

ДИАГНОСТИКА СОСТОЯНИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕНДЕНЦИЙ РАЗВИТИЯ ПРОМЫШЛЕННОЙ СИСТЕМЫ РЕГИОНА

М.А. Степанов

Рязанский государственный радиотехнический университет,
Россия, Рязань. stepanov.m.a@rsreu.ru

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы управления развитием промышленной системы региона (ПСР). Для диагностики состояния предлагается построение фазового портрета ПСР. Рассматриваются возможности данного метода диагностики на примере промышленной системы Рязанской области.

Ключевые слова: промышленная система региона (ПСР), диагностика состояния, построение фазовых портретов, аттракторы.

DIAGNOSTIC STATUS AND IDENTIFY TRENDS DEVELOPMENT INDUSTRIAL SYSTEMS OF THE REGION

M.A. Stepanov

Ryazan State Radio Engineering University,
Russia, Ryazan. stepanov.m.a@rsreu.ru

Abstract. This article discusses the development of the industrial system of the regional administration (AKP). To diagnose the condition proposed construction of the phase portrait of the AKP. The possibilities of this diagnostic method by the example of the industrial system of the Ryazan region.

Keywords: industrial Region System (IRS), the state of diagnostics, construction of phase portraits of attractors.

Форсированное развитие экономики России, невозможно без компетентного управления развитием промышленности как ключевого элемента российской экономики и основы научно-технического развития и инновационного роста. В условиях реализации политики промышленного развития актуальность приобретает исследование перспективных механизмов и методов изучения и управления данным развитием. Промышленность, локализованная в границах региона, может быть идентифицирована в качестве самостоятельного системного объекта – промышленной системы региона (ПСР) [1, с. 45], рассматриваемой как совокупность промышленных предприятий, реализующих на территории региона свою специфическую функцию – производство (воспроизводство) промышленной продукции.

На уровне субъектов Российской Федерации органы государственной власти непосредственно соприкасаются с деятельностью и результатами деятельности ПСР, имеют наибольший объем информации о социально-экономическом развитии территорий, имеют возможности оперативного реагирования на меняющиеся условия, а также заинтересованы в формировании результативных механизмов взаимодействия и коммуникации всех заинтересованных сторон и групп интересов. Поэтому конкретные формы управления ПСР должны разрабатываться с учетом региональной специфики и уровня развития территорий именно на региональном уровне [2]. Основными задачами при этом являются: диагностика состояния и уровня развития ПСР, прогнозирование развития ПСР, программирование развития ПСР, формирование и реализация управленческого воздействия.

Отправным этапом управления развитием ПСР является диагностика состояния и определение тенденций развития ПСР. Развитие промышленной системы региона может быть определено как циклическая смена длительных периодов динамической неустойчивости системы и бифуркационных скачков (чередование эволюционных и революционных периодов) [1, с. 86]. Состояние системы может быть задано конечным множеством эндогенных en_i ($i = \overline{1, n}$) и экзогенных параметров ex_j ($j = \overline{1, m}$). Полная траектория развития региональной промышленности во времени может быть задана системой обыкновенных нелинейных дифференциальных уравнений 1-го порядка [1, с. 94]:

(1)

I – постоянный рост/спад (эволюционный тип развития);

III – уменьшающийся рост/спад (эволюционный тип развития);

IV – бифуркационный скачок (революционный тип развития).

Рассмотрим результаты применения фазового анализа для диагностики ПСР Рязан-области. В качестве базовых параметров развития взяты объем промышленного про-
дства – QI и инвестиции в основной капитал промышленности – IK . Траектория раз-
в в общем виде будет описываться следующей системой уравнений:

(2)

Для расчета используются данные Рязанской области [5, 6] по отгруженным товарам собственного производства и инвестициям в основной капитал (таблица 1), приведенные к сопоставимым значениям (2015 г.) по видам экономической деятельности, отнесенным к разделам С Добыча полезных ископаемых, D Обрабатывающие производства, E Производство и распределение электроэнергии, газа и воды ОКВЭД ОК 029-2001 (КДЕС Ред.1) [7], разделам В Добыча полезных ископаемых, С Обрабатывающие производства, D Обеспечение электрической энергией, газом и паром; кондиционирование воздуха, E Водоснабжение; водоотведение, организация сбора и утилизации отходов, деятельность по ликвидации загрязнений ОКВЭД 2 ОК 029-2014 (КДЕС Ред. 2) [8].

Таблица 1 - Показатели промышленного развития Рязанской области – *QI* и *IK* за 1991-2015 годы

Год	<i>QI</i> , млрд. руб	Индекс пром. производства, %	Цепной абсолютный прирост, млрд. руб	<i>IK</i> , млрд. руб	Индекс объема инвестиций, %	Цепной абсолютный прирост, млрд. руб
1991	292,57	94	-18,67	98,37	82	-21,59
1992	234,35	80,1	-58,22	52,72	53,6	-45,64
1993	211,15	90,1	-23,20	46,98	89,1	-5,747
1994	148,02	70,1	-63,13	33,07	70,4	-13,91
1995	128,48	86,8	-19,54	29,76	90	-3,31
1996	93,02	72,4	-35,46	18,34	61,6	-11,43
1997	97,86	105,2	4,84	16,80	91,6	-1,54
1998	101,97	104,2	4,11	15,40	91,7	-1,39

Продолжение таблицы 1

Год	QI, млрд. руб	Индекс пром. производства, %	Цепной абсолютный прирост, млрд. руб	IK, млрд. руб	Индекс объема инвестиций, %	Цепной абсолютный прирост, млрд. руб
1999	106,55	104,5	4,59	13,41	87,1	-1,99
2000	118,27	111	11,72	23,56	175,6	10,14
2001	123,72	104,6	5,44	35,52	150,8	11,97
2002	130,64	105,6	6,93	23,20	65,3	-12,33
2003	140,18	107,3	9,54	27,12	116,9	3,92
2004	149,99	107	9,81	46,02	169,7	18,90
2005	158,84	105,9	8,85	51,54	112	5,52
2006	175,36	110,4	16,52	51,74	100,4	0,21
2007	196,23	111,9	20,87	58,37	112,8	6,62
2008	207,02	105,5	10,79	75,12	128,7	16,75
2009	183,84	88,8	-23,19	53,63	71,4	-21,48
2010	205,16	111,6	21,32	54,01	100,7	0,38
2011	225,06	109,7	19,90	66,32	122,8	12,31
2012	226,86	100,8	1,80	80,78	121,8	14,46
2013	239,79	105,7	12,93	87,73	108,6	6,95
2014	244,59	102	4,79	68,17	77,7	-19,56
2015	237,74	97,2	-6,84	54,06	79,3	-14,11

При построении фазового портрета по оси абсцисс откладываем валовое значение изучаемого показателя (объем промышленного производства и объем инвестиций в основной капитал соответственно), а по оси ординат – цепные абсолютные приросты данных показателей, характеризующие скорость их изменения. Фазовые портреты динамики объема промышленного производства и инвестиций в основной капитал промышленности представлены на рис. 1 и 2.

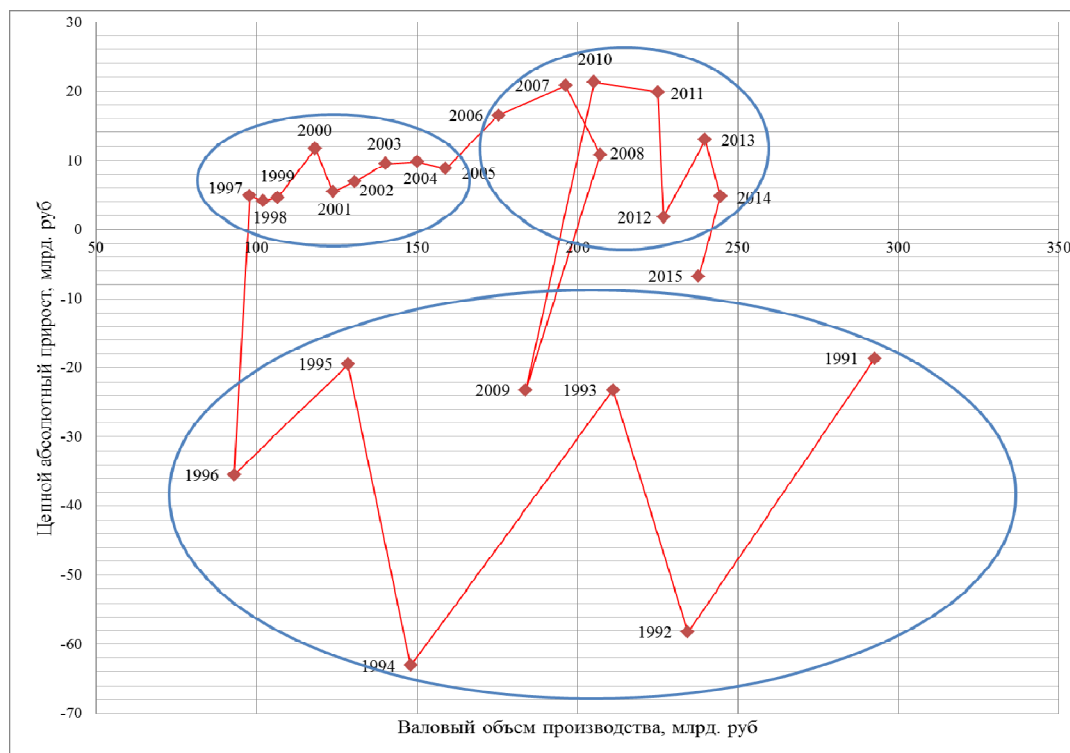


Рис. 1. Фазовый портрет динамики объема промышленного производства (1991-2015 годы)

По фазовому портрету динамики объема промышленного производства может быть выделено три аттрактора:

I аттрактор – 1991-1996годы (период постоянного спада);

II аттрактор – 1997-2005 годы (период постоянного роста, с незначительным ускорением прироста);

III аттрактор – 2006-2014 годы (период уменьшающегося роста).

Необходимо отдельно отметить 2008 и 2015 годы. 2008 год в рамках III аттрактора выходит за его границы. Это определяется очень важным экстернальным фактором – Мировым финансовым кризисом 2007-2009 годов. 2015 год, вероятнее всего, является началом бифуркации при переходе к новому аттрактору.

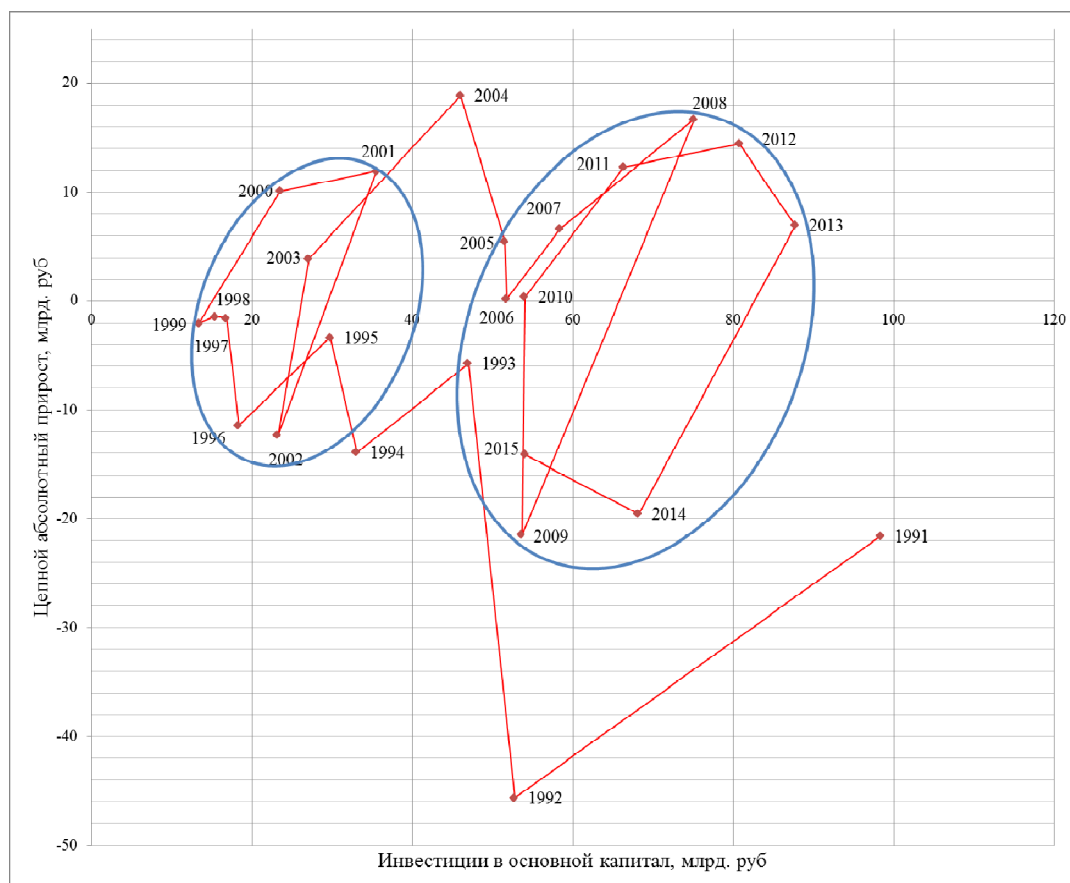


Рис. 2. Фазовый портрет динамики объема инвестиций в основной капитал промышленности Рязанской области (1991-2015 годы)

В динамике объема инвестиций в основной капитал промышленности основными аттракторами (важной их особенностью является цикличность и наличие в рамках одного и того же аттрактора перехода от спада к росту и от роста к спаду) являются следующие:

I аттрактор – 1995-2003 годы (циклический период, характеризующийся общим переходом от спада (1995-1999) к росту (2003));

II аттрактор – 2005-2015 годы (циклический период, характеризующийся чередованием периодов роста и спада инвестиций).

На основе диагностики состояния ПСР может быть построен прогноз ее развития [9]. Как для объема производства, так и для объема инвестиций прогнозные значения могут быть оптимистическими, пессимистическими и средними. Прогнозные значения показателей могут быть рассчитаны по разному: исходя из значений в рамках периода, относящегося к определенному аттрактору, либо исходя из динамики по всем имеющимся данным. Это, прежде всего, зависит от того, может ли прогнозный период быть отнесен к тому или иному аттрактору.

Библиографический список

1. Евдокимова Е.Н. Теория стратегического управления развитием воспроизводственных процессов в промышленности региона: монография. М.: Горячая линия – Теле-ком. 2013. 302 с.
2. Степанов М.А. Идентификация перспективных направлений кластерного развития региона (на примере рязанской области) // Управление экономическими системами: электронный научный журнал. 2015. № 6 (78). С. 59.
3. Гранберг А.Г. Динамические модели народного хозяйства. М.: «Экономика». 1985. 240 с.
4. Евдокимова Е.Н. Концепция управления развитием промышленного производства на региональном уровне: системно-синергетический подход // Организатор производства. 2011. Т. 49. № 2. С. 99-105.
5. Федеральная служба государственной статистики [Электронный ресурс] / Рос-стат. URL: www.gks.ru, свободный.
6. Мировой атлас данных [Электронный ресурс] / knoema. URL: knoema.ru, свободный.
7. Постановление Госстандарта России от 06.11.2001 №454-ст (ред. от 31.03.2015) «О принятии и введении в действие ОКВЭД» // Справочно-правовая система «Консультант Плюс».
8. Приказ Росстандарта от 31.01.2014 №14-ст (ред. от 07.10.2016) // Справочно-правовая система «Консультант Плюс».
9. Demidova L., Zhdankina E., Krylova O., Reshetova V., Sofyin E. Attractors in the Development Problem of the Forecasting Model on the Base of the Strictly Binary Trees // Procedia Computer Science: XII International Symposium Intelligent Systems 2016, INTELS 2016, 5-7 October 2016, Moscow, Russia. Volume 103. 2017. pp. 214-221.

УДК 330.43, ГРНТИ 27.43.17

СТАНДАРТНОЕ ОТКЛОНЕНИЕ ИЛИ СТАНДАРТНАЯ ОШИБКА

Т.Т.З. Вьонг, Н.В. Ушакова

Тульский государственный университет,

Россия, Тула, vuongduong8820@gmail.com, n_ush@list.ru

Аннотация. В данной работе описаны определение и смысл показателей стандартного отклонения, коэффициента вариации и стандартной ошибки. Кроме того, проведено отличие между терминами «стандартное отклонение» и «стандартная ошибка»

Ключевые слова: стандартное отклонение, коэффициент вариации, стандартное отклонение средних значений, стандартная ошибка.

STANDARD DEVIATION OR STANDARD ERROR

T.T.D. Vuong, N.V. Ushakova

Tula State University,

Russia, Tula, vuongduong8820@gmail.com, n_ush@list.ru

Abstract. This paper deals with the definition of standard deviation, coefficient of variance and standard error. In addition, conducting the difference between «standard deviation» and «standard error».

Keywords: standard deviation, coefficient of variance, standard deviation of the means, standard error.

Когда распределение данных выборки нормальное или приблизительно нормальное, можно использовать для их описания показатели **средней арифметической** и **стандартного отклонения (а не стандартной ошибки)**. Однако, когда распределение данных выборки не является нормальным, для их описания должны быть использованы показатели **медианы** и **межквартильного диапазона**. Для того, чтобы понимать эти условия, нужно изучить роль стандартного отклонения и стандартной ошибки. Это является необходимым, потому что большинство статистических учебников Вьетнама, России и других стран недостаточно детально объясняют отличие двумя показателями [1].

В случае описание выборки данных, имеющей нормальное распределение, значение средней арифметической и медианы совпадают, а распределение данных выборки напоминает колокол Гаусса, и для их описания можно использовать показатели **средней арифметической** и **стандартного отклонения**.

Возникает вопрос: почему в данном случае следует рекомендовать использовать **стандартное отклонение**? Рассмотрим следующий пример.

Пример 1: Удорожание стоимости инвестиционных проектов в двух группах А и Б представлено в таблице 1.

Таблица 1 - Данные удорожания стоимости инвестиционных проектов

Проект группы А	Удорожание (%)	Проект группы Б	Удорожание (%)
1	7	1	11
2	8	2	3
3	9	3	4
4	5	4	10
5	6		
6	7		

Средняя арифметическая удорожания стоимости проектов группы А составила 7(%) и а группы Б - также 7(%). У них равные средние арифметические, но размах вариации в группе Б в два раза большее, чем в группе А (разница между максимальным и минимальным значением группы А равна 4 (9-5=4), а группы Б - 8 (11-3=8)). Поэтому нельзя сказать, что группа А адекватна группе Б.

Поэтому должен быть какой-нибудь показатель, который показывает вариацию (или отличие) между проектами в каждой группе проектов А и Б. Сначала просто определим разность удорожания каждого проекта в конкретной группе от среднего арифметического удорожания данной группы (D). Сложив все эти отклонения, закономерно получим 0 :

$$\text{Группа А: } D_A = (7-7) + (8-7) + (9-7) + (5-7) + (6-7) + (7-7) = 0$$

$$\text{Группа Б: } D_B = (11-7) + (3-7) + (4-7) + (10-7) = 0$$

С целью устранения отрицательных чисел вычислим квадраты разностей значений каждого наблюдения и средней по каждой группе. Сложим квадраты разностей (D^2).

$$\text{Группа А: } D_A^2 = (7-7)^2 + (8-7)^2 + (9-7)^2 + (5-7)^2 + (6-7)^2 + (7-7)^2 = 10$$

$$\text{Группа Б: } D_B^2 = (11-7)^2 + (3-7)^2 + (4-7)^2 + (10-7)^2 = 50$$

Значение суммы квадратов разностей показывает, что варьирование в группе Б было больше, чем в группе А (50>10). Но сумма квадратов разностей находится в зависимости от размера выборки каждой группы, поэтому надо делить ее на n-1 для нахождения «среднего» квадрата разности. Такая «средняя» величина называется дисперсией и обозначается латинской буквой s^2 - выборочная дисперсия.

$$\text{Группа А: } S_A^2 = \frac{(7-7)^2 + (8-7)^2 + (9-7)^2 + (5-7)^2 + (6-7)^2 + (7-7)^2}{6-1} = 2$$

$$\text{Группа Б: } S_B^2 = \frac{(11-7)^2 + (3-7)^2 + (4-7)^2 + (10-7)^2}{4-1} = 16.67$$

Чтобы вернуться к первоначальной размерности, из s^2 (значение дисперсии) извлекается квадратный корень и называется стандартным отклонением (s – или SD – standard deviation). Дисперсия и стандартное отклонение являются показателями разнообразия или разброса значений отдельной выборки вокруг среднего значения [3]. Стандартное отклонение этих групп подсчитывается по следующим формулам:

$$s = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}, \quad (1)$$

где

s - стандартное отклонение;

$\bar{x}$ - средняя арифметическая выборки данных исследования;

x_i - значение наблюдений в выборке данных исследования;

n - размер выборки.

$$s_A = \sqrt{\frac{(7-7)^2 + (8-7)^2 + (9-7)^2 + (5-7)^2 + (6-7)^2 + (7-7)^2}{6-1}} = 1.41$$

$$s_B = \sqrt{\frac{(11-7)^2 + (3-7)^2 + (4-7)^2 + (10-7)^2}{4-1}} = 4.08.$$

Значения стандартного отклонения показывают, что разнообразие группы Б было выше, чем в группе А. Можно вычислить коэффициент вариации (CV – coefficient of variance) как отношение стандартного отклонения к средней арифметической. Преимущество этого коэффициента в том, что он позволяет сопоставить переменные, имеющие разные единицы размерности. Коэффициент вариации удорожания для группы А будет 0.2014, а для группы Б 0.5829.

$$CV_A = 1.41/7 = 0.2014 \text{ и } CV_B = 4.08/7 = 0.5829.$$

Итак, хотя среднее удорожание проектов в группе Б будет равно среднему удорожанию проектов в группе А (тоже на 7%), но риск инвестирования на них больше в 2.89 раза ($0.5829/0.2014$). Следовательно, проекты в группе А являются более предпочтительными для инвестирования, поскольку обладают лучшим соотношением рисков (меньшей вероятностью удорожания).

Таблица 2 - Обобщенные результаты исследования о удорожании стоимости проектов в двух группах

Группа	Размер группы	Среднее арифметическое	Стандартное отклонение	Коэффициент вариации
А	6	7	1.41	0.2014
Б	4	7	4.08	0.5829

В статистических учебниках обычно представлена формула расчета стандартной ошибки (SE – standard error), но не объяснено подробно, почему нужен этот показатель. Основа и цель статистики – оценка показателей популяции (генеральной совокупности), но на практике мы не знаем их значения. Заключение обо всей популяции могут строиться на основе одного выборочного наблюдения или множества выборочных наблюдений из этой популяции (метод выборки). Средняя выборки может совпадать, а может и не совпадать со средней всей популяции. Если же мы возьмем большое число выборок из одной популяции, то мы получим множество различных средних значений [2]. Можно использовать различные значения этих средних в качестве нового набора данных и найти среднюю этих средних значений. Рассмотрим изменчивость средних значений на следующем примере

Пример 2: Предложим, что совокупность инвестиционных проектов включает себя только десять проектов. Удорожание стоимости этих проектов составило: 131%, 190%, 201%, 157%, 157%, 155%, 161%, 163%, 146% и 141%.

Средняя арифметическая удорожания стоимости популяции инвестиционных проектов в России будет равна 160.20%. Затем предположим, что у нас недостаточно условий для того, чтобы считать все значения удорожания инвестиционных проектов в популяции, а возможно выбрать множество (10) выборок по пяти случайно выбранных проектов из этой совокупности:

Таблица 3 - Выборочные средние по разным выборкам из популяции

Выборка	Отдельные проекты (наблюдения)					Среднее арифметическое
1	131%	190%	201%	157%	157%	167.2%
2	190%	201%	157%	157%	155%	172%
3	201%	157%	157%	155%	161%	166.2%
4	157%	157%	155%	161%	163%	158.6%
5	157%	155%	161%	163%	146%	156.4%
6	155%	161%	163%	146%	141%	153.2%
7	161%	163%	146%	141%	131%	148.4%
8	163%	146%	141%	131%	190%	154.2%
9	146%	141%	131%	190%	201%	161.8%
10	141%	131%	190%	201%	157%	164%
Средняя арифметическая средних значений						160.2%

Как видно из таблицы 3, по каждой выборке, извлеченной из популяции, получена одна средняя арифметическая, значения средних арифметических являются неравными и находятся в интервале от 148% до 172% и расположены вокруг средней арифметической популяции 160.2%. Средняя из выборочных средних будет равна 160.2%, и равна популяционной (генеральной) средней (160.2%).

Если выберем N выборок из генеральной совокупности (популяции), получим N значений выборочных средних. **Отклонение N значения средних называются стандартной ошибкой.** Стандартное отклонение является мерой изменчивости (разброса) конкретного набора данных. Можно было бы найти стандартное отклонение распределения этих средних, которое измеряет изменчивость или отклонение средних значений выборок (sample averages) от истинной (популяционной или генеральной) средней и называется **стандартное отклонение средних значений** (standard deviation of the means). Стандартная ошибка рассчитывается по следующему образцу:

$$SE = \frac{s}{\sqrt{n}}, \quad (2)$$

где

s – стандартное отклонение;

n – размер выборки.

В учебниках принято использовать термин **стандартной ошибки среднего** (standard error of the mean - SEM). На наш взгляд, более правильно использовать скорректированный термин **«стандартное отклонение средних значений»** (standard deviation of the means) или просто **«стандартная ошибка»** (standard error-SE).

Средняя популяции обозначается латинской буквой μ (предполагаем, что истинное значение средней популяции нам неизвестно), средняя арифметическая выборки – $\bar{x}$, а стандартное отклонение – s. По характерам нормального распределения высказываем что:

- 68% значений в популяции лежит в пределах с $\bar{x} - s$ по $\bar{x} + s$;
- 95% значений в популяции лежит в пределах с $\bar{x} - 1.96*s$ по $\bar{x} + 1.96*s$;
- 99% значений в популяции лежит в пределах с $\bar{x} - 3*s$ по $\bar{x} + 3*s$.

Кроме того, обозначим стандартную ошибку – SE, тогда:

- 68% средней выборочного наблюдения (выборки) из этой популяции лежит в пределах с $\bar{x} - SE$ по $\bar{x} + SE$;
- 95% средней выборочного наблюдения (выборки) из этой популяции лежит в пределах с $\bar{x} - 1.96*SE$ по $\bar{x} + 1.96*SE$;
- 99% средней выборочного наблюдения (выборки) из этой популяции лежит в пределах с $\bar{x} - 3*SE$ по $\bar{x} + 3*SE$.

Стандартное отклонение показывает отклонение значений в популяции, а стандартная ошибка характеризует отклонение средних значений выборок, извлекаемых из этой популяции.

Например, если средняя арифметическая удорожания стоимости популяции инвестиционных проектов в России будет равна 160.2% и стандартное отклонение составляет 21.17%, то это означает, что если случайно выберем один проект из популяции, то с вероятностью 95% это окажется проект, имеющий удорожание в пределах от $160.2\% - 1.96*21.17\% = 118.71\%$ до $160.2\% + 1.96*21.17\% = 201.69\%$.

Если нам неизвестно истинное значение средней арифметической удорожания стоимости инвестиционных проектов в России, представленных в примере 2. Но можем выбрать случайную одну выборку данных по пяти проектов, считаем ее среднюю, стандартное отклонение и стандартную ошибку. Они равны: 167%, 28,2%, 12,61%. Можем сказывать, что с вероятностью 95% среднее арифметическое удорожание стоимости инвестиционных проектов лежат на пределах от $167\% - 1.96*12.61\% = 142.28\%$ до $167\% + 1.96*12.61\% = 191.72\%$.

Таким образом, на практике нужно использовать три основных показателя: размер выборки, среднее арифметическое и стандартное отклонение для того, чтобы описать харак-

теристики исследовательской выборки данных. Использование стандартного отклонения вместо стандартной ошибки является более корректным для описания выборочных данных.

Библиографический список

1. Вьонг Тхи Тхуи Зьонг. Использование метода бутстрэпа для определения удорожания стоимости инвестиционных проектов. // Известия ТулГУ. Экономические и юридические науки. Вып. 4: в 2 ч. Ч. 1 Тула: изд-во ТулГУ, 2016. с. 91-99;
2. Richard Dicker, Nancy Gathany, Pat Anderson, Betty Segal, Stephen Smith, Philip Thompson. Principles of Epidemiology. An Introduction to Applied Epidemiology and Biostatistics. Second edition. SelfStudy Course 3030-G CDC.- US Department of Health & Human Services, 1992 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://pubhealth.spb.ru/EpidD/>;
3. Nguyễn Văn Tuấn. Độ lệch chuẩn hay sai số chuẩn. Nghiên cứu Y khoa Lâm sàng thống kê [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.ykhoa.net/baigiang/lamsangthongke/lstk01_SDhaySE.pdf.

УДК. 531.17; ГРНТИ 59.31.31

ЧИСЛЕННЫЙ МЕТОД В УПРАВЛЯЕМОСТИ В МАЛОМ ГИРОСКОПИЧЕСКИХ СИСТЕМ

К. М. Ву

*Рязанский государственный радиотехнический университет,
Россия, Рязань, vuquangminh2631990@gmail.com*

Аннотация. В данной работе исследована управляемость «в малом» на линейной математической модели, описывающей динамику осцилляторного микромеханического гироскопа с чувствительным резонатором в виде упругих пластин при ограничениях на консольные закрепления пластин в режиме вынужденных колебаний при медленном изменении собственной частоты колебаний, угловой скорости вращения основания, амплитуды и частоты внешнего воздействия. Проведены модельные эксперименты, иллюстрирующие теоретические расчеты.

Ключевые слова: микромеханический гироскоп, линейная математическая модель, дифференциальные уравнения, управляемость в «малом».

CONTROLLABILITY IN SMALL IN PROBLEMS OF DYNAMICS OF A MICROMECHANICAL GYROSCOPE

К. М. Ву

*Ryazan state radioengineering university,
Russia, Ryazan, vuquangminh2631990@gmail.com*

Abstract. The aim of work is studying controllability in the «small» for linear systems, describing the dynamics of the oscillator micromechanical gyroscope with sensing resonator in the form of elastic plates with the boundary condition cantilevered plates in the forced oscillation mode at a slow change in the natural frequency of oscillation, the angular velocity of the base, the amplitude and frequency of external influence. Model experiments illustrate theoretical calculations.

Keyword: micromechanical gyroscope, forced linear oscillation, differential equations, controllability in the «small».

1. Введение

В настоящее время в различных технических системах большое распространение получили микромеханические гироскопы – одноосные вибрационные механизмы, изготовленные на базе кремниевых технологий. Такие гироскопы являются одной из составных частей микроэлектромеханических систем, которые включают в себя электрические и механические электронные компоненты.

Технические преимущества микромеханических гироскопов, как то, простота конструкции, малый вес, малые габаритные размеры, низкое энергопотребление, отсутствие вращающихся частей расширяют сферу их применения и диктуют новые условия к методам управления такими системами.

В частности, практика затребовала, чтобы при управлении такими системами нельзя было бы выходить за известные пределы области управляемости. Под такие задачи в работах представителей школы теории устойчивости и управления академика Е.А. Барбашина были

созданы новые математические методы управления – теория управляемости (или достижимости цели, что есть синонимы) «в малом» (см., к примеру, [1-5]). Однако частные случаи и прикладные аспекты таких задач остались открытыми.

Такому анализу частного, «технического» случая управляемости «в малом» применительно к интенсивно развивающемуся направлению эксплуатации микромеханических гироскопов [6] и посвящена предлагаемая работа.

На основе теоретического исследования проанализировать динамику осцилляторного вибрационного микромеханического гироскопа с резонатором в виде упругих пластин и указать технические условия функционирования и управляемости гироскопом «в малом».

2. Теоретическая часть

Рассмотрим динамику микромеханического гироскопа с резонатором в виде четырех упругих пластин при линейной постановке задачи. Гироскоп находится на некоем основании. Резонатор совершает периодическое движение при действии электростатической системы управления. Предположим, что характерная частота собственных колебаний чувствительного элемента ω большая по сравнению с угловой скоростью основания Ω . a и b – геометрические размеры прямоугольных пластин.

Рассмотрим гироскоп при следующем граничном условии для пластин – консольное закрепление пластин (см. рисунок 1).

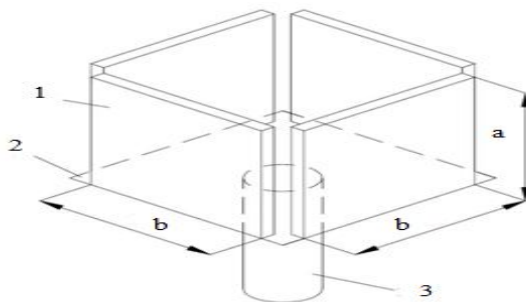


Рис. 1. Конструктивная схема микромеханического гироскопа в случае консольного закрепления пластин

Решение задачи по анализу управляемости «в малом» для линейной задачи динамики гироскопа проведем известными (и рекомендованными) методами качественной теории дифференциальных уравнений [1-5], динамики, в которой для описания вынужденных колебаний чувствительного элемента в случае медленно меняющихся условий функционирования используем следующую систему дифференциальных уравнений для обобщенных координат систем [6]:

$$\begin{aligned} \ddot{x} + \omega^2 x &= -2\gamma \dot{x} + \mu \dot{y} + A \sin \sigma, \\ \ddot{y} + \omega^2 y &= -2\gamma \dot{y} - \mu \dot{x}, \end{aligned} \quad (1)$$

где A – амплитуда внешнего воздействия;
 σ – фаза внешнего воздействия;
 y – угол поворота рамки относительно основания гироскопа;
 γ – коэффициент вязкого трения;
 $\mu = 2\sqrt{b_1 b_2} \Omega$,
 b_1, b_2 – постоянные коэффициенты.

В резонансном режиме работы гироскопа решение системы (1), как показано в работе [6], можно будет записать в следующем виде:

$$\begin{aligned} x &= m_1 \sin \sigma + n_1 \cos \sigma, \\ y &= m_2 \sin \sigma + n_2 \cos \sigma. \end{aligned}$$

Здесь m_1, n_1, m_2, n_2 – некоторые медленно меняющиеся параметры. Для понимания дальнейших результатов автора, воспользуемся несложными преобразованиями работы [6] и получим систему дифференциальных уравнений для медленно меняющихся переменных m_1, m_2, n_1, n_2 :

$$\begin{aligned}\frac{dm_1}{dt} + \frac{1}{2}\left(\frac{1}{\omega}\frac{d\omega}{dt} + 2\gamma\right)m_1 + \nu n_1 - \frac{\mu}{2}m_2 &= 0, \\ \frac{dm_2}{dt} + \frac{1}{2}\left(\frac{1}{\omega}\frac{d\omega}{dt} + 2\gamma\right)m_2 + \nu n_2 + \frac{\mu}{2}m_1 &= 0, \\ \frac{dn_1}{dt} + \frac{1}{2}\left(\frac{1}{\omega}\frac{d\omega}{dt} + 2\gamma\right)n_1 - \nu m_1 - \frac{\mu}{2}n_2 &= -\tilde{A}_0, \\ \frac{dn_2}{dt} + \frac{1}{2}\left(\frac{1}{\omega}\frac{d\omega}{dt} + 2\gamma\right)n_2 - \nu m_2 + \frac{\mu}{2}n_1 &= 0,\end{aligned}\tag{2}$$

где $\tilde{A}_0 = \frac{A}{2\omega}, \nu = \omega - \omega_B, (|\nu| \ll \omega)$.

Для целей работы введем две комплексные функции уже комплексных медленно меняющихся переменных:

$$\begin{aligned}z_1 &= m_1 + in_1, \\ z_2 &= m_2 + in_2.\end{aligned}$$

Получим систему дифференциальных уравнений, равносильную системе (2), в новых переменных z_1, z_2 :

$$\begin{aligned}\frac{dz_1}{dt} &= -\frac{1}{2}\left(\frac{1}{\omega}\frac{d\omega}{dt} + 2\gamma\right)z_1 + i\nu z_1 + \frac{\mu}{2}z_2 - i\tilde{A}_0, \\ \frac{dz_2}{dt} &= -\frac{\mu}{2}z_1 - \frac{1}{2}\left(\frac{1}{\omega}\frac{d\omega}{dt} + 2\gamma\right)z_2 + i\nu z_2.\end{aligned}$$

Или в матричной форме:

$$\frac{dz}{dt} = \mathbf{A}z + \mathbf{u},\tag{3}$$

где обозначения естественны:

$$\begin{aligned}\mathbf{A} &= \begin{bmatrix} -\frac{1}{2}\left(\frac{1}{\omega}\frac{d\omega}{dt} + 2\gamma\right) + i\nu & \frac{\mu}{2} \\ -\frac{\mu}{2} & -\frac{1}{2}\left(\frac{1}{\omega}\frac{d\omega}{dt} + 2\gamma\right) + i\nu \end{bmatrix} = \\ &= \begin{bmatrix} -\gamma + i\nu & \frac{\mu}{2} \\ -\frac{\mu}{2} & -\gamma + i\nu \end{bmatrix}, \mathbf{z} = \begin{bmatrix} z_1 \\ z_2 \end{bmatrix}, \mathbf{u} = \begin{bmatrix} -i\tilde{A}_0 \\ 0 \end{bmatrix},\end{aligned}$$

$-1 \leq \mathbf{u} \leq 1$ – классический вектор управления.

Нетрудно видеть, что начало координат является особым решением системы (3) при нулевом векторе управления и других особых решений система (3) не имеет.

Это означает (ввиду общей теории [5]), что вопрос управляемости «в малом» в полученной линейной задаче анализа динамики механического гироскопа в случае вынужденных колебаний чувствительного элемента сводится к задаче исследования достижимости начала координат при определенном переключении управления в системе (3).

Для более полного понимания результата и удобства его восприятия приведем основные определения теории управляемости «в малом», почерпнутые из работы [5], адаптируя эти «общие» определения под нашу конкретную задачу.

Рассмотрим систему двух линейных дифференциальных уравнений с постоянными коэффициентами и с управлением, зависящим от времени:

$$\frac{dx}{dt} = Ax + vu, \quad (4)$$

где x – вектор функций с двумя компонентами (координатами) $\xi = \xi(t)$ и $\eta = \eta(t)$, зависящими

от времени t , $A = \begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix}$ – постоянная матрица, $v(t)$ – допустимое скалярное управление, удовлетворяющее условию: в любой момент времени $-1 \leq v \leq 1$, u – заданный постоянный двумерный вектор, физически описывающий величину максимального управления на объект в заданном направлении.

В работах [4, 5] доказано, что применительно к рассматриваемой задаче, для того чтобы начало координат было достижимо «в малом» для системы (3), необходимо и достаточно, чтобы число $k = u_2/u_1$ не являлось бы корнем квадратного уравнения

$$bz^2 + (a-d)z - c = 0. \quad (5)$$

Далее. Как сказано выше, для того чтобы исследовать управляемость «в малом» при линейной постановке задачи динамики механического гироскопа в случае вынужденных колебаний чувствительного элемента, необходимо рассматривать управляемость «в малом» для (3).

В рассматриваемом случае управления микромеханическим гироскопом в соответствии с основополагающей работой [6] коэффициенты $a=d$; $k = u_2/u_1$, поэтому уравнение (5) в данном случае примет вид:

$$\mu z^2 + \mu = 0, \quad (6)$$

где $\mu = 2\sqrt{b_1 b_2} \Omega$, b_1, b_2, Ω – некоторые параметры гироскопа [6].

Для рассматриваемого в нашей работе граничного условия консольного закрепления пластин гироскопа $b_1=1.566$, $b_2=0.392\rho h^3/J$, где ρ, h, J – некоторые характеристики гироскопа, а параметры a и b определены нами ранее.

Нетрудно видеть, что $\mu = 0$ при $\Omega = 0$. К тому же, очевидно, если $z = 0$ является корнем уравнения (6), то $\mu = 0$.

Имея в виду только что доказанные теоремы, последнее означает, что, во-первых, при неподвижном основании (в силу работы [6], когда параметр $\mu = 0$) достижимости «в малом» начала координат для системы (4) не существует; во-вторых, при подвижном основании (когда параметр $\mu \neq 0$) гироскоп управляем «в малом».

3. Экспериментальные исследования

Рассмотрим осцилляторный вибрационный гироскоп при медленном изменении частоты вынуждающей силы с следующими параметрами (данные взяты из работы [6]): $a=b=10$ мм и толщиной $h=1$ мм, плотностью материала $\rho=2201$ кг/м³, $\omega=\omega_0=60000$ рад/с, $\mu=25$ рад/с, $\gamma=\dot{A}=120$ 1/с.

Компьютерное моделирование выполнялось в математическом приложении Mathcad.

Закон изменения частоты вынуждающей силы имеет следующий вид:

$\omega = \omega_0(0.95 + \sigma_0 t)$. Здесь $\sigma_0 = 2.4 \times 10^{-6} \text{сек}^{-1}$. На рисунках 2 и 3 приведены амплитудно-частотные характеристики для амплитуды колебаний A по первой обобщенной координате и амплитуды колебаний B по второй обобщенной координате. Штриховой линией на графиках изображены амплитудно-частотные характеристики при стационарном режиме. Выражения

для амплитуд колебаний резонатора по двум обобщенным координатам имеют следующие виды:

$$A = \frac{A_0 \sqrt{\nu^2 + \gamma^2}}{W}; \quad B = \frac{A_0 \mu}{2W},$$

где $W^2 = (\nu^2 + \mu\nu + \gamma^2 + \mu^2/4)(\nu^2 - \mu\nu + \gamma^2 + \mu^2/4)$.

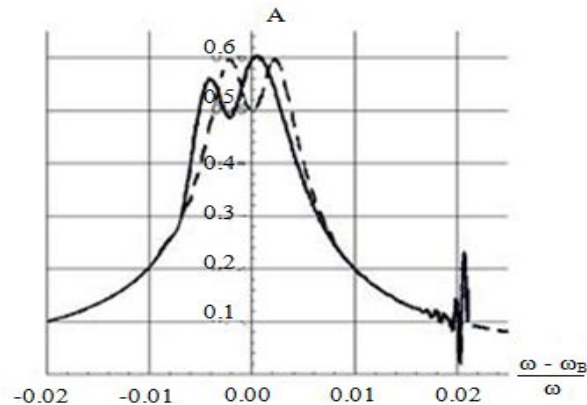


Рис. 2. АЧХ колебаний по первой обобщенной координате [штриховая линия - стационарный режим, сплошная линия – в случае $\omega = \omega_0 (0.95 + \sigma_0 t)$]

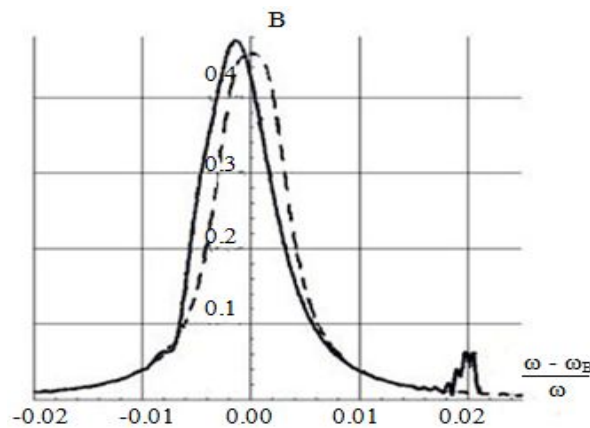


Рис. 3. АЧХ колебаний по второй обобщенной координате [штриховая линия - стационарный режим, сплошная линия – в случае $\omega = \omega_0 (0.95 + \sigma_0 t)$]

Из рисунков 2, 3 можно сделать следующие выводы:

1. При вынужденных линейных колебаниях микромеханического гироскопа наличие угловой скорости основания приводит к разделению собственной частоты на две близкие частоты. По сравнению со стационарной кривой медленное изменение частоты вынуждающей силы приводит к изменению абсолютной величины максимума амплитуд. Отметим, что резонансные пики существенно смещены относительно пиков стационарной кривой.

2. При медленно меняющейся частоте вынуждающей силы вблизи резонанса существует точка, где амплитуды совпадают со стационарными значениями, следовательно, для измерения угловой скорости основания можно использовать формулу $\mu = \frac{2B\sqrt{\nu^2 + \gamma^2}}{A}$. Этому соответствует значение относительной частоты расстройки $\omega - \omega_B = 0.001$, а максимальное значение ошибки вблизи резонанса составляет 50%.

Выводы

В статье исследовался вопрос управляемости «в малом» для линейных систем в задаче анализа динамики осцилляторного вибрационного механического гироскопа.

Доказано, что при неподвижном основании область достижимости начала координат для системы (4) не существует, а при подвижном основании гироскоп управляем «в малом».

Доказано, что на неподвижном основании отношение амплитуд A и B пропорционально угловой скорости основания и, следовательно, гироскоп является датчиком угловой скорости.

Библиографический список

1. Миронов В. В., Митрохин Ю. С. Устойчивость систем автоматического управления с переменной структурой // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. 1999. № 6. С. 37-40.
2. Миронов В. В., Митрохин Ю. С. Задача об управляемости систем оптимального регулирования и методы ее решения // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. 2000. № 7. С. 57-64.
3. Миронова К. В., Корячко В. П. Достижимость цели в малом для плоского управляемого движения космического аппарата // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. 2015. № 51. С. 89-95.
4. Ешуков Л. Н., Карасев И. П. О достижимости в малом для систем оптимального регулирования второго порядка // Тематический сборник статей по дифференциальным уравнениям. Рязань: РПТИ, 1968.
5. Миронов В. В., Северцев Н. А. Методы анализа устойчивости систем и управляемости движением // ВЦ РАН.– М.: Изд-во РУДН, 2002. 165с.
6. Сбытова Е. С. Динамика микромеханического гироскопа с резонатором в виде упругих пластин // Диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук. Москва: Национальный исследовательский университет 'Московский Энергетический Институт', 2014.

УДК 519.254; ГРНТИ 27.43.51

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ СТОМАТОЛОГИЧЕСКОГО КАБИНЕТА

И.С. Маркова*, О.А. Назарова*, Д.А. Марков**

** Рязанский государственный медицинский университет,*

Россия, Рязань, imarkova70@gmail.com, punek12@mail.ru,

*** Филиал «Макрорегион Центр» ООО ИК «СИБИНТЕК», РЦ в г. Рязани,*

Россия, Рязань, aalf@rambler.ru

Аннотация. Рассматриваются теоретические основы СМО и пример ее использования для моделирования работы стоматологического кабинета. Имитационное моделирование и получение результата проведены с помощью специализированного программного средства.

Ключевые слова: моделирование, имитационное моделирование, системы массового обслуживания, СМО, теория массового обслуживания, очередь, обслуживающий аппарат.

SIMULATION OF WORK DENTAL OFFICE

I.S. Markova*, O.A. Nazarova*, DA Markov**

** Ryazan State Medical University,*

Ryazan, Russia, imarkova70@gmail.com, punek12@mail.ru,

*** "Macroregion Center" LLC IC "Sibintek", RC Ryazan,*

Ryazan, Russia, aalf@rambler.ru

Abstract. The theoretical foundations of the QS and an example of its use for simulating the operation of the dental office. Simulation and results-conducted with the help of specialized software tools.

Keywords: modeling, simulation, queuing systems, queuing, queuing theory, and foremost, the service unit.

Важную часть теории управления производством составляет теория массового обслуживания (ТМО), иногда называемая теорией очередей. В терминах систем массового обслуживания (СМО) описываются многие реальные системы: аптеки, склады и базы, менеджмент продаж, вычислительные системы, магазины, производственные участки, то есть любые системы, где возможны очереди и/или отказы в обслуживании.

В рамках данной статьи рассматривается применение СМО для имитационного моделирования работы небольшого медицинского учреждения, на примере стоматологического

кабинета. Такой вид медицинских учреждений стал достаточно распространен. Обычно они располагаются в цокольных этажах зданий и представляют собой практически квартиру, состоящую из комнаты – стойки регистратуры, и стоматологического кабинета, где ведет прием специалист – стоматолог. Стоматолог, который занимается протезированием, обычно работает в отдельном кабинете. Моделирование работы такого вида лечебных учреждений представляет наибольший интерес, так как с экономической точки зрения такие заведения наиболее уязвимы по сравнению с крупными сетевыми клиниками. В своей работе они пытаются найти оптимальную загрузку для врачей - стоматологов. Например, вместо одного врача можно нанять еще двух, однако вопрос экономической эффективности их труда останется открытым. Но также нельзя допускать и скопления в очереди клиентов. Длина очереди играет важную роль: если очередь длинная, то пациент просто не захочет долго ждать приема и может обратиться в другую клинику. Таким образом, клиника теряет клиента и не получит возможную прибыль.

Теория массового обслуживания связана с разработкой и анализом математических (абстрактных) моделей, для которых совершенно не важна природа обслуживаемых объектов и их физические свойства. Объекты, поступающие на вход обслуживающего аппарата, образуют очередь на входе. Существенным являются моменты появления этих объектов, правила и математические законы их обслуживания, так как от них зависит адекватное отображение эволюции моделируемого объекта во времени [1].

Целью использования систем массового обслуживания как моделей является анализ качества функционирования указанных систем-оригиналов и выработка рекомендаций по совершенствованию их работы в тех или иных условиях.

Основной задачей ТМО является установление зависимости между характеристиками СМО, организацией обслуживания и эффективностью функционирования системы, оцениваемой некоторыми количественными показателями, чаще всего, вероятностью обслуживания заявки. ТМО позволяет исследовать закономерности протекающих в СМО процессов и вырабатывать рекомендации для обоснования решений на их применение. С помощью ТМО можно определить оптимальное количество сотрудников стоматологического кабинета, установить минимально необходимое количество рабочих мест врачей - стоматологов, оценить эффективность их работы.

Сформулируем словесное описание имитационной модели. Пусть СМО имеет два последовательных устройства обслуживания (А и Б) и обслуживает два типа требований (1 и 2). Пусть тип требования 1 – Лечение зубов, тип 2 – Протезирование. В нашем случае устройство А – кабинет врача стоматолога, устройство Б – кабинет стоматолога-протезиста. Тип требования определяется немедленно при его поступлении. Поступившее требование имеет тип 1 с вероятностью 0,6. Тем не менее, оно может не присоединиться к очереди, то есть покинуть систему, если очередь к устройству А слишком длинная. В частности, если требование поступает, когда в очереди к устройству А находится t ($t > 0$) требований, оно присоединяется к очереди с вероятностью $1/(m + 1)$ независимо от типа требования (1 или 2). Например, требование, поступившее, когда в очереди к устройству А нет других требований (то есть $t = 0$), наверняка останется в системе (вероятность поступления $1/(0 + 1) = 1$). Требование, поступившее в момент, когда в очереди к устройству А находится пять других требований, останется в системе с вероятностью $1/6$. Все требования обслуживаются устройством А. Если в момент поступления требования устройство А занято, оно присоединяется к очереди с дисциплиной обслуживания FIFO. После завершения обслуживания устройством А требования типа 1 покидают систему, в то время как требования типа 2 еще должны пройти обслуживание устройством Б. Если устройство Б занято, требования типа 2 ожидают в очереди с дисциплиной обслуживания FIFO. Необходимо вычислить:

- среднее общее время нахождения требований каждого типа в системе;
- долю требований, не присоединившихся к очереди;
- среднюю по времени и максимальную длину каждой очереди;
- коэффициент занятости обоих устройств.

Допустим, что все интервалы между поступлениями и время обслуживания распределены экспоненциально со следующими параметрами [2]:

- среднее время между поступлениями (для любого типа требований) составляет 1 час;
- среднее время обслуживания устройством А (независимо от типа требования) составляет 0,8 часа;
- среднее время обслуживания устройством Б составляет 1,2 часа [3].

Изначально в системе нет требований и устройства свободны. Чтобы получить достоверные данные, прогоны модели должны выполняться, пока 1000 требований (любого типа) не покинет систему.

Рассмотрим также необходимость увеличения числа обслуживающих устройств двух типов, а именно, количества кабинетов врачей – стоматологов. На рисунке 1 представлена модель для рассматриваемой задачи:

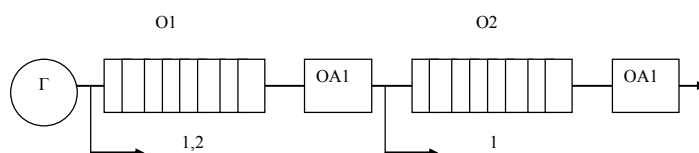


Рис 1. Вид модели

Для проведения моделирования авторами статьи было разработано программное средство «СМО». Экранная форма приведена на рисунке 2.

Рис. 2. Главная форма программного средства

После нажатия кнопки «Моделировать» или выбора соответствующего пункта главного меню, программа выполнит указанные циклы - прогоны системы и сформирует соответствующие результаты, как показано на рисунке 3.

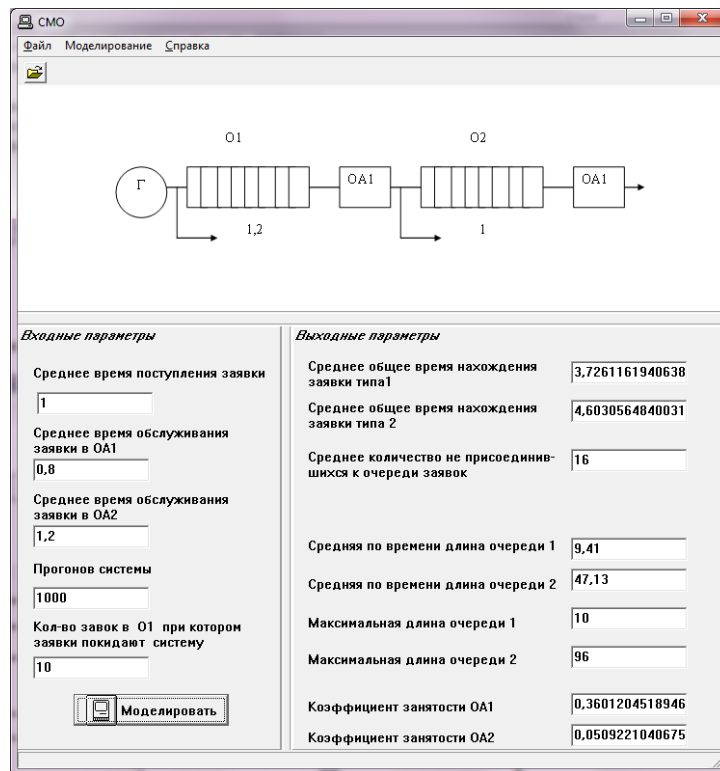


Рис. 3. Результаты моделирования

Также для каждого цикла моделирования программа формирует список параметров, представленных на рисунке 4.

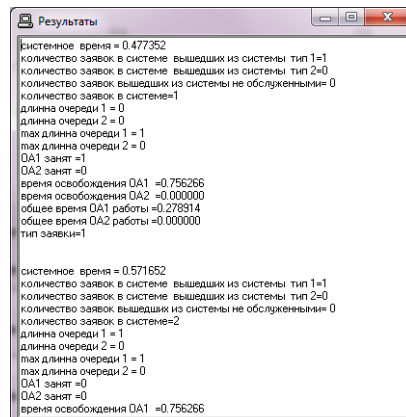


Рис 4. Отчет по результатам моделирования

Выводы

Анализируя полученные результаты, можно сделать вывод о том, что при имеющихся начальных исходных данных для OA1 (стоматолог) средняя длина очереди составит 10 человек, для OA2 (стоматолог-протезист) – 50 человек. Как показывает практика, очередь на протезирование в стоматологии всегда больше, чем на лечение. Поэтому можно рекомендовать данному лечебному учреждению увеличить количество кабинетов стоматологов-протезистов для сокращения очередей.

Разработанное программное средство планируется использовать в учебном процессе для студентов 1 курса стоматологического факультета РязГМУ в рамках изучения дисциплины «Медицинская информатика» [4, 5].

Библиографический список

1. Zubov N.N. Математические методы и модели в фармацевтической науке и практике: руководство для провизоров и руководителей фармацевтических предприятий (организаций) / Н.Н. Zubov, С.З. Умаров, С.А. Бунин. - СПб.: Изд-во Политех. ун-та, 2008. - 249 с.

2. Маркова И.С., Марков Д.А. Применение программного средства «Бета-распределение» в учебном процессе. Математические методы в технике и технологиях – ММТТ-29 [текст]: сб. трудов XXIX Междунар. науч. конф.: в 12 т. Т.3. / под общ. ред. А.А. Большакова. – Саратов: Саратов. гос. техн. ун-т; Санкт-Петербург: СПбГТИ(ТУ), СПбПУ, СПИИРАН; Самара: Самарск. гос. техн. ун-т, 2016. – 242 с. стр. 189-193.
3. Шмонова М.А. Информационные технологии в организации профессионально направленного преподавания математических дисциплин в медицинском вузе. Сборник материалов докладов XXVIII Всероссийской научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов «Биотехнические, медицинские и экологические системы и комплексы» (Биомедсистемы – 2015) – Рязань : Рязанский государственный радиотехнический университет, 2015. с. 165–169.
4. Сивиркина А.С., Дмитриева М.Н. Компьютерные технологии в обучении студентов математической статистике. Актуальные вопросы экономики, права и образования в XXI веке Материалы II международной научно-практической конференции . – [Электронное издание]. Ответственный редактор И.А. Тихонова, А.А. Цененко; Московский университет им. С.Ю. Витте; Филиал Московского университета им. С.Ю. Витте в г. Рязани. 2016. С. 76-78.
5. Дмитриева М.Н., Сивиркина А.С., Авачёва Т.Г. Организация научно-исследовательской работы студентов в медвузе на кафедре математики, физики и медицинской информатики. Материалы ежегодной научной конференции рязанского государственного медицинского университета имени академика И.П. Павлова, 2016. С. 151-154.

УДК 537.634+53.06; ГРНТИ 27.33.17

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ

М.Е. Ильин

*Рязанский государственный радиотехнический университет,
Россия, Рязань, ilyin.ime@yandex.ru*

Аннотация. Приводятся результаты исследования движения управляемой механической системой в магнитном поле. Рассмотрен метод построения управления, при котором принципиально реализуем заданный закон движения, приведены результаты численного моделирования.

Ключевые слова: магнитное поле, интегральное и операторное уравнения, обратная задача, движение по заданному закону.

MATHEMATICAL MODEL OPERATION OF ELECTROMECHANICAL SYSTEM

M. E. Ilyin

*Ryazan state radio engineering University,
Russia, Ryazan, ilyin.ime@yandex.ru*

Abstract. The results of the investigation of the motion of controlled mechanical system in a magnetic field. The method of building management, which essentially implement a given law of motion, the results of numerical simulation.

Keywords: magnetic field, integral and operator equations, inverse problem, traffic on a given law.

В настоящей работе изучается принципиальная возможность управления механическим перемещением электромагнитной системы массой m , состоящей из проводника длиной l_Σ , включённого в состав замкнутой электрической цепи с активным сопротивлением R и индуктивностью L . Сам проводник помещён в магнитное поле с индукцией $\vec{B}$. В электрической цепи действует источник напряжения $U(t)$, посредством которого предполагается навязать системе требуемый закон движения. Будем придерживаться квазистационарного приближения: время установления мгновенных значений напряжения и тока значительно меньше временного интервала, на котором исследуется поведение модели.

При пропускании тока $\vec{I}$ через проводник элементарной длины $d\vec{l}$ в магнитном поле на него действует сила Ампера $d\vec{F}_A \sim I[d\vec{l}, \vec{B}]$. С другой стороны, во всяком движущемся, относительно магнитного поля, проводнике возбуждается разность потенциалов (напряжённость электрического поля) $d\vec{F}_L \sim dl[\vec{v}, \vec{B}]$. Если электрический контур замкнут, то возникает и наведённый электрический ток, направление которого определяется правилом Ленца. Эти соображения позволяют записать два основных уравнения, объясняющих поведение та-

кой системы в магнитном поле. Первое уравнение – правило Кирхгофа или закон сохранения заряда. В правой части уравнения сумма падений напряжений на всех участках замкнутой электрической цепи. В левой части – сумма напряжений, включённых в эту цепь: управляющего и наведённого

$$L \frac{d\bar{I}}{dt} + R\bar{I} = \bar{E}_u + \bar{E}_l.$$

Второе уравнение – второй закон Ньютона. В левой части – ускорение, приобретаемое системой и умноженное на массу. В правой – сумма всех сил, приложенных к рассматриваемой электромеханической системе (силами трения пренебрегаем)

$$m \frac{d^2 \bar{r}}{dt^2} = m\bar{g} + l_\Sigma [\bar{I}, \bar{B}].$$

Доопределим неизвестные системы ещё одной величиной $\bar{v} = \frac{d\bar{r}}{dt}$ – скоростью. Введём в пространстве декартову прямоугольную систему координат и выберем следующую геометрию изучаемой системы: прямолинейный проводник с током направим по оси Ox , напряженность магнитного поля по оси Oy , механическое перемещение по оси Oz . При этом векторные величины уравнений направлены взаимно перпендикулярно, имеют только одну координату отличную от нуля, и векторная система уравнений сводится к задаче Коши для линейной системе обыкновенных дифференциальных уравнений при некоторых начальных условиях

$$\frac{dY(t)}{dt} + AY(t) = F(t) \Leftrightarrow \begin{cases} \frac{dI(t)}{dt} + \frac{R}{L}I(t) + \frac{Bl_\Sigma}{L}v(t) = \frac{U(t)}{L}, \\ \frac{dz(t)}{dt} - v(t) = 0, \\ \frac{dv(t)}{dt} - \frac{Bl_\Sigma}{m}I(t) = -g. \end{cases} \quad 1)$$

Где матрица A и вектор $F(t)$ определены выражениями $A = \begin{pmatrix} \frac{R}{L} & 0 & \frac{Bl_\Sigma}{L} \\ 0 & 0 & -1 \\ -\frac{Bl_\Sigma}{m} & 0 & 0 \end{pmatrix}$, $F(t) = \begin{pmatrix} \frac{U(t)}{L} \\ 0 \\ -g \end{pmatrix}$.

Решение этой системы, зависящее от напряжения $U(t)$, имеет вид [1]

$$Y(t; U(t)) = \begin{pmatrix} I(t; U(t)) \\ z(t; U(t)) \\ v(t; U(t)) \end{pmatrix} = K(t, 0)Y^0 + \int_0^t K(t, \tau)F(\tau)d\tau,$$

с известной импульсной матрицей $K(t, \tau)$. Теперь, если $z_e(t)$ – закон перемещения системы, то задача поиска управления $U(t)$ формулируется в виде, интегрального уравнения Вольтерра первого рода

$$K_{21}(t, 0)I^0 + K_{22}(t, 0)z^0 + K_{23}(t, 0)v^0 + \int_0^t \left(K_{21}(t, \tau) \frac{U(\tau)}{L} - K_{23}(t, \tau)g \right) d\tau = z_e(t), \quad 2)$$

или его операторного аналога $\mathcal{A}_z(U(t)) = z_e(t)$. Для остальных двух компонент (1), определяемых после решения (2), получаем $I(t) = \mathcal{A}_I(U(t))$ и $v(t) = \mathcal{A}_v(U(t))$. Трудности, возникающие в процессе решения уравнения (2) известны [2]: отсутствие решения для произвольной правой части и его неустойчивость относительно параметров модели. Существует и ещё одна особенность исследуемой модели, которая отличает её от традиционных моделей обратных задач: сам закон движения $z_e(t)$ только частично определён технологической формулировкой задачи.

Пусть один из законом перемещения (рабочий или прямой ход) описывается следующим образом. В начальный момент времени система находится в начале координат, имеет некоторую начальную скорость v^0 . Необходимо к фиксированному моменту времени t_0 переместить систему на заданное расстояние z_0 , таким образом, чтобы её скорость в этот момент времени $\frac{dz(t_0)}{dt}$ была наибольшей. Тогда приходим к следующей экстремальной задаче

$$U: \mathcal{A}_z(U(t_0)) = z_0; \mathcal{A}_v(U(t_0)) \Rightarrow \max, \quad (3)$$

управления технологическим процессом. Эта система интегральных уравнений Фредгольма первого рода, которая требует привлечения методов решения обратных некорректных задач: сужение множества допустимых решений до компакта [4] для выделения единственного решения $U(t)$.

Обратим внимание на структуру системы уравнений (1). Если априори известен некоторый закон перемещения $z_e(t) = \varphi(t)$, то, подставив его во второе уравнение системы, определим величину тока

$$I(t) = \frac{m(\varphi''(t) + g)}{Bl_\Sigma}.$$

Теперь из первого уравнения системы получаем искомую величину управляющего напряжения в цепи

$$U(t) = \frac{m(L\varphi'''(t) + R(\varphi''(t) + g)) + (Bl_\Sigma)^2 \varphi'(t)}{Bl_\Sigma}.$$

Конечно, при таком подходе начальные условия уже будут определяться функцией $\varphi(t)$. Воспользуемся этим приёмом, чтобы подобрать требуемое управляющее напряжение. Функций, удовлетворяющих требуемым условиям, достаточно много. Выберем, например, такую (решение экстремальной задачи (3) ищется на множестве всех многочленов третьего порядка)

$$\varphi(t) = -v_0 t - \frac{1}{2} a t^2 - \frac{1}{6} b t^3, \quad (4)$$

в которой коэффициенты v_0, a, b – некоторые числовые величины, требующие своего уточнения (знаки выбраны, исходя из удобства истолкования результатов). Для ограничения множества поиска искомого управления (3) воспользуемся требованиями, которые налагаются на коэффициенты (4) прикладной постановкой задачи.

Во-первых, к моменту времени t_0 система сместится на расстояние $\varphi(t_0) = -z_0$. Во-вторых, это отсутствие возвратных движений и остановок. С точки зрения закона движения это означает, что функция $\varphi(t)$ должна быть на отрезке $[0, t_0]$ строго монотонной. В-третьих, монотонное возрастание скорости перемещения. Недопустимы интервалы не только изменения направления скорости, но и её уменьшения. С точки зрения свойств функции это означает, что функция $\varphi(t)$ на отрезке $[0, t_0]$ должна быть дифференцируемой, иметь дифференцируемую производную отрицательного знака, и эта производная убывает. Таким требованиям заведомо обладает функция (4) при $v_0 \geq 0, a \geq 0, a + b t_0 \geq 0$. Если начальная скорость $-v_0$ задана, то для определения двух величин a и b необходимы два уравнения. Одно из них – это заданная величина перемещения в конечный момент времени. Условие минимизации (максимизации по модулю) скорости в конечной точке использовать нельзя, поскольку оно учтено при выборе параметров уравнения перемещения. Поэтому мы введём ограничение величину управляющего напряжения

$$U(t) = \frac{m(-Lb - R(a + bt) + Rg) + (Bl_\Sigma)^2 \left(-v_0 - at - \frac{1}{2} b t^2\right)}{Bl_\Sigma}$$

в момент времени t_0 (монотонность по времени гарантирует, что максимальное значение достигается именно в этот момент времени). Для определения неизвестных величин получим алгебраическую систему

$$\begin{cases} -v_0 t_0 - \frac{1}{2} a t_0^2 - \frac{1}{6} b t_0^3 = -z_0, \\ \frac{m(-Lb - R(a + b t_0) + Rg) + (Bl_\Sigma)^2 \left(-v_0 - a t_0 - \frac{1}{2} b t_0^2\right)}{Bl_\Sigma} > -U_m. \end{cases}$$

Из первого уравнения определяем параметр $b = \frac{6z_0 - 6v_0 t_0 - 3a t_0^2}{t_0^3}$, подставляем во второе, что приводит к неравенству

$$\begin{aligned} \left(\frac{(Bl_\Sigma)^2 t_0}{2} + 2Rm + \frac{3Lm}{t_0} \right) a + m \left(Rg + 6 \frac{L(v_0 t_0 - z_0) + R(v_0 t_0 - z_0) t_0}{t_0^3} \right) \\ + (Bl_\Sigma)^2 \left(2v_0 - \frac{3z_0}{t_0} \right) > -U_m, \end{aligned}$$

из которого определяется параметр a , а затем и обратной подстановкой - параметр b .

Рассмотрим численную реализацию приведённой методики расчёта механического перемещения. Для моделирования были использованы следующие параметры $m = 120 \text{ кг}$, $L = 0.3 \text{ Гн}$, $R = 8.125 \cdot 10^{-3} \text{ Ом}$, $B = 0.3 \text{ Тл}$, $l_\Sigma = 1568.28 \text{ м}$, $t_0 = 0.1 \text{ с}$, $v_0 = 0.09 \text{ м/с}$. Синтезированный закон движения, определяется выражением (см. рис. 1)

$$z(t) = -0.09 \cdot t - \frac{1}{2} 94.546 \cdot t^2 + \frac{1}{6} 490.364 \cdot t^3.$$

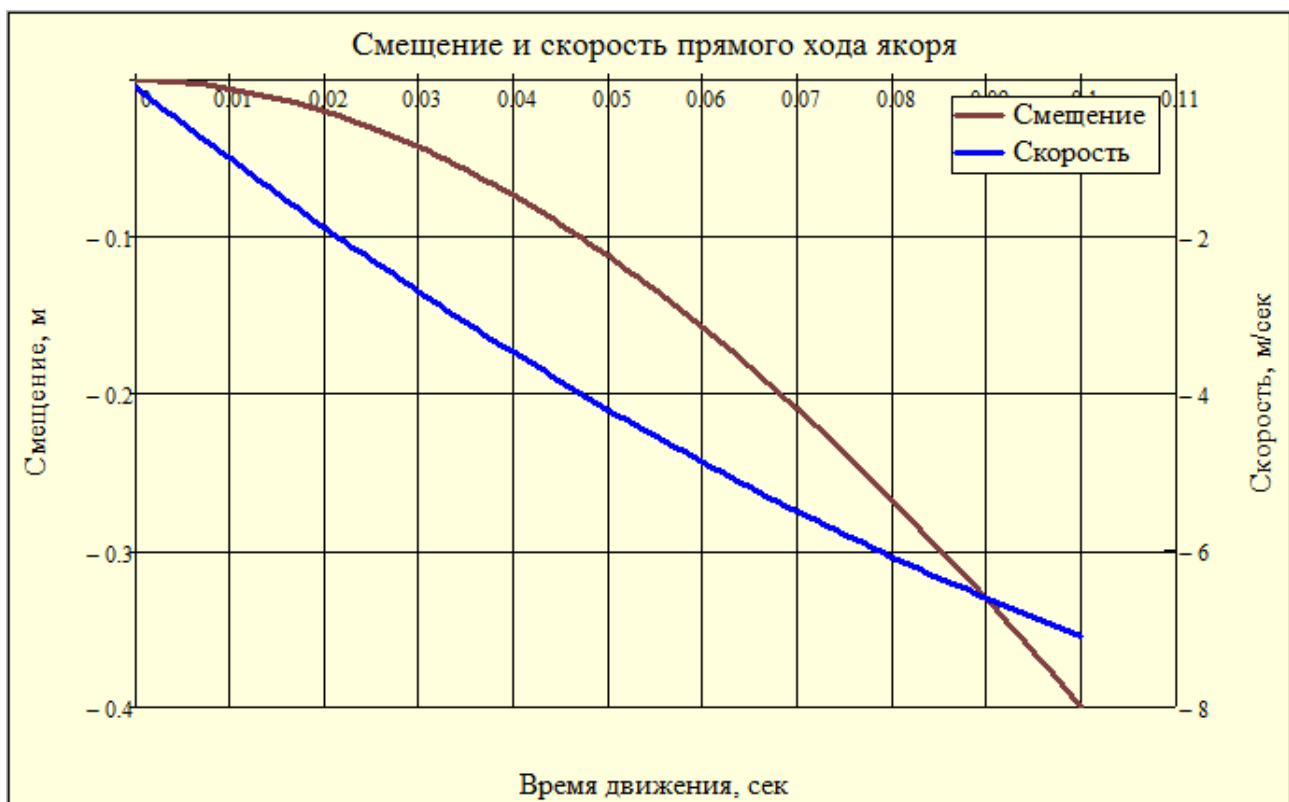


Рис. 1. Смещение и скорость движения

Управляющее напряжение равно $U(t) = 97.80 - 14824.47 \cdot t + 38451.47 \cdot t^2$.

Максимальная скорость, достигаемая в конце траектории равна $v(t_0) = -7.093$ м/с. Кинетическая энергия $W = 3018.41$ Вт (Дж/с).

Библиографический список

1. Тихонов А.Н., Васильева А.Б., Свешников А.Г. Дифференциальные уравнения: Учеб.: Для вузов. – 4-у изд. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. – 256с.
2. Тихонов А.Н., Арсенин В.Я. Методы решения некорректных задач. М.: Главная редакция физико-математической литературы, 1979. 285с.
3. Тихонов А.Н., Гласко В.К., Кальнер В.Д. Математическое моделирование технологических процессов и метод обратных задач в машиностроении. – М.: Машиностроение, 1990.- 264 с
4. [Estimating the diffusion rate in porous media by means of a mathematical experiment](#) Tikhonov A.N., Glasko V.B., Il'in M.E., Kovrigin V.A., Kulik N.I. [Journal of Engineering Physics and Thermophysics](#). 1985. Т. 48. № 5. С. 623-625.

УДК 303.7; ГРНТИ 00.77.00, 12.21.01

ОБЗОР МЕТОДОВ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ: СОЦИОЛОГИЧЕСКИЕ И ЕСТЕСТВЕННО-НАУЧНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ

Е.В. Степаненко

*Тамбовский государственный технический университет,
Россия, Тамбов, Stepanenko.EI@yandex.ru*

Аннотация. В данной работе приводятся методы математического моделирования, которые используются для исследования разнообразных явлений и процессов современного общества. Для разных групп задач выделяются наиболее часто используемые подходы к построению моделей.

Ключевые слова: моделирование, закономерности, социология, миграция, прогнозирование

AN OVERVIEW OF THE MATHEMATICAL MODELING METHODS: SOCIOLOGICAL AND NATURAL-SCIENCE DIRECTION

E.V. Stepanenko

*Tambov state technical university
Russia, Tambov, Stepanenko.EI@yandex.ru*

Аннотация. This paper presents methods of mathematical modeling, which are used to study various phenomena and processes in the modern society. For different groups of tasks provides the most frequently used approaches to building models.

Ключевые слова: modeling, laws, sociology, migration, forecasting

Миграционные процессы в настоящее время приобретают глобальный характер. Причиной этих процессов являются политическая ситуация, экономические трудности. Российская Федерация является привлекательным регионом для трудовой и образовательной миграции, для туристов и других групп населения. В данный процесс включена и Тамбовская область. Число мигрантов постоянно увеличивается. В связи с этим становится актуальной проблема построения, изучения моделей взаимодействия местного населения с различными группами мигрантов.

Моделирование в целом и каждое его направление в отдельности – активно развивающаяся область научного знания. Как рабочий инструмент, моделирование специализируется для решения разнообразных задач не только в области точных наук, естествознания, но и в области изучения процессов социологии.

При изучении разнообразных явлений и процессов современного общества неизбежно возникает необходимость построения специализированных моделей и дальнейшего их изучения и модернизации. Виды моделей зависят от изучаемых процессов, от доступных методов и требуемых конечных результатов и многих других факторов.

Задачи, требующие на выходе точные значения используемых величин, исследуются с помощью соответствующих математических моделей. Здесь может быть привлечён аппарат тензорного анализа, численных методов, теории оптимального управления и т.д.

Так, тензорный метод двойственных сетей исследует фундаментальные свойства взаимного влияния материи процессов и структуры связей, как в абстрактном понимании, так и

в приложении к изучению сложных систем. Полученные математические результаты применяются в задачах анализа социально-экономической системы для формирования качественных стратегий управления устойчивым развитием исследуемых систем. Управление производством, мониторинг, анализ требует математического моделирования, т.е. представления реально происходящих событий, явлений в экономике, технике, в научных исследованиях с помощью математической теории, математического метода. Свойства двойственности сетей определяют замкнутые и разомкнутые пути, которые превращаются друг в друга при изменении соединений, составляя ортогональные подпространства в структуре [1].

Для исследования ситуаций, в которых требуется определить стратегию поведения, учитывая наличие неопределённых факторов, могут быть использованы методы теории антагонистических и неантагонистических игр и теории оптимального управления при неопределённости, вариационного исчисления и т.д.

Теория игр, изучая разнообразные виды конфликтных ситуаций, исследует модели принятия решений в условиях несовпадения интересов сторон, когда каждая сторона стремится воздействовать на развитие ситуации в своих интересах, в условиях влияния неопределённых факторов. Также с помощью методов теории игр возможно проводить оценку проектных рисков, когда необходимо просчитать несколько вариантов возможных действий, а также учесть разнообразные ситуации, которые могут возникать во внешней среде и делать приоритетными те или иные стратегии [2, 3].

В случае обработки многочисленных однотипных данных с целью получить численную характеристику действий участников рассматриваемого процесса, удобно использовать методы статистического анализа – регрессионный анализ, определение вероятностных характеристик, разнообразных отклонений, характеризующих устойчивость тех или иных значений по отношению к средним или идеальным параметрам и т.д.

Для оценки деятельности судьи, работающих на соревнованиях по видах спорта с субъективным судейством, предлагается получить абсолютные, относительные, статистические характеристики результатов работы как одного судьи, так и всей судейской бригады, работающей на соревновании [4]. При этом эффективно использование таких статистических характеристик, которые позволяют оценить работу судей, как выборочное среднее представляет собой состоятельную несмещённую оценку математического ожидания случайной величины (отклонения судьи), несмещённая и смещённая состоятельные оценки дисперсии случайной величины (отклонения судьи), выборочные средние квадратические отклонения для состоятельных оценок дисперсии [5].

Регрессионный и корреляционный анализы – это эффективные методы, позволяющие анализировать значительные объёмы информации для исследования вероятной взаимосвязи двух или больше величин. К задачам корреляционного анализа относятся измерение тесноты известной связи между варьирующими признаками, определение неизвестных причинных связей, а также оценка факторов, оказывающих наибольшее влияние на результативный признак. Среди задач регрессионного анализа выделим выбор типа модели, установление степени влияния независимых величин на зависимую и определение расчётных значений зависимой величины [6].

При решении задач социологического анализа широко применяются математические методы анализа и обработки данных, позволяющие выявить статистические закономерности. Для составления моделей, максимально приближённых к изучаемым процессам и явлениям, необходимо проводить тщательную проверку всех статистических гипотез. Для этого используются такие методы, как тройной тест, парные наблюдения, критерий Манна-Уинти, критерий Уилкоксона и другие.

В социологии, как и во многих других областях научного знания, встречаются явления, которые необходимо изучать в процессе их изменения во времени или пространстве. В подобных ситуациях на помощь приходит такая часть прикладной статистики, как многомерные временные ряды. Для анализа временных рядов наиболее распространены корреля-

ционный и спектральный анализы, сглаживание и фильтрация, модели авторегрессии и скользящего среднего, прогнозирование [7].

Кроме того, для поиска динамических закономерностей, что важно для социологии, широко применяются стохастические модели.

Как приводится в [8], использование математических методов в процессе проведения социологического исследования позволяет достичь следующих целей:

1. Побуждает исследователя четко формулировать свои представления об изучаемом объекте.
2. Позволяет абстрагироваться от большого количества реальных свойств изучаемых объектов.
3. Дает возможность получить содержательные выводы за счёт расширения круга логических умозаключений.
4. Дает возможность выявить скрытые механизмы взаимодействий при анализе огромных массивов информации (с которыми обычно и имеет дело социолог) и учете огромного количества факторов (определяющих любое общественное явление).

Также при изучении процессов, описываемых с помощью множества различных критериев с разнообразными свойствами, возникает необходимость решения задачи поиска комплексов признаков, в существенной степени отражающих одно и то же обобщенное свойство. Решению этой задачи служит факторный анализ. Этот метод используется для разработки некоторых теоретических положений на основе эмпирических исследований. Общая цель факторного анализа – сократить число первоначально учтенных переменных без существенной потери информации. Общая модель факторного анализа заключается в том, что любая переменная содержит общую для совокупности часть и часть, специфическую для данной переменной. В ходе анализа необходимо определить вес каждой обобщенной переменной в первичной учитываемой переменной. [6]

Остановившись более подробно на построении и изучении моделей взаимодействия местного населения с различными группами мигрантов, следует отметить такие научные инструменты, как экономико-математические методы, корреляционно-регрессионный анализ и многие другие [10].

Прогнозирование тенденций трудовой и образовательной миграции – сложный и многоаспектный вопрос. Для изучения и прогнозирования первого вида миграции исследователи предлагают использовать структурированные модели типа RIM и QUMMIR, балансовые уравнения, математический аппарат теории игр, теории вероятностей, матричные методы [10]. На начальном этапе изучения тенденций миграции второго типа получили широкое распространение психологические тесты, использующие различные методики измерения тревожности, стрессоустойчивости и социальной адаптации, диагностики учебной мотивации [11].

Дальнейшая работа в данном направлении, несомненно, предполагает выбор специализированных математических моделей, их адаптацию к изучаемым вопросам миграции.

Библиографический список

1. Петров А.Е. Тензорный метод двойственных сетей / А.Е. Петров – М.: ООО «Центр информационных технологий в природопользовании». – 2007. – 496 с.
2. Абакумова Ю.А. Значение теории игр в системе оптимизации управленческих решений / Ю.А. Абакумова // Наука и Мир. – 2014. – Т. 2. – № 6 (10). – С. 66-69.
3. Максимушкина Е.В., Тараканов А.Ф. Коалиционная дифференциальная игра при неопределенности и устойчивость коалиционной структуры / Е.В. Максимушкина, А.Ф. Тараканов // Известия Российской академии наук. Теория и системы управления. 2004. № 1. С. 77-83.
4. Степаненко И.Т. Идеология оценивания деятельности спортивных судей / И.Т. Степаненко // Электронный научный журнал. – М.: ООО " АР-Консалт", 2016. № 2 (5). – С.555-562.
5. Степаненко И.Т. Оценка деятельности судей в видах спорта с субъективным судейством / И.Т. Степаненко, Е.В. Степаненко // Адаптивная физическая культура. 2016. №3 (67). – С. 7-11.
6. Проблемы применения математических методов в социологическом исследовании [Электронный ресурс], URL: <http://pandia.ru/text/77/302/26041.php> (дата обращения 14.02.17).

7. Тюрин Ю.Н., Макаров А.А. Анализ данных на компьютере / Под ред. В.Э. Фигурнова. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: ИНФРА-М, 2003. – 544 с.
8. Епархина О.В. Математические методы обработки и анализа социологических данных : учеб. пособие / О.В. Епархина; Яросл. гос. ун-т. – Ярославль : ЯрГУ, 2007. – 132 с.
9. Хавинсон М.Ю., Кулаков М.П., Мишук С.Н. Прогнозирование динамики внешней трудовой миграции на региональном уровне // Проблемы прогнозирования. – 2013. – № 2. – С. 99-111.
10. Шеина О.А. Проблемы адаптации иностранных слушателей на этапе довузовской подготовки // Электронный научный журнал. 2015. № 1 (1). С. 282-286.

УДК 519.23; ГРНТИ 83.03.05

КЛАСТЕРНЫЙ АНАЛИЗ ДАННЫХ В СОЦИОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

Н.В. Седова

*Тамбовский государственный технический университет,
Россия, Тамбов, nvsed@rambler.ru*

Аннотация. В работе описаны достоинства и недостатки наиболее популярных методов кластерного анализа данных применительно к социологическим исследованиям в области образования.

Ключевые слова: кластерный анализ, диаграмма рассеивания, матрица расстояний, достоинства и недостатки кластерного анализа.

CLUSTER ANALYSIS IN SOCIOLOGICAL RESEARCH

N.V. Sedova

*Tambov State Technical University,
Russia, Tambov, nvsed@rambler.ru*

Annotation. The paper describes the advantages and disadvantages of the most popular methods of cluster analysis applied to social science research in the field of education.

Keywords: cluster analysis, scatterplot, distance matrix, advantages and disadvantages of cluster analysis.

При анализе социологических данных, полученных в результате опроса или анкетирования целесообразно использование статистических методов обработки информации. Применение математических методов дает возможность уменьшить субъективность оценки исследователя и четко, на конкретных цифрах аргументировать результаты проведенного исследования. Для реализации подобного рода задач часто используются статистические пакеты STATISTICA, SYSTAT, SAS, STATGRAPHICS, SPSS. При отсутствии возможности использования данных программных продуктов можно воспользоваться встроенными функциями Microsoft Office Excel. Например, для сегментации контингента по выбранным критериям можно воспользоваться кластерным анализом данных.

Кластерный анализ, наряду с факторным анализом, известен и применяется довольно широко в психологических, маркетинговых и социологических исследованиях, но является более простым и наглядным методом. Главным преимуществом метода является использование всей полученной от респондентов информации вне зависимости от наличия или отсутствия корреляции выделенных признаков.

Кластерный анализ дает возможность разбиения разнородных элементов по некоторому количеству признаков таким образом, чтобы внутри одного кластера группа была однородной, а сами кластеры максимально отличались друг от друга. Критерием для определения схожести и различия кластеров является расстояние между точками на диаграмме рассеивания. В зависимости от выбранного метода кластеризации используются различные варианты определения расстояния, например:

1) евклидово расстояние - наиболее популярная мера сходства – можно определить по формуле $d_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}$, где x и y – координаты точек i и j на плоскости;

2) квадрат евклидова расстояния $d_{ij}^2 = (x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2$, используют для того, чтобы придать большие веса наиболее отдаленным друг от друга объектам;

3) хеммингово расстояние, используется для уменьшения влияния отдельных выбросов $d_{ij} = |x_i - x_j| + |y_i - y_j|$

4) расстояние Чебышева, используется для отнесения объектов к разным кластерам, если отличается только одна координата $d_{ij} = \max(|x_i - x_j|)$ и др [2].

Например, при анализе уровня высшего образования в разных странах можно в качестве характеристик выбрать расходы государств на образование (в процентах к ВВП 2009 г) и охват населения образованием (удельный вес численности студентов в процентах от численности населения в возрасте, официально соответствующем данной ступени, 2009 г), т.е. каждое государство будет характеризоваться двумя параметрами (таблица 1).

Таблица 1 - Набор данных

№	Государство	Признак x	Признак y
1	Россия	4,6	83
2	Австрия	5,4	59
3	Португалия	5,2	61
4	Нидерланды	5,9	91
5	Венгрия	5,2	62
6	Греция	4	91
7	Финляндия	5,3	62
8	Ирландия	4,9	61
9	Словения	5,7	88
10	Литва	4,7	80

Табличные данные неинформативны, поэтому представляются в виде диаграммы рассеивания (рисунок 1).

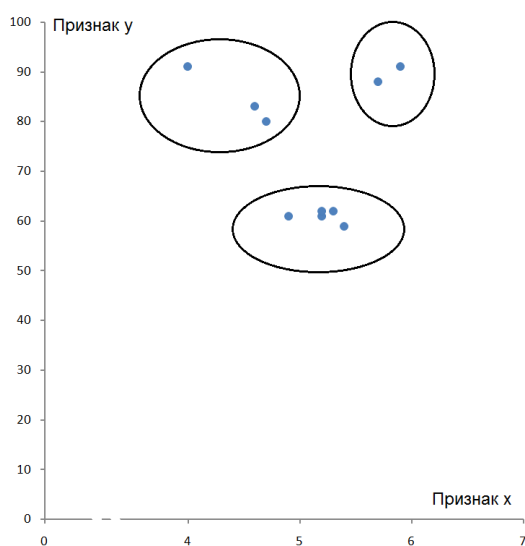


Рис. 1. Диаграмма рассеивания

Из диаграммы следует, что можно выделить три кластера, которые по значениям признаков похожи друг на друга. Критерием является расстояние между точками на рисунке 1. Мерой расстояния было выбрано евклидово расстояние, для которого

$$d_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} \text{ (таблица 2).}$$

Таблица 2 - Матрица расстояний

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0,00	24,01	22,01	8,10	21,01	8,02	21,01	22,00	5,12	3,00
2	24,01	0,00	2,01	32,00	3,01	32,03	3,00	2,06	29,00	21,01
3	22,01	2,01	0,00	30,01	1,00	30,02	1,00	0,30	27,00	19,01
4	8,10	32,00	30,01	0,00	29,01	1,90	29,01	30,02	3,01	11,07
5	21,01	3,01	1,00	29,01	0,00	29,02	0,10	1,04	26,00	18,01
6	8,02	32,03	30,02	1,90	29,02	0,00	29,03	30,01	3,45	11,02
7	21,01	3,00	1,00	29,01	0,10	29,03	0,00	1,08	26,00	18,01
8	22,00	2,06	0,30	30,02	1,04	30,01	1,08	0,00	27,01	19,00
9	5,12	29,00	27,00	3,01	26,00	3,45	26,00	27,01	0,00	8,06
10	3,00	21,01	19,01	11,07	18,01	11,02	18,01	19,00	8,06	0,00

При использовании подобных методов сегментации возникает опасность пересечения кластеров, что особенно хорошо визуализируется при использовании графических средств статистических программ. В случае возникновения нечетких структур кластера некоторые его элементы могут принадлежать любому числу кластеров с разной степенью принадлежности.

Достоинства кластерного анализа:

- 1) Есть возможность сегментации объектов по нескольким параметрам одновременно;
- 2) Нет ограничений по виду анализируемых объектов и можно рассматривать разнородные данные практически любой природы;
- 3) Можно проанализировать большой объем данных и использовать в дальнейших исследованиях полученную минимальную выборку, соответствующую образованным кластерам;
- 4) Возможно получение заданного количества кластеров, т.е. нужного количества групп исследуемых объектов;
- 5) Наглядность представления данных;

Недостатки кластерного анализа:

- 1) При обобщении данных в группах теряются индивидуальные черты объекта;
- 2) Большинство методов предполагают фиксирование количества кластеров на начальном этапе (например, при использовании алгоритма k-средних);
- 3) Результаты кластерного анализа могут сильно различаться в зависимости от используемой метрики, выбор которой является прерогативой исследователя;
- 4) Переменные должны измеряться в сравнимых шкалах, в противном случае должна быть проведена стандартизация переменных, например, методом деления исходных данных на среднеквадратичное отклонение соответствующих переменных или вычислением Z-вклада, который показывает, сколько стандартных отклонений отделяет данное наблюдение от среднего значения;
- 5) Результаты кластерного анализа требуют проверки с использованием формальных и неформальных тестов, например, можно удалить часть данных и провести повторный анализ.

Достоинства и недостатки использования кластерного анализа в социологических и других видах исследований сильно варьируются в зависимости от выбранного метода [1]. Выделяют две группы кластерного анализа: иерархические и неиерархические.

Основная задача иерархической кластеризации – последовательное объединение малых кластеров в большие (агломеративные методы) или обратная задача – выделение из одного исходного кластера некоторого количества малых кластеров (дивизимные методы). При этом возникает необходимость формулировки правила построения кластера, т.е. выбора критериев схожести для вхождения объектов в кластер при использовании агломеративных методов, или критериев различия для выделения объекта из общей группы при использовании дивизимных методов. Чаще других используются метод ближнего соседа, метод полной связи, метод средней связи и метод Варда. Результатом использования иерархических методов

кластеризации является в большинстве случаев построение дендрограммы, которая наглядно демонстрирует процесс образования кластеров. Главный на наш взгляд недостаток этой группы методов – большая трудоемкость на каждом шаге необходимо выстраивать матрицу расстояний для всех полученных кластеров. Время обработки данных растет пропорционально третьей степени количества наблюдений, что при наличии большого количества исходных данных может замедлить работу статистической программы.

Неиерархические методы представляют собой итеративные методы дробления исходной совокупности данных. В процессе деления образуются новые кластеры, до тех пор пока не выполнится условие остановки. Неиерархические методы более приспособлены к неоднородным данным, содержащим выбросы, выбору метрики, являются более быстрыми, но требуют искусственного задания количества кластеров, что в условиях обработки социологической информации не всегда является возможным.

Итак, методы кластерного анализа можно применять в самых различных ситуациях, от случаев, когда речь идет о простой группировке, в которой все сводится к образованию групп по количественному сходству до выделения социально значимых, качественно отличных друг от друга, но внутренне однородных процессов или явлений.

Библиографический список

1. Миркин Б.Г. Методы кластер-анализа для поддержки принятия решений: обзор / Б.Г. Миркин; Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики». – М.: 2011. -88 с.
2. Многомерный анализ данных методами прикладной статистики [Текст]: Учебное пособие / С.С. Барковский [и др.]. – Казань: Изд. КГТУ, 2010. – 126 с

УДК 338.001.36; ГРНТИ 89.57.35

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ БЮДЖЕТНЫХ ДЕНЕЖНЫХ СРЕДСТВ В ОБЛАСТИ КИБЕРПРЕСТУПЛЕНИЙ ПО ТУЛЬСКОМУ РЕГИОНУ

Д.А. Данилин, В.И. Каменев, Е.М. Баранова

*Тульский государственный университет,
Россия, Тула, ddena95@gmail.com*

Аннотация. В работе рассмотрена динамика выделения денежных средств на борьбу с экономическими правонарушениями в Тульской области из бюджета, а также динамика количества киберпреступлений в регионе.

Ключевые слова: информационная безопасность, киберпреступления, бюджет для граждан, национальная безопасность, правоохранительная деятельность в Тульской области.

ANALYSIS OF EFFECTIVENESS OF BUDGET FUNDS IN THE FIELD OF CYBERCRIME IN THE TULA REGION

D.A. Danilin, V.I. Kamenev, E.M. Baranova

*Tula State University,
Russia, Tula, ddena95@gmail.com*

Abstract. The paper discusses the dynamics of the allocation of funds for the fight against economic offences in the Tula region budget, as well as the dynamics of the number of cybercrimes in the region.

Keywords: information security, cybercrime, citizens budget, national security, law enforcement activities in the Tula region.

С целью анализа использования выделенных денежных средств из бюджета Тульской области в сфере информационной безопасности (ИБ) сравниваются темпы роста экономических преступлений с суммой, выделенной на борьбу с ними. Использованы статистические данные по Тульскому региону в период с 2013 по 2016 годы [1,2].

В таблице 1 приведены статистические данные по Тульскому региону.

Таблица 1 - Исходные статистические данные по Тульскому региону

Период	Отчисления на ИБ, млн рублей	Количество экономических правонарушений, в том числе в сфере ИБ
2013	6,8	4788
2014	6,9	3923
2015	7,0	4864
2016	7,4	4388

Для того, чтобы оценить эффективность использования денежных средств, выделенных на информационную безопасность в Тульском регионе в период с 2013 по 2016 годы, необходимо построить графики базисных и цепных темпов роста и прироста, используя данные таблицы 1 [3].

Базисный темп роста – это отношение каждого последующего уровня к одному уровню, принятому за базу сравнения:

$$T_b = \frac{y_i}{y_0} * 100\%, \quad (1)$$

где y_i – i-ый уровень ряда;

y_0 – начальный, базисный уровень ряда.

В таблице 2 представлены рассчитанные темпы роста.

Таблица 2 - Базисные темпы роста

Период	Отчисления на ИБ, млн руб., %	Количество преступлений в сфере ИБ, %
2013-2014	101,47	77,76
2013-2015	102,94	101,59
2013-2016	108,82	91,65

Можно заметить прямо пропорциональную тенденцию взаимодействия таких показателей, как «отчисления на ИБ» и «количество экономических правонарушений» в период с 2013 по 2016 годы. При увеличении финансирования в 1,09 раз количество экономических преступлений уменьшилось также в 1,09 раз.

На рисунке 1 показаны базисные темпы роста таких показателей, как «отчисления на ИБ» и «количество экономических правонарушений».



Рис. 1. Темпы роста таких показателей, как «отчисления на ИБ» и «количество экономических правонарушений»

Наряду с темпом роста рассчитан показатель темпа прироста, характеризующий относительную скорость изменения уровня ряда в единицу времени. Темп прироста показывает, на какой процент уровень данного периода или момента времени больше (или меньше) базисного уровня. Формула базисного темпа прироста выглядит так:

$$T_{пр_i} = T_b - 100 \text{ (в процентах)}, \quad (2)$$

где T_6 – базисный темп роста.

В таблицу 3 представлены базисные темпы прироста таких показателей как «отчисления на ИБ» и «количество экономических правонарушений».

Таблица 3 - Базисные темпы прироста

Период	Отчисления на ИБ, млн руб., %	Количество преступлений в сфере ИБ, %
2013-2014	1,47059	-22,24311
2013-2015	2,94118	1,5873
2013-2016	8,82353	-8,35422

В период с 2013 по 2014 годы количество преступлений в экономической сфере снизилось почти на четверть. Однако, в период с 2013 по 2015 годы, количество преступлений увеличилось на 1,5%.

На рисунке 2 показаны темпы прироста таких показателей как «отчисления на ИБ» и «количество экономических правонарушений».



Рис. 2. Базисный темп прироста таких показателей как «отчисления на ИБ» и «количество экономических правонарушений»

Дальнейший анализ проведен, с использованием цепного метода расчета темпов роста и прироста. Если базисный метод характеризует изменения с нарастающим итогом, то цепной – последовательное изменение показателей.

Цепной метод роста – отношение последующего уровня к предыдущему, умноженному на 100%.

$$T_6 = \frac{y_i}{y_{i-1}} * 100\%, \quad (3)$$

где y_i – i-ый уровень ряда;

y_{i-1} – предыдущий уровень ряда.

В таблице 4 представлены результаты расчетов цепного темпа роста таких показателей как «отчисления на ИБ» и «количество экономических правонарушений». На рисунке 3 показаны графики указанных показателей.

Таблица 4 - Цепные темпы роста

Период	Отчисления на ИБ, млн руб., %	Количество преступлений в сфере ИБ, %
2013-2014	101,47	77,76
2014-2015	101,45	130,65
2015-2016	105,71	90,21

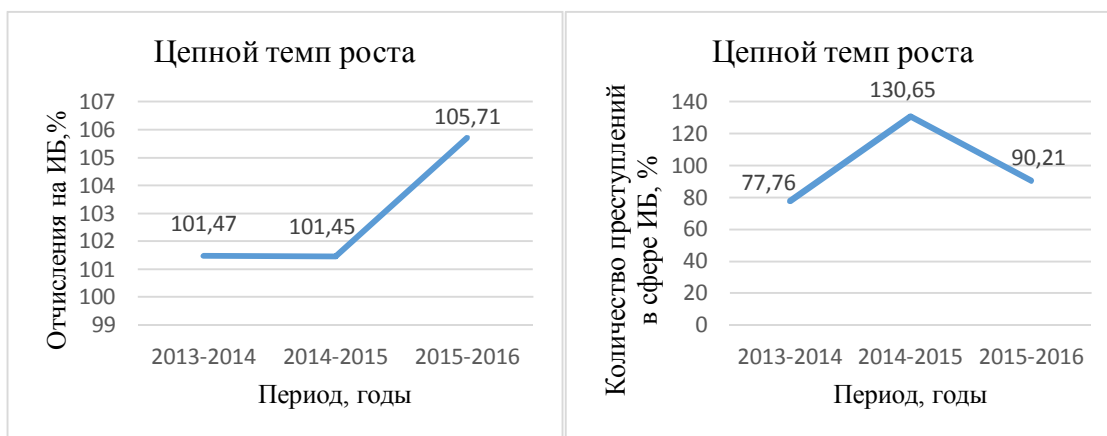


Рис. 3. Цепные темпы роста таких показателей как «отчисления на ИБ» и «количество экономических правонарушений»

Заметим, в периоды с 2013 по 2014 и с 2014 по 2015 годы, отчисления на ИБ увеличились одинаково и незначительно, в 1,05 раза. При этом количество преступлений имело двойственный характер поведения: сначала уменьшалось в 1,23 раза, затем увеличивалось в 1,3 раза.

Формула для определения цепного темпа прироста выглядит следующим образом:

$$T_{\text{пр}} = T_{\text{ц}} - 100 \text{ (в процентах)}, \quad (4)$$

где $T_{\text{ц}}$ – цепной темп роста.

Результаты подсчетов сведены в таблицу 5.

Таблица 5 - Цепные темпы прироста

Период	Отчисления на ИБ, млн руб., %	Количество преступлений в сфере ИБ, %
2013-2014	1,47	-22,24
2014-2015	1,45	30,65
2015-2016	5,71	-9,79

При увеличении бюджетных расходов на ИБ на 1,5 %, количество киберпреступлений, сначала снижается, а затем возрастает. На рисунке 4 показаны графики, отражающие цепные темпы прироста таких показателей как «отчисления на ИБ» и «количество экономических правонарушений».

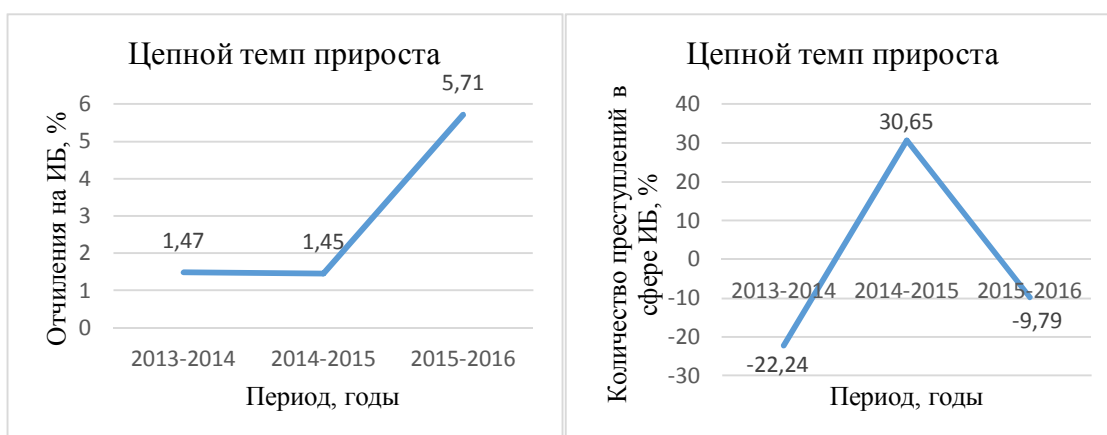


Рис. 4. Цепные темпы прироста таких показателей как «отчисления на ИБ» и «количество экономических правонарушений»

По итогам проведения статистического анализа данных по Тульскому региону, можно сделать вывод о том, что образуется недостаточно четкое понимание того, каким образом рост бюджетных расходов на ИБ регулирует (в частности, снижает) количество экономических преступлений. Иногда, при незначительном увеличении затрат на ИБ, примерно 1,5%, рост преступности возрастает, а иногда снижается достаточно серьезными темпами (-25%). Такое положение дел свидетельствует о необходимости повышения эффективности при целевом расходовании бюджетных денежных средств Тульского региона.

Кроме того, для проведения более глубокого детального анализа требуются дополнительные статистические данные по указанной проблеме, однако обнародование такой информации осуществляется нерегулярно. Следовательно, определить эффективность работы бюджетных денежных средств Тульской области в сфере информационной безопасности вследствие ограниченного количества показателей на сегодняшний момент не представляется возможным.

Библиографический список

1. Документ «Бюджет для граждан» (Тульская область) за 2013-2016 годы [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.tula.ru/activity/economics/city-budget>.
2. Статистика МВД по г. Тула за 2013-2016 годы [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://71.xn--blaew.xn--plai/citizens/Obzor_obrashhenij_grazhdan.
3. Елисеева И. И. Статистика: [углубленный курс]: учебник для бакалавров /И. И. Елисеева и др.]. – Москва: Юрайт: ИД Юрайт, 2011. – 565 с.

УДК 372.851; ГРНТИ 27.01.45

О РОЛИ ПРИМЕРОВ И КОНТРПРИМЕРОВ В ОБУЧЕНИИ МАТЕМАТИКЕ

А.И. Сюсюкалов, Е.А. Сюсюкалова

*Рязанский государственный радиотехнический университет,
Россия, Рязань, syusyalova.e.a@rsreu.ru*

Аннотация. В статье обосновывается необходимость использования контрпримеров и необычных конструкций для повышения эффективности обучения математике.

Ключевые слова: примеры, контрпримеры, необычные конструкции.

ABOUT ROLE OF EXAMPLES AND COUNTEREXAMPLES IN TEACHING MATHEMATICS

A. Syusyukalov, E. Syusyukalova

*Ryazan State Radio Engineering University,
Russia, Ryazan, syusyalova.e.a@rsreu.ru*

Abstract. In this article substantiates necessity of using counterexamples and untypical constructions for increasing efficiency of teaching mathematics.

Keywords: examples, counterexamples, untypical constructions.

При обучении математике в вузе и школе очень важна роль иллюстративных примеров. Они помогают уяснить смысл теорем, подтверждают истинность утверждений.

Многие нестандартные задачи формулируются так: существует ли объект с заданными свойствами? Чтобы ответить на данный вопрос необходимо либо доказать, что такого объекта не существует (например, методом от противного), либо построить пример этого объекта. Такие задачи приучают учащихся смотреть на них с двух сторон: либо опровергать утверждение, либо доказывать существование объекта построением.

Эти задачи стимулируют воображение не в меньшей степени, чем трудные теоремы и вычислительные задачи.

Умение, способность придумывать необычные конструкции – важнейшее качество олимпиадника.

Пособия [6,7] посвящены различным методам построения и исследования математических конструкций, аналогичные вопросы изложены в [1] в §5.

Существует множество неверных утверждений, кажущихся на первый взгляд верными. Есть особые примеры, называемые контрпримерами, которые служат для опровержения таких «правдоподобных» утверждений.

Многочисленные примеры и контрпримеры из математического анализа, теории функций и теории вероятностей приводятся в [2,6,8].

Изучая теоремы, необходимо задаваться вопросом: а все ли условия существенны или некоторые можно опустить? Проверить это можно только с помощью контрпримеров: если одно условие опустить, то утверждение становится неверным, что подтверждается соответствующим примером.

Увлекаясь теоремами, задачами на вычисление и доказательство, мы не должны забывать приводить интересные примеры.

Основная цель большинства разбираемых примеров состоит в том, чтобы обратить внимание учащихся на ряд «опасных» вопросов и моментов, при встрече с которыми можно дать неправильные ответы.

В пособии [4] авторы предлагают набор задач на построение необычных примеров и контрпримеров. Отметим также, что в задачах типа «оценка + пример» часть решения также содержит построение конструкции – примера, подтверждающего неулучшаемость или точность оценки. Коллекция задач такого типа содержится в пособии [5].

Приведем некоторые задачи на построение необычных примеров.

1. Существует ли квадратный трехчлен $P(x)$ с целыми коэффициентами такой, что для любого натурального числа n , в десятичной записи которого участвуют одни единицы, число $P(n)$ также записывается одними единицами?

Решение. Рассмотрим квадратный трехчлен $P(x) = x(9x + 2)$. Если $n = \underbrace{11\dots11}_k$, то $9n + 2 = \underbrace{100\dots001}_{k-1}$. Следовательно, $P(n) = \underbrace{11\dots11}_k \cdot \underbrace{100\dots001}_{k-1} = \underbrace{11\dots11}_{2k}$. Значит, этот квадратный трехчлен удовлетворяет условию.

Ответ. Существует.

2. При разрезании четырехугольника по любой из диагоналей получилось два равнобедренных треугольника. Обязательно ли диагонали будут перпендикулярны?

Решение. В качестве примера рассмотрим равнобедренную трапецию, у которой верхнее основание равно боковой стороне, а величины углов при нижнем основании равны 72° . Диагонали такой трапеции не перпендикулярны.

Ответ. Нет.

3. Существует ли многочлен от двух переменных $P(x, y)$, множество значений которого – множество всех положительных чисел?

Решение. Множество значений полинома $P(x, y) = (1 - xy)^2 + x^2$ – интервал $(0, \infty)$.

Ответ. Существует.

4. Сумма трех натуральных чисел равна 520. На какое наибольшее число нулей может оканчиваться произведение?

Решение. Пример. $320 + 125 + 75 = 520$, $320 \cdot 125 \cdot 75 = 3000000$.

Оценка. Предположим, что нулей не менее 7. Тогда произведение делится на $10^7 = 2^7 \cdot 5^7$. Как эти 7 пятерок могли распределиться между сомножителями? Ни в какой из них не попало 4 пятерки, так как тогда он был не меньше $5^4 > 520$. Все слагаемые не могут делиться на 25, так как сумма на 25 не делится. Значит, два слагаемых делятся на 125, а третье кратно 5. Кроме того, хотя бы два слагаемых четны (одно четное не может делиться на $5 \cdot 2^7$), то есть четны все три. Значит, среди слагаемых два делятся на 250. Если одно равно 500, то сумма больше 750. А если каждое из двух равно 250, то $250 \cdot 250 \cdot 20$ делится только на 2^4 .

Ответ. На 6 нулей.

5. В некотором государстве система авиалиний устроена так, что любой город соединен авиалиниями не более чем с тремя другими и из любого города в любой другой можно перелететь, сделав не более одной пересадки. Какое наибольшее число городов может быть в этом государстве?

Решение. Рассмотрим граф авиалиний G , в котором вершины задают города, а ребра – авиалинии, соединяющие города. Рассмотрим любую вершину v_0 графа G . По условию из нее выходит не более трех ребер. Пусть $(v_0, v_1), (v_0, v_2), (v_0, v_3)$ – ребра, выходящие из вершины v_0 . Из каждой вершины $v_i (i = 1, 2, 3)$ выходит не более двух ребер (рис. 1). Таким образом, в графе не может быть более 10 городов.

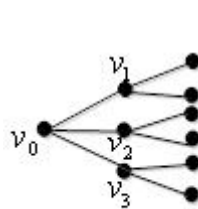


Рис. 1

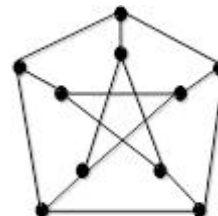


Рис. 2

На рисунке 2 изображен граф, удовлетворяющий требуемым условиям. Он называется **графом Петерсона**.

Следовательно, наибольшее возможное число городов в государстве равно десяти.

Ответ. 10.

6. Коэффициенты p и q квадратного уравнения $x^2 + px + q = 0$ изменили не более чем на 0,001. Может ли больший корень уравнения измениться более чем на 1000?

Решение. Пусть изменённое уравнение имеет вид $x^2 + (p+a)x + (q+b) = 0$, где $|a| \leq 0,001$ и $|b| \leq 0,001$. Запишем формулы для вычисления больших корней обоих уравнений:

$$x_0 = \frac{-p + \sqrt{p^2 - 4q}}{2} \text{ и}$$

$$x_1 = \frac{-(p+a) + \sqrt{(p+a)^2 - 4(q+b)}}{2} = \frac{-(p+a) + \sqrt{2pa + (p^2 - 4q) + (a^2 - 4b)}}{2}.$$

Пусть $a = b = 0,001$. Выберем коэффициент p так, чтобы $2pa > 10000000$, то есть $p > 5 \cdot 10^9$. После этого выберем q так, чтобы $p^2 = 4q$, то есть $q = \frac{p^2}{4}$.

Тогда

$$|x_1 - x_0| = \left| -\frac{1}{2}a + \frac{1}{2}\sqrt{2pa + a^2 - 4b} \right| > -0,0005 + \frac{1}{2}\sqrt{9000000} = -0,0005 + 1500 > 1000,$$

что и требовалось.

Ответ. Да, может.

7. Постройте график функции $f(x)$, непрерывной на отрезке $[0; 3]$, у которого нет горизонтальной хорды длины 2 и $f(0) = f(3)$.

Ответ: например, см. рис.3.

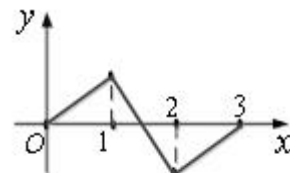


Рис. 3

8. Для любого ли натурального n из последовательности $1, 1/2, 1/3, 1/4, \dots$ можно выделить арифметическую прогрессию длины n ?

Решение. Числа $1/n!, 2/n!, \dots, n/n!$ образуют арифметическую прогрессию длины n с разностью $1/n!$. Эти числа имеют вид $\frac{1}{n!/k}$, где числа $n!/k$ целые.

Ответ. Для любого.

Авторы убеждены, что использование необычных конструкций и контрпримеров эффективно влияет на повышение мотивации учащихся при обучении математике, способствует развитию критичности мышления, развивает умение и способности конструировать модели при решении практических задач в различных областях науки.

Библиографический список

1. Васильев И.Б., Гутенмахер В.Л. Заочные математические олимпиады. – М.: Наука, 1986.-176 с.
2. Гелбаум Б., Олмстед Дж. Контрпримеры в анализе.- М.: Мир, 1967.- 251 с.
3. Стоянов Й. Контрпримеры в теории вероятностей.-М.:МЦНМО,2012.-294с.
- 4.Сюсюкалов А.И., Сюсюкалова Е.А. Избранные нестандартные задачи по математике. Ч.2.:учеб. пособие.- Ряз. гос. радиотехн. ун-т.- Рязань, 2015.-100 с.
5. Сюсюкалов А.И., Сюсюкалова Е.А. Избранные нестандартные задачи по математике.Ч.3.:учеб.пособие.- Ряз.гос.радиотехн. ун-т.-Рязань,2016.- 46 с.
6. Шаповалов А.В. Как построить пример? –М.: МЦНМО, 2013.- 80 с.
7. Шаповалов А.В. Математические конструкции: от хижин к дворцам. – М.: МЦНМО, 2015.- 176 с.
8. Шибинский В.М. Примеры и контрпримеры в курсе математического анализа: учеб. пособие.- М.: Высшая школа, 2007. – 543 с.

УДК 517.977.5

ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНОСТИ В КЛАССЕ КУСОЧНО-ПОСТОЯННЫХ УПРАВЛЕНИЙ

А.В. Кузнецов

*Рязанский государственный радиотехнический университет,
Россия, Рязань, alvikuz@yandex.ru*

Аннотация. В данной работе изучается ограничение задачи оптимального управления на класс кусочно-постоянных функций управления.

Ключевые слова: управление, оптимальное управление, кусочно-постоянная функция.

THE STUDY OF OPTIMAL CONTROL IN THE CLASS OF PIECEWISE CONSTANT FUNCTIONS

A.V. Kuznetsov

*Ryazan State Radiotechnical University,
Russia, Ryazan, alvikuz@yandex.ru*

Abstract. In this work, we study the restriction of the optimal control problem for a class of piecewise constant control functions.

Keywords: control, optimal control, piecewise constant function

1. Введение

Задача поиска оптимального управления в детерминированной системе с учетом ограничений на управление и множество возможных состояний системы имеет много практических применений при исследовании математических моделей процессов и технических систем детерминированного типа, динамика состояния которых может быть описана системой дифференциальных уравнений относительно переменных состояния и компонент вектора управляющих переменных, а критерий качества решения представлен в интегральном виде [1].

$$\frac{dx}{dt} = f(t, x, u),$$

$$x(t_0) = x_0$$

$$J(x, u) = \int_{t_0}^T h(t, x, u) dt,$$

где x – вектор-состояние системы, u – вектор-управление системы принадлежащее ограниченному замкнутому множеству U .

В гладкой задаче при отсутствии ограничений решение находится вариационным методом. Решения, полученные таким образом, имеют теоретический интерес, но в реальных процессах и системах, при наличии ограничений на множество состояний системы и множество допустимых значений управляющих параметров эти решения не применимы.

Данную задачу в случае наличия ограничений указанного типа можно решить, применяя принцип максимума Понтрягина [2], к тому же для некоторых задач необходимое условие оптимальности решения, согласно этому методу, является также и достаточным. Недостатком данного метода решения задачи оптимального управления с технической точки зрения можно считать то, что класс, в котором находятся оптимальные решения – множество измеримых функций, слишком широк, так как содержит внутри себя множество всех непрерывных и кусочно-непрерывных функций, в классе которых управление в общем случае трудно реализуемо технически.

В данной работе предлагаются способы нахождения оптимального решения в более узком классе управляющих функций, а именно в классе кусочно-постоянных функций. Подобный выбор класса управлений обусловлен тем, что в классе непрерывных функций, как правило отсутствуют предельные (оптимальные) режимы управления. А конечность точек переключения управления не позволяет усложнять техническую реализацию системы управления процессом или технической системой.

2. Методы сведения управления к кусочно-постоянному типу

Первый вариант: Если по каким-то причинам моменты переключения уже фиксированы, то в этом случае в качестве параметров управления выступают значения векторов управления на промежутках постоянства управления, и задача сводится к исследованию знакопостоянства алгебраических форм нескольких переменных. Этот метод был применен в работе [3].

Второй вариант: Если применить к общей задаче принцип максимума Понтрягина, решение полученное таким образом аппроксимируем кусочно-постоянной функцией. В виду сложной зависимости между управлением и критерием качества обычная аппроксимация функций в некоторой метрике не может гарантировать наилучший результат в классе кусочно-постоянных управлений. Поэтому процедура аппроксимации полученного решения будет проходить в чередовании шага аппроксимации точек переключения и последующего определения оптимальных значений управляющего воздействия. Возможны следующие случаи. А) Решение уже является кусочно-постоянным и количество точек переключения управления допустимо. В этом случае мы уже имеем наилучшее решение, которое невозможно улучшить в данной постановке задачи. Б) Если количество точек разрыва слишком велико и технически недопустимо, то проводим процедуру «упрощения» функции управления. Так как отрезок времени управления предполагается конечным, а количество точек переключения в решении задачи по принципу максимума Понтрягина оказывается велико (или стремится к бесконечности) то существует область, где сконцентрирована большая часть точек переключения управления. Размер этой области зависит от технических возможностей прибора управления. Чем больше точек переключения допустимо, тем меньше будет указанная область. В ней мы задаем постоянное управление, игнорируя близко расположенные моменты переключения управления, в результате количество точек переключения управления остается в допустимых пределах. Обоснованность подобного подхода состоит в том, что при наличии высокочастотного изменения управляющего воздействия в системе «инерционного» типа, система не чувствительна к подобным колебаниям и определенное усредняющее воздействие не может существенно ухудшить качество соответствующего управления. В) Число точек разрыва допустимо, но функция не является кусочно-постоянной, например, в случае непрерывного решения. В этом случае мы определяем характерный разброс значений рассматриваемого решения и определяем пороговое значение, превышение которого на фиксированном шаге по времени добавляет точку переключения управления. Этим мы исключаем резкие скачки непрерывной функции, заменяя их соответствующими точками переключения управления. Величина порогового значения также будет зависеть от технических возможно-

стей прибора управления. При увеличении допустимого количества точек переключения пороговое значение будет уменьшаться. Последние два случая допускают комбинацию, т.е. мы можем объединять близкие точки разрыва и добавлять новые, учитывая резкие изменения функции на участках непрерывности.

Третий вариант. Является техническим упрощением второго варианта и заключается в следующем:

- Ищем оптимальное решение в классе постоянных управлений, учитывая все ограничения.
- Делим отрезок времени в некотором отношении (напр. пополам, «золотое сечение» и т.п.). Находим оптимальное решение при двух участках постоянства и сравниваем значение критерия качества управления с предыдущим значением.
- Если различие критерия качества на последовательных шагах не превышает порогового значения, то процедура останавливается и последнее управление выбирается в качестве искомого. Иначе продолжаем дробить отрезки постоянства управления согласно одному из указанных методов. Принудительный останов процедуры происходит при достижении предельного количества точек переключения управления, даже если приращение критерия качества превышает пороговое значение. В данном случае рекомендуется применение второго варианта решения.

Заключение

Большинство процессов в технике, экономике, медицине и других областях допускают управление с помощью некоторых параметров. Достижение наилучшего результата согласно критерию качества управления позволяет экономить различные ресурсы (топливо, сырье, время, денежные средства и многое другое), но сама система управления может быть слишком сложной и неэффективной. Достичь определенного максимума качества при некотором упрощении системы управления и призваны приведенные методы.

Простота технической реализации управлений из класса кусочно-постоянных функций и достаточная широта этого класса дает возможность реализовать режимы управления близкие согласно критерию качества управления к режимам оптимального, в широком смысле, управления (из класса измеримых функций) и в тоже время допускающие простую реализацию в техническом плане.

Библиографический список

1. Бейли И. Математика в биологии и медицине – М.: Мир, 1970.– 327с.
2. Алексеев В.И., Тихомиров В. М. Оптимальное управление. – М.: Физматлит, изд. 2-е, перераб., 2007. – 408 с.
3. Кузнецов А.В. Условия локальной оптимальности для нелинейных управляемых систем в классе кусочно-постоянных управлений [Текст] / А.В. Кузнецов // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. - 2011. - Вып. 38. - №4. - С. 125-128.

УДК 004.855.5; ГРНТИ 28.23.20

ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ШАГОВ АЛГОРИТМА БЛИЖАЙШИХ СОСЕДЕЙ ПРИ УТОЧНЕНИИ РЕЗУЛЬТАТОВ КЛАССИФИКАЦИИ НА ОСНОВЕ SVM-АЛГОРИТМА

Ю. Соколова, Е. Котова

*Рязанский государственный радиотехнический университет,
Российская Федерация, Рязань, JuliaSokolova62@yandex.ru*

Аннотация. В данной статье рассматриваются вопросы визуализации шагов алгоритма к ближайших соседей при уточнения результатов классификации на основе SVM-алгоритма в в части разделяющей гиперполосы, содержащей все ошибочно классифицированные объекты.

Ключевые слова: SVM-алгоритм, kNN-алгоритм, компьютерная модель, визуализация

STEPS VISUALIZATION OF THE NEAREST NEIGHBORS ALGORITHM AT THE CLASSIFICATIONS RESULTS SPECIFICATION ON THE BASE OF THE SVM ALGORITHM

Yu. Sokolova, E. Kotova

Ryazan State Radio Engineering University,

Russian Federation, Ryazan, JuliaSokolova62@yandex.ru

Abstract. In this paper the questions of the steps visualization of the k nearest neighbors algorithm at the classifications results specification on the base of the SVM algorithm in the part of separating hyperstrip containing all mistakenly classified objects have been considered.

Keywords: SVM algorithm, kNN algorithm, computer model, visualization

1. Введение

В настоящее время для разнообразных прикладных задач, использующих данные различных природы и объемов, разработаны десятки алгоритмов и методов классификации и их модификаций, среди которых наиболее известны, в частности, линейная и логистическая регрессии, байесовский классификатор, деревья решений, решающие правила, нейронные сети, алгоритм k ближайших соседей (k NN-алгоритм, k Nearest Neighbors Algorithm), алгоритм опорных векторов (SVM-алгоритм, Support Vector Machine Algorithm) и т.п. Заложенный в такой алгоритм математический аппарат применяется для разработки классификатора, способного в дальнейшем классифицировать новые данные.

Из-за довольно высокой сложности применяемого интеллектуального инструментария анализа данных на понимание логики работы того или иного алгоритма иногда уходит гораздо больше времени, чем на соответствующую программную реализацию.

Мощным средством, позволяющим понять развитие определенной ситуации, является компьютерная реконструкция происходящего. Компьютерное моделирование применяют для широкого круга задач в различных областях человеческой деятельности: экологии и геофизике, транспорте, электронике и электротехнике, экономике и финансах, архитектуре и строительстве, управлении и бизнесе, промышленности, политике и военном деле и пр.

В данной работе рассматриваются вопросы визуализации работы алгоритма k ближайших соседей в задаче уточнения результатов классификации, полученных с использованием SVM-классификатора.

2. Совместное использование SVM- и kNN-классификаторов

В последние годы для решения многих классификационных задач успешно применяется SVM-алгоритм, осуществляющий обучение по прецедентам («обучение с учителем») и входящий в группу граничных алгоритмов и методов классификации, поскольку основан на концепции построения разделяющей гиперплоскости, которая разделяет объекты с разной классовой принадлежностью. Цель SVM-алгоритма – найти разделяющие поверхности между классами, находящиеся на максимально возможном расстоянии друг от друга.

В результате обучения SVM-классификатора определяется разделяющая гиперплоскость (рис. 1), которая может быть задана уравнением $\langle w, z \rangle + b = 0$, где Z – множество объектов, подлежащих классификации, в котором каждому объекту $z_i \in Z$ ставится в соответствие q -мерный вещественный вектор характеристик $z_i = (z_i^1, z_i^2, \dots, z_i^q)$, где z_i^l – числовое значение l -й характеристики для i -го объекта ($l = \overline{1, q}$), q – число характеристик; w – вектор-перпендикуляр к разделяющей гиперплоскости; b – параметр, соответствующий кратчайшему расстоянию от начала координат до гиперплоскости; $\langle w, z \rangle$ – скалярное произведение векторов w и z [1]. Условие $-1 < \langle w, z \rangle + b < 1$ задает полосу, которая разделяет классы. Чем шире эта полоса, тем увереннее можно классифицировать объекты. Объекты, расположенные на границах полосы, разделяющей классы, называются опорными векторами. Опорные векторы несут всю информацию о разделении классов [1, 2].

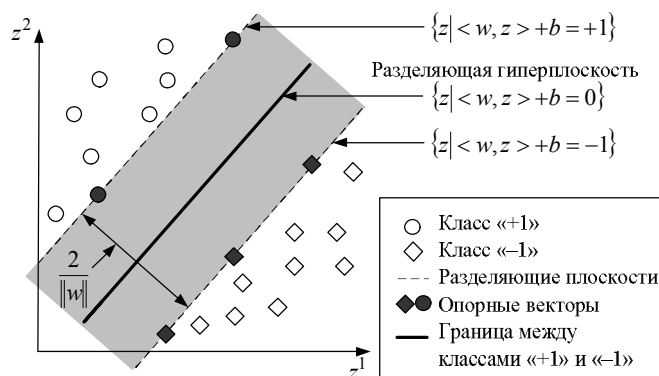


Рис. 1. Построение разделяющей гиперплоскости в пространстве D-2

SVM-алгоритм не ограничивается случаем линейного разделения объектов, представленным на рисунке 1. На практике обычно взаимное расположение классов неизвестно, и очень редко их можно разделить прямой линией или плоскостью. Но даже если данные линейно неразделимы, то применение SVM-алгоритма вполне возможно. В этом случае используется подход, основанный на переходе от исходного пространства характеристик объектов Z к новому пространству H более высокой размерности, где объекты линейно разделимы [1–4]. Этот переход осуществляется с помощью специальной функции, называемой ядром. Именно с помощью ядра осуществляется переход к новому пространству характеристик, в котором происходит построение полосы, разделяющей классы. Тип функции ядра и значение ее параметров определяют качество построенного классификатора, которое может быть оценено с использованием различных, известных в машинном обучении, показателей качества классификации [3].

В SVM-алгоритме в случае нелинейной разделимости объектов одной из основных задач является определение типа функции ядра и подбор оптимальных значений для некоторого набора параметров с целью построения эффективного SVM-классификатора. Для их поиска могут быть использованы различные поисковые алгоритмы [3, 5].

Как показывают экспериментальные исследования, большинство объектов, ошибочно классифицированных SVM-алгоритмом, попадают внутрь разделительной полосы. Поэтому необходимо уточнение результатов классификации для объектов, оказавшихся внутри Ω -области, содержащей все ошибочно классифицированные SVM-классификатором объекты. Это уточнение предлагается выполнить с помощью алгоритма k -ближайших соседей [4], причем количество соседей должно быть определено экспериментально таким образом, чтобы обеспечить максимально возможную точность классификации объектов. В случае улучшения качества классификации объектов, попавших в Ω -область, предлагаемый подход к классификации данных может быть рекомендован для классификации новых объектов, оказавшихся после построения SVM-классификатора внутри Ω -области.

3. Визуализация шагов, реализуемых при совместном использовании SVM- и k NN-алгоритмов

Программа, реализующая совместное применение SVM- и k NN-классификаторов, была создана в интегрированной среде разработки Delphi с использованием m-файлов пакета прикладных программ для выполнения технических вычислений Matlab.

Для визуализации процесса работы k NN-алгоритма использовалась мультимедийная платформа Adobe Flash Professional.

На рисунках 2 – 4 представлены кадры, демонстрирующие шаги, выполняемые при совместном применении SVM- и k NN-классификаторов.

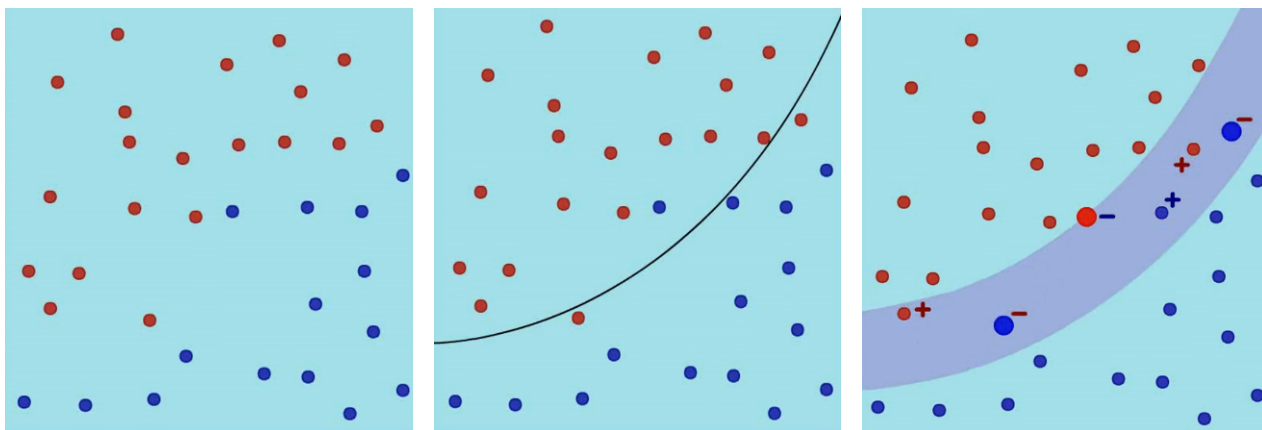


Рис. 2. Визуализация работы SVM-классификатора: (слева – исходное множество объектов, в центре – построенная SVM-классификатором разделяющая гиперплоскость, справа – результат классификации с выделенной Ω -областью и ошибочно классифицированными объектами)

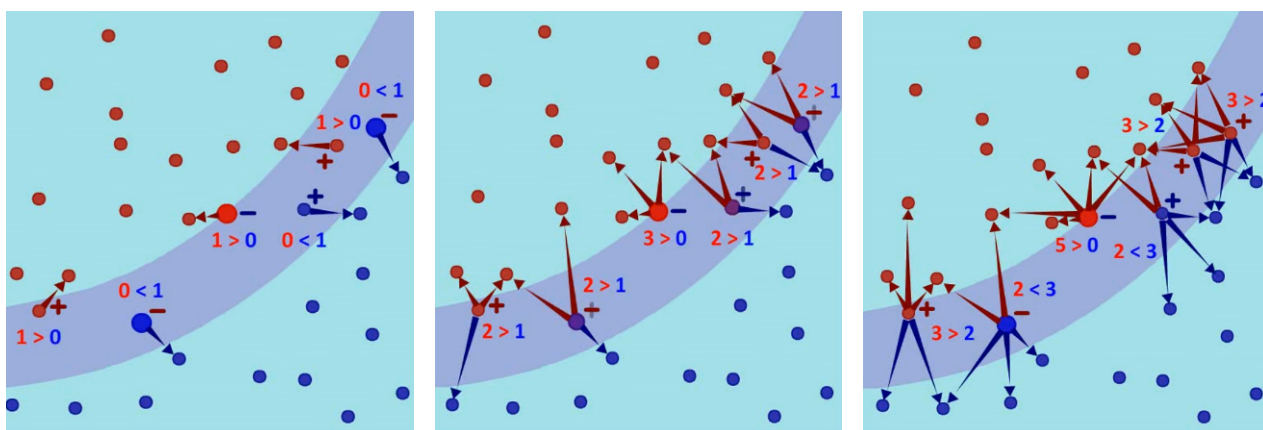


Рис. 3. Визуализация уточнения результатов классификации k NN-алгоритмом: подбор лучшего числа ближайших соседей (слева – уточнение при одном соседе, в центре – уточнение при трех соседях, справа – уточнение при пяти соседях)

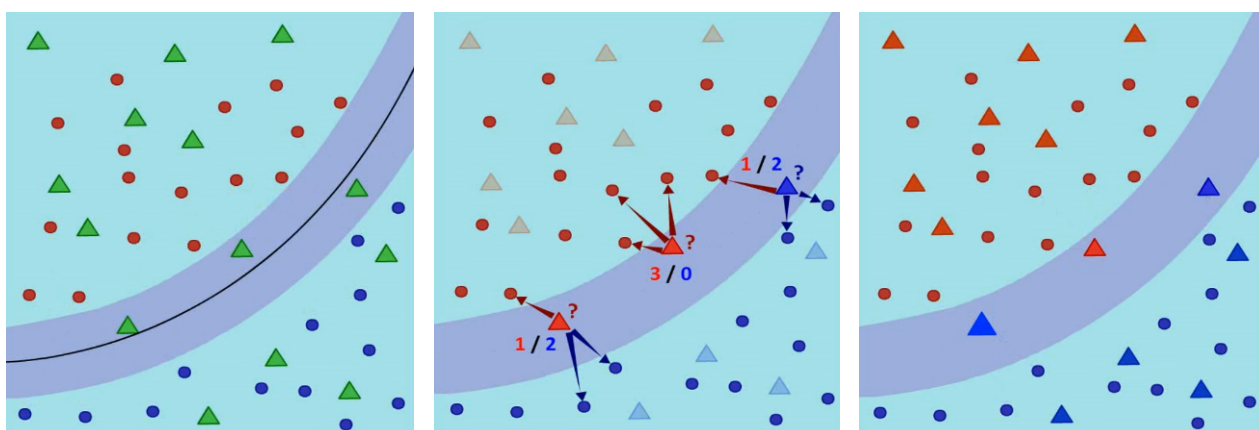


Рис. 4. Визуализация процесса классификации новых объектов с использованием SVM- и k NN-классификаторов при найденном экспериментально оптимальном числе ближайших соседей (слева – новые объекты, разделенные гиперплоскостью, в центре – уточнение результатов классификации при оптимальном числе соседей, справа – результат совместной классификации)

Для тестирования программного продукта был разработан графический редактор, позволяющий оценить результаты в случае, когда объекты заданы в двухмерном пространстве характеристик ($q=2$). Разработанный графический редактор (рис. 5) позволяет определить как точки, составляющие учебный набор (с известными метками классов), так и точки, подлежащие последующей классификации (для которых требуется определить метки классов).

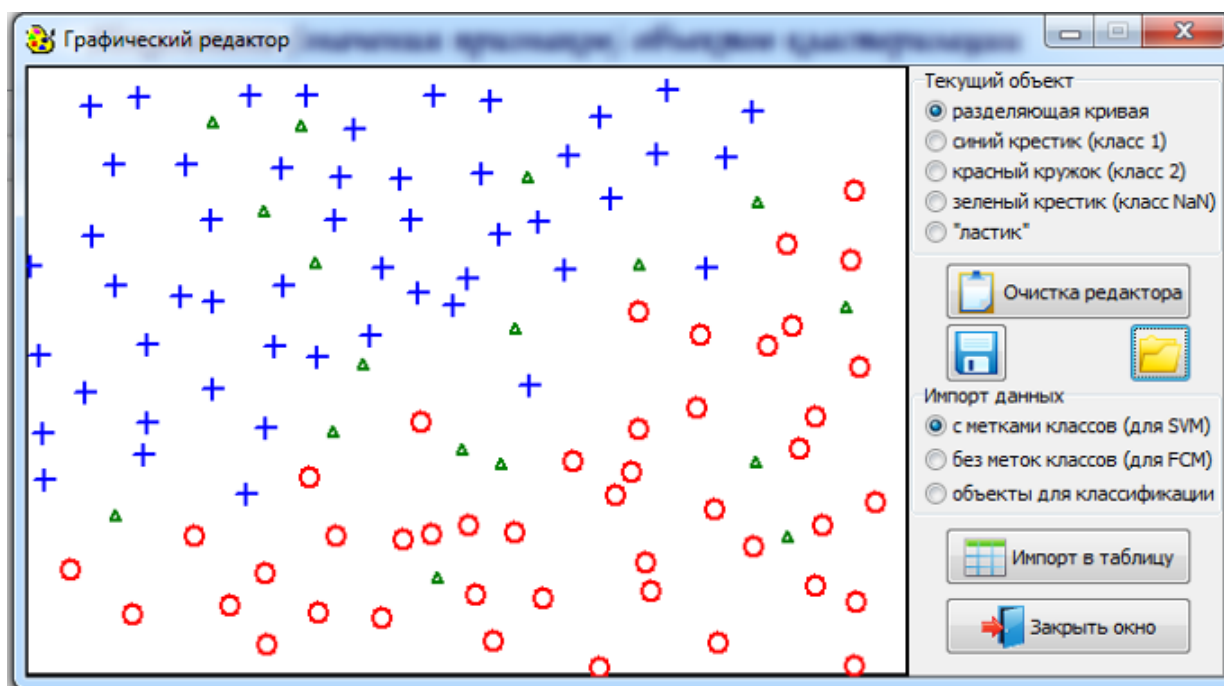


Рис. 5. Графический редактор создания тестовых наборов

Выводы

Применение k NN-алгоритма для классификации объектов, попавших внутрь разделяющей полосы, позволяет повысить качество принимаемых классификационных решений. Визуализация совместного использования SVM-алгоритма с последующим использованием k NN-алгоритма для объектов, попавших внутрь разделяющей полосы, способствует лучшему пониманию шагов процесса классификации данных.

Библиографический список

1. Vapnik V. Statistical Learning Theory. New York: John Wiley & Sons. 1998. 732 p.
2. Yu L., Wang Sh., Lai K.K., Zhou L.. Bio-Inspired Credit Risk Analysis. Computational Intelligence with Support Vector Machines. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2008. 244 p.
3. Демидова Л.А., Соколова Ю.С. Аспекты применения алгоритма роя частиц в задаче разработки SVM-классификатора // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. 2015. № 53. С. 84-92.
4. Воронцов К.В. Математические методы обучения по прецедентам (теория обучения машин). 141 с. [Электронный ресурс]. URL: www.MachineLearning.ru (дата обращения: 27.12.2016).
5. Demidova L., Sokolova Yu., Klyueva I., Stepanov N., Tyart N. Intellectual Approaches to Improvement Of the Classification Decisions Quality On the Base Of the SVM Classifier, XII International Symposium Intelligent Systems 2016, INTELS 2016. Procedia Computer Science, Vol. 103, 2016. P. 222–230.

МЕТОДИКА КЛАССИФИКАЦИИ ДАННЫХ НА ОСНОВЕ SVM-АЛГОРИТМА И АЛГОРИТМА БЛИЖАЙШИХ СОСЕДЕЙ

Л.А. Демидова, Ю.С. Соколова

Рязанский государственный радиотехнический университет,

Российская федерация, Рязань, JuliaSokolova62@yandex.ru

Аннотация. В данной работе предлагается методика классификации данных, предполагающая последовательное применение SVM- и kNN-классификаторов в соответствующих определяемых экспериментально подобластях пространства характеристик. Приведены рекомендации по применению kNN-классификатора вблизи гиперплоскости, разделяющей классы.

Ключевые слова: SVM-классификатор, опорные векторы, тип функции ядра, параметры функции ядра, параметр регуляризации, алгоритм роя частиц, kNN-классификатор, методика классификации

DATA CLASSIFICATION TECHNIQUE ON THE BASE OF THE SVM- ALGORITHM AND THE NEIGHBOURS ALGORITHM

L.A. Demidova, Yu.S. Sokolova

Ryazan State Radio Engineering University,

Russian Federation, Ryazan, JuliaSokolova62@yandex.ru

Abstract. In this paper the data classification technique, implying the consistent application of the SVM- and kNN-classifiers in the respective determined experimentally subregions of the characteristics space has been suggested. The use recommendations of the kNN-classifier near the hyperplane dividing the classes have been provided.

Keywords: SVM classifier, support vectors, kernel function type, kernel function parameters, regularization parameter, particle swarm optimization algorithm, kNN-classifier, classification technique

1. Введение

В настоящее время известно большое число разнообразных методов и алгоритмов интеллектуального анализа данных, применяемых для разработки классификаторов данных. Такие методы и алгоритмы предназначены, например, для построения линейной и логистической регрессий, байесовского классификатора, деревьев решений, решающих правил классификации, нейронных сетей и т.п. Высокое качество решения классификационных задач показывают, в частности, алгоритм опорных векторов (SVM-алгоритм, Support Vector Machine Algorithm) [1 – 6] и алгоритм k ближайших соседей (k NN-алгоритм, k Nearest Neighbors Algorithm) [6, 7].

Однако, как показывают результаты экспериментальных исследований ни один классификатор данных на настоящий момент времени не может быть признан несомненно лучшим по отношению к другим классификаторам, поскольку не позволяет обеспечить высокое качество классификации для любых произвольных наборов данных в виду специфики применяемого при его разработке инструментария и, соответственно, ограниченности его возможностей. В связи с этим было принято решение о совместном использовании SVM- и kNN-классификаторов для классификации сложноорганизованных многомерных данных.

2. Методика классификации данных

Для повышения точности классификации данных предлагается использовать следующую методику.

1. Разработать SVM-классификатор на основе исходного экспериментального набора данных.

2. Оценить качество классификации данных с применением таких показателей качества, как показатель общей точности классификации ($Accur$), показатель специфичности (Sp), показатель чувствительности (Se), показатель F -меры, показатель AUC , рассчитанный по тестовой выборке, и др., а также количество ошибок I и II рода: Er_I и Er_{II} и количество ошибок на обучающей и тестовой выборках: Er_{train} и Er_{test} .

3. Выполнить анализ возможности применения k NN-классификатора с оценкой ширины Ω -области, содержащей все ошибочно классифицированные SVM-классификатором объекты.

4. Сформировать набор данных, который будет использован для разработки k NN-классификатора (обычно мощность такого набора оказывается существенно меньше мощности исходного экспериментального набора данных).

5. Разработать k NN-классификатор с использованием различных способов голосования и различных мер расстояния с последующим выбором лучшего варианта k NN-классификатора, обеспечивающего совместно с SVM-классификатором наиболее высокую точность классификации исходного экспериментального набора данных.

6. Оценить качество итоговой классификации данных с применением таких показателей качества, как показатель общей точности классификации, показатель специфичности, показатель чувствительности, показатель F -меры, количество ошибок ошибок I и II рода.

Разработка k NN-классификатора осуществляется при различных значениях числа k ближайших соседей. В случае бинарной классификации при использовании простого невзвешенного голосования логично использовать нечетные значения k во избежание ситуаций, когда за разные классы проголосовало одинаковое число соседей.

При этом при каждом значении числа k ближайших соседей k NN применяется сначала однократно к той части вновь сформированного набора данных, которая содержит объекты, входившие в обучающий набор SVM-классификатора, а потом однократно к той части вновь сформированного набора данных, которая содержит объекты, входившие в тестовый набор SVM-классификатора.

Совместное использование вышеназванных классификаторов позволит гармонично сочетать их достоинства и нивелировать недостатки. Высокие вычислительные затраты на разработку SVM-классификатора могут быть компенсированы существенно меньшими временными затратами на разработку k NN-классификатора. При этом при разработке k NN-классификатора придется иметь дело уже не со всем исходным экспериментальным набором данных, а с набором существенно меньшей мощности, содержащим лишь данные, попавшие в Ω -область. Кроме того, использование нового дополнительного инструментария – k NN-классификатора, основанного на других принципах интеллектуального анализа данных (по сравнению с SVM-классификатором) позволит в ряде оговоренных выше случаев повысить общую точность классификации данных.

3. Экспериментальные результаты

Апробация предложенной методики интеллектуальной классификации производилась на реальных наборах данных, взятых из проекта Statlog и репозитория задач машинного обучения UCI Machine Learning Repository [3, 4], традиционно используемых для тестирования разрабатываемых алгоритмов машинного обучения. В частности, были использованы наборы данных медицинской диагностики (WDBC и Heart), кредитного скоринга (Firms и German) и обработки сигналов (Ionosphere) (таблица 1). В столбце 1 таблицы содержится название экспериментального набора, количество объектов и число характеристик у каждого объекта классификации.

При разработке SVM-классификатора первоначально использовались разные обучающие и тестовые выборки, сформированные случайным образом из эталонного набора данных с применением разных типов функций ядра со значениями параметров ядра, заданными по умолчанию. Размер тестовой выборки составлял 20% от всего эталонного набора объектов. Результаты разработки SVM-классификатора представлены в таблице 1. В столбце 2 таблицы содержится информация об используемом типе ядра (*poly* – полиномиальная, *rbf* – радиальная базисная функция ядра); в столбцах 4, 5 указано число ошибок, допущенных классификатором на обучающей и тестовой выборках; столбец 3 содержит значение показателя AUC , рассчитанное по тестовой выборке.

Для разработанного SVM-классификатора оценивалось число объектов, попавших в разделительную полосу. В рассматриваемых тестовых примерах во всех случаях все 100%

ошибочно классифицированных объектов оказались внутри разделительной полосы. Кроме того, была определена ширина Ω -области, содержащей все ошибочно классифицированные объекты (столбец 6 в таблице 1). Далее для объектов Ω -области производилось уточнение результатов классификации с помощью k NN-алгоритма при различном числе соседей (изменяющемся от 1 до 51), с использованием различных способов голосования (взвешенного и невзвешенного) и различных метрик, устанавливающих расстояние между объектами. Для каждого способа голосования определялось оптимальное число соседей (столбцы 8, 10, 12), при котором число ошибок классификации минимально (столбцы 9, 11, 13).

Таблица 1 - Результаты классификации

Набор данных	Функция ядра	Результат SVM-классификации			$\frac{1}{2}$ ширины Ω -области	число объектов в Ω -области	Результат голосования (kNN алгоритм)							Оценка качества SVM+ kNN (лучшее)							
		AUC_{test}	число ошибок				число соседей	ошибок	число соседей	ошибок	число соседей	ошибок	число соседей	ошибок	F -мера, %	$Accur$, %	Se , %	Sp , %	Число ошибок		
																			Er_{train}	Er_{test}	Er_I
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20		
Firms (60 × 11)	poly	0,9143	0 из 48	5 из 12	0,933	7	3	3	1	3	1	4	90,91/ 94,74	91,67/ 95,00	83,33/ 90,00	100/ 100	5/3	0/0	5/3		
	rbf	0,9167	1 из 48	5 из 12	0,126	6	11	1	5	2	11	1	93,55/ 98,31	93,33/ 98,33	96,67/ 96,67	90,00/ 100	1/1	3/0	4/1		
WDBC (569 × 30)	rbf	0,9887	0 из 456	11 из 113	0,076	36	13	1	13	1	13	1	98,44/ 99,86	98,07/ 99,82	97,20/ 100	99,53/ 99,53	10/0	1/1	11/1		
	rbf	0,9834	0 из 456	8 из 113	0,243	62	3	1	5	1	3	1	98,87/ 99,86	98,59/ 99,82	98,32/ 100	99,06/ 99,53	6/0	2/1	8/1		
German (1000 × 24)	rbf	0,6878	0 из 800	46 из 200	0,717	208	25	34	25	41	25	34	96,80/ 97,58	95,40/ 96,60	99,43/ 98,00	86,00/ 93,33	4/14	42/20	46/34		
	rbf	0,6684	1 из 800	56 из 200	0,719	202	25	46	33	49	25	46	96,06/ 96,75	94,30/ 95,40	99,14/ 97,86	83,00/ 89,67	6/15	51/31	57/46		
Heart (270 × 13)	rbf	0,8797	1 из 216	9 из 54	0,237	32	3	8	11	9	3	8	96,67/ 97,35	96,30/ 97,04	96,67/ 98,00	95,83/ 95,83	5/3	5/5	10/8		
	rbf	0,8857	1 из 216	9 из 54	0,208	34	45	9	47	9	45	9	95,21/ 97,01	94,81/ 96,67	92,67/ 97,33	97,50/ 95,83	11/4	3/5	14/9		
Ionosphere (351 × 34)	rbf	0,9854	1 из 281	7 из 70	0,253	19	1	6	1	6	1	6	96,90/ 97,58	97,72/ 98,29	99,21/ 96,03	96,89/ 99,56	1/5	7/1	8/6		
	rbf	0,9750	1 из 281	11 из 70	0,303	25	5	7	15	8	17	7	95,45/ 97,17	96,58/ 98,01	100/ 95,24	94,67/ 99,56	0/6	12/1	12/7		

После применения k NN-алгоритма с числом соседей и метрикой, обеспечивающими минимальное число ошибок классификации, качество итоговой классификации данных оценивалось с использованием различных показателей и сравнивалось со значениями этих показателей, полученных на основе разработанного SVM-классификатора. В таблице 1 в столбцах 14 – 20 через символ «/» записаны значения показателей качества классификации до и после применения k NN-алгоритма для классификации объектов, попавших в Ω -область, определяющую по результатам разработки SVM-классификатора.

Выводы

По результатам проведенных экспериментальных исследований можно сделать вывод о том, что использование предложенной методики повышает качество результатов классификации, поскольку применение k NN-классификатора к объектам, расположенным вблизи гиперплоскости, разделяющей классы и определенной SVM-классификатором, уменьшает число ошибочно классифицированных объектов.

Библиографический список

1. Vapnik V. Statistical Learning Theory. New York: John Wiley & Sons. 1998. 732 p.
2. Демидова Л.А., Соколова Ю.С. Аспекты применения алгоритма роя частиц в задаче разработки SVM-классификатора // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. 2015. № 53. С. 84-92.
3. Demidova L., Nikulchev E., Sokolova Yu. The SVM Classifier Based on the Modified Particle Swarm Optimization // International Journal of Advanced Computer Science and Applications (IJACSA). 2016. Vol. 7. No. 2. P. 16-24.
4. Demidova L., Sokolova Yu. Development of the SVM Classifier Ensemble for the Classification Accuracy Increase // 6th Seminar on Industrial Control Systems: Analysis, Modeling and Computation (ITM Web of Conferences). 2016. Vol. 6.

5. Демидова Л.А., Соколова Ю.С. Использование SVM-алгоритма для уточнения решения задачи классификации объектов с применением алгоритмов кластеризации // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. 2015. № 1 (51). С. 103-113.
6. Воронцов К.В. Математические методы обучения по прецедентам (теория обучения машин). 141 с. [Электронный ресурс]. URL: www.MachineLearning.ru (дата обращения: 27.12.2016).
7. Wang H., Bell D. Extended k-Nearest Neighbours Based on Evidence Theory. The Computer Journal. 2004. Vol. 47 (6). P. 662-672.

УДК 330.43; ГРНТИ 06.35.51

АНАЛИЗ ВЫЕЗДНОГО ТУРПОТОКА ИЗ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ЭКОНОМЕТРИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

В. Сорокина, О. Юрова

*Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова
Саратовский социально-экономический институт (филиал),
Саратов, sorokinavikysergeevna@mail.ru; ole-yurova@yandex.ru*

Аннотация. В данной работе проводится эконометрический анализ зависимости выездного турпотока из России от социально-экономических факторов, основанный на данных с 1993 по 2015 годы. Представлена корреляционная связь между турпотоком и уровнем реального дохода россиян для стран мира в отдельности. С помощью аддитивной и мультипликативной моделей был построен прогноз числа туристических поездок граждан России на I и II кварталы 2017 года.

Ключевые слова: турпоток, реальный среднедушевой доход, парная линейная регрессия, множественная регрессия, тест Парка, тест Бреуша-Годфри, экономический кризис, тест Чоу, коэффициент корреляции, мультипликативная модель, аддитивная модель, прогноз турпотока из России.

ANALYSIS OF TOURIST FLOW FROM RUSSIA BY ECONOMETRIC METHODS

V. Sorokina, O. Yurova

*Russian University of Economics by G.V. Plekhanov
Social and Economic Institute of Saratov (branch),
Saratov, sorokinavikysergeevna@mail.ru; ole-yurova@yandex.ru*

Abstract. This paper deals with the econometric analysis of connection between tourist flow from Russia and socio-economic factors. It is based on data from 1993 to 2015. There is correlation between the number of tourists and the level of real incomes of Russians for other countries separately. This paper presents the forecast of number of tourist trips from Russia with the help of additive and multiplicative models for the I and II quarters of 2017.

Keywords: the number of tourists, the real per capita income, steam linear regression, multiple regression, the Park test, Breusch-Godfrey test, the economic crisis, the Chow test, the correlation coefficient, the multiplicative model, additive model, tourist traffic forecast from Russia.

В современных условиях нестабильности и экономического кризиса в первую очередь под удар попадают доходы простых граждан. Конечно же, в условиях возрастающих темпов инфляции и снижения реальной покупательной способности денег, граждане вынуждены сокращать свои расходы. Одной из их статей расходов бюджета современного россиянина в последние годы были расходы на путешествия и туризм. Туристический поток из России за рубеж на протяжении последних двадцати лет сильно менялся под воздействием многих как внутренних, так и внешних факторов, что несомненно актуализирует вопросы анализа и прогнозирования в этой сфере [1]. В своей работе мы предприняли попытку с помощью точных эконометрических методов проанализировать динамику туристического потока из России за рубеж на протяжении последних двадцати лет, выявить причины его колебаний, а также спрогнозировать его значение на будущее.

Анализ статистических данных позволил построить зависимость выездного турпотока из России от социально-экономических факторов. Для эконометрического анализа в модель были включены следующие факторы:

– реальные среднедушевые доходы населения (для этого среднедушевые доходы в месяц были скорректированы на индекс потребительских цен) (тыс. рублей, а до 1998 года выражены млн рублей), – x_1 ,

- уровень инфляции (%) – x_2 ,
- официальный курс доллара (в рублях, а до 1998 года в тыс. рублей) – x_3 ,
- число туристических фирм за год по России (единиц) – x_4 ,
- уровень безработицы в стране (%) – x_5 ,
- экономический кризис и его последствия (фиктивная переменная) – x_6 .

Выбор факторов был обусловлен степенью их изолированного влияния на результат, определенный при помощи показателей парной корреляции.

Анализ поля корреляции, построения парной линейной регрессии, полулогарифмической, степенной моделей и модели вида $y = a + b \cdot \sqrt{x}$ [2] для зависимости выездного турпотока из РФ от реальных среднедушевых доходов населения и сравнения их между собой позволил сделать вывод о том, что для данной зависимости лучше использовать линейную функцию. Полученное уравнение вида: $y = 2,9444 + 0,5254 \cdot x_1$, свидетельствует о том, что при увеличении реального среднедушевого дохода в месяц на 1000 рублей, количество граждан РФ, выезжающих за границу с целью туризма, увеличивается на 525 372 человека.

Аналогичные модели были построены для выявления зависимости выезда туристов от количества туристических фирм и выявлена значимость только парной линейной регрессии. Получено уравнение вида: $y = -1,5223 + 0,0014 \cdot x_4$. Коэффициент регрессии показывает, что при увеличении количества турфирм в стране на 1 единицу, число людей, выезжающих за границу с целью туризма, увеличится на 1 400 человек.

После построения множественной регрессии ($y = 8,5219 + 0,7737 \cdot x_1 - 0,01933 \cdot x_2 - 0,15405 \cdot x_3 + 0,00047 \cdot x_4 - 0,043003 \cdot x_5$) на основе коэффициентов парной корреляции ($r_{yx1} = 0,965$, $r_{yx2} = -0,464$, $r_{yx3} = 0,656$, $r_{yx4} = 0,809$, $r_{yx5} = -0,645$) выявлено, что самая сильная связь фактора с результатом наблюдается у фактора x_1 - реальные среднедушевые доходы и фактора x_2 - числа турфирм, средняя теснота связи с турпотоком у курса доллара и уровня безработицы, а слабая связь видна у результата с фактором, отражающим уровень инфляции.

В последующем в модель были отобраны два наиболее значимых фактора, которые не коррелируют между собой: реальные среднедушевые доходы и курс доллара. Здесь отсутствует мультиколлинеарность, так как $0,5436 < 0,7$ (см. таблицу 1).

Таблица 1 - Матрица корреляций множественной регрессии

	Выезд туристов, (млн чел.) y	Реальные среднедушевые доходы в месяц (тыс. руб.) (до 1998г.-млн руб.) x_1	Курс доллара (руб.) x_3
Выезд туристов, (млн чел.) y	1	0,965405444	0,656170148
Реальные среднедушевые доходы в месяц (тыс. рублей) (до 1998г.-млн руб.) x_1	0,965405444	1	0,543636723
Курс доллара (руб.) x_3	0,656170148	0,543636723	1

Новое уравнение множественной регрессии имеет вид:

$$y = 3,6397 + 0,5812 \cdot x_1 - 0,04974 \cdot x_3.$$

Значит, увеличение реальных среднедушевых доходов населения на 1000 рублей приведет к увеличению выезда туристов из страны на 0,58 млн человек. Увеличение курса доллара на 1 рубль приведет к сокращению турпотока из России на 49 тыс. человек.

Модель была проверена на соблюдение условий Гаусса-Маркова, и определено выполнение всех пяти предпосылок. Математическое ожидание случайного отклонения равно нулю для всех наблюдений, это говорит о несмещенности оценок параметров, значит, их можно сравнивать по разным исследованиям. Произведен расчет для теста Парка, рассчитаны логарифмы значений e^2 , x_1 , x_3 , построены для каждой объясняющей переменной зависимости $\ln e^2 = \alpha + \beta \ln x$. Определена статистическая значимость полученных коэффициентов β . Сравнивая рассчитанную t-статистику с табличной (для уровня значимости $\alpha = 0,05$ и чис-

ла степеней свободы $v = n - 3 = 21$. $t_{\alpha/2; v} = t_{0,05; 20} = 2,086$), получено, что коэффициенты являются статистически незначимыми, что говорит об отсутствии в модели гетероскедастичности [6].

Тест Бреуша-Годфри позволил проверить значимость коэффициента корреляции, най-

дено наблюдаемое значение по формуле: $T = \frac{r \cdot \sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}} = -0,44424$. $T < t_{кр}(2,086)$, следовательно коэффициент корреляции не является значимым, и в модели отсутствует автокорреляция остатков случайных отклонений.

Построенная модель, на наш взгляд, давала представление о существующих факторах принятия решений гражданами нашей страны о путешествии за границу. Однако мировой экономический кризис 2014 года существенно повлиял на курс рубля по отношению к доллару [3]. В связи с этим нами было принято решение о введении в модель фиктивной переменной x_6 – фактор наличия экономического кризиса, поскольку наличие кризисных явлений в России касается всех сфер жизнедеятельности населения, в том числе влияет на выезд россиян за границу с целью туризма. Было отражено влияние на турпоток граждан РФ экономического кризиса 1998 года, а также его последствия в 1999 году, кризис в экономике России в период с 2008 по 2009 годы, а также сложная политическая и экономическая обстановка в стране в 2014-2015 годы.

При использовании 2 альтернатив введена 1 фиктивная переменная z , которая принимает значение 0 – в годы отсутствия в стране кризисных явлений, значение 1 – при наличии в указанные годы напряженной экономической и политической ситуации. Получено уравнение вида: $y = 3,6713 + 0,5884 \cdot x_1 - 0,0405 \cdot x_3 - 1,2361 \cdot z$. Тест Чоу подтверждает необходимость включения фиктивной переменной в модель. Так, остаточная сумма квадратов по кусочно-линейной модели: $C_{ост}^{кл} = C_{ост}^1 + C_{ост}^2 = 1,4415801 + 3,4562284 = 4,89780857$. Сокращение остаточной дисперсии при переходе от единого уравнения тренда к кусочно-линейной модели: $\Delta C_{ост} = C_{ост} - C_{ост}^{кл} = 27,1538284 - 4,89780857 = 22,25601$. $F_{факт} = 17,0402$; $F_{табл} = 3,20$. Так как $F_{факт} > F_{табл}$, что означает, что оценки параметров признаются значимыми и переменную x_6 следует включать в модель [4].

Таким образом, присутствие в экономике страны выраженных кризисных явлений приводит к сокращению числа туристов, выезжающих из России, в среднем на 1,24 млн человек, что является достаточно важным и существенным показателем.

Более интересными с точки зрения практической направленности нам представились результаты анализа и о количестве поездок российских граждан за границу с целью туризма в различные страны и реальных среднедушевых доходов граждан России в месяц. Были рассмотрены данные с 2007 по 2015 год. Результаты представлены в таблице 2.

Таблица 2 - Коэффициент корреляции, иллюстрирующий зависимость между реальными среднедушевыми доходами граждан России и количеством поездок российских граждан за рубеж в 2007-2015 годах

$0 < r_{xy} < 0,3$ (связь очень слабая)	Япония (0,252), Эстония (0,192)
$0,3 < r_{xy} < 0,5$ (связь слабая, но может прослеживаться)	Финляндия (0,403)
$0,5 < r_{xy} < 0,7$ (средняя связь)	Гонконг (0,505), Польша (0,615), Египет (0,658)
$0,7 < r_{xy} < 0,9$ (достаточно тесная связь)	США (0,715), Великобритания (0,779), Швейцария (0,899), Чехия (0,728), Франция (0,829), ОАЭ (0,781), Таиланд (0,763), Австрия (0,763), Болгария (0,877), Доминиканская Респ. (0,751), Индия (0,793), Литва (0,9), Латвия (0,828), Китай (0,8005), Италия (0,775), Германия (0,851), Испания (0,798), Израиль (0,799), Греция (0,761), Турция (0,848)
$0,9 < r_{xy} < 1$ (очень тесная связь)	Республика Корея (0,944), Кипр (0,901)

Можно отметить, что для таких стран как Польша, Литва, Эстония, Финляндия, Гонконг и Доминиканская Республика характерна отрицательная зависимость: с ростом реальных доходов граждан России количество поездок в эти страны сокращается, что может быть объяснимо предпочтением граждан – имея более высокие доходы выбирают для турпоездок другие страны.

Рассмотрев Топ 50 самых популярных стран по количеству посещений российскими туристами за 9 месяцев 2015 года, отметим, что большинство стран, занимающих лидирующие позиции, характеризуются высоким уровнем корреляционной связиколличества туристов из России с уровнем их реального дохода. То есть, реальные доходы россиян имеют значительное влияние на количество путешествий в самые популярные для туризма страны. Однако стоит обратить внимание на две страны (Египет и Финляндию), количество путешественников из России в которых слабо зависит от реальных доходов россиян, и, следовательно, объясняются в большей степени иными факторами (политическая обстановка, визовый режим, социальные факторы и др.)

Изучив динамику количества туристических поездок граждан России на протяжении 2013-2015 годов мы предприняли впоследствии попытку к прогнозу количества туристов в 2017 году.

Анализ коэффициентов автокорреляции позволил сделать вывод о наличии в изучаемом временном ряде сезонных колебаний периодичностью в 4 квартала. Коэффициенты автокорреляции, принимающие наибольшее значение в 4, 8 и 12 кварталах ($r_4=0,73727391$, $r_8=0,70619927$, $r_{12}=0,74868066$).

Далее было проведено моделирование сезонных колебаний с помощью расчета значений сезонной компоненты методом скользящей средней и построения мультипликативной модели временного ряда. Проведя выравнивание исходных уравнений методом скользящей средней, получили оценки сезонной компоненты как частное от деления фактических уровней ряда на центрированные скользящие средние, скорректировав ее, затем получили параметры линейного тренда: $T = 13395,64018 - 352,55523 \cdot t$. Наши прогнозные значения достаточно хорошо аппроксимируют исходные данные, представленные на рисунке 1.

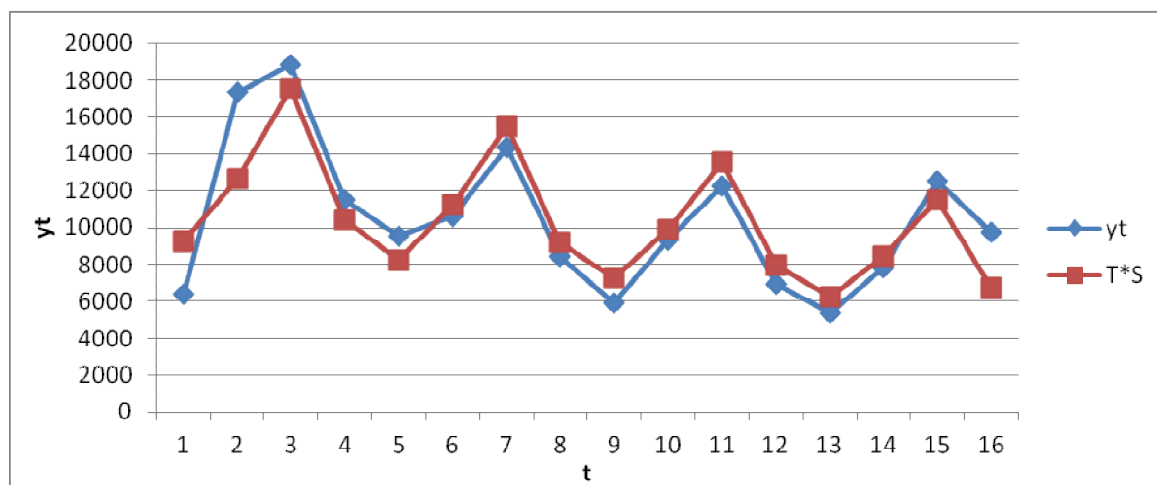


Рис. 1. Фактические значения динамики количества туристических поездок граждан России на протяжении 2013-2015 годов и теоретические, полученные на основе мультипликативной модели

С помощью построенной мультипликативной модели был составлен прогноз турпотока на 1 и 2 кварталы 2017 года. $F_{17}=T_{17} \cdot S_1(\text{квартал})= 5255$; $F_{18}=T_{18} \cdot S_2(\text{квартал})= 7030$. То есть, согласно мультипликативной модели, в первые два квартала 2017 года следует ожидать порядка 5255 и 7030 поездок граждан России за границу с целью туризма соответственно.

Кроме того, в работе была построена и аддитивная модель временного ряда.

С помощью построенной аддитивной модели также был составлен прогноз турпотока на 1 и 2 кварталы 2017 года: $F_{17}=T_{17} \cdot S_1(\text{квартал})= 4533$; $F_{18}=T_{18} \cdot S_2(\text{квартал})= 6825$. То

есть, в первые два квартала 2017 года следует ожидать порядка 4533 и 6825 поездок граждан России за границу с целью туризма соответственно. Однако с учетом влияющих на динамику факторов мы отдаем предпочтение варианту прогноза, построенного по аддитивной модели временного ряда [5]. И мультипликативная и аддитивная модель очень хорошо аппроксимируют исходные данные. Однако мультипликативная модель дает более чуть лучше результаты для прогноза, так как коэффициент множественной детерминации, который оценивает значимость модели, чуть выше, чем у аддитивной модели. Проанализировав структуру сезонных колебаний, можно заметить, что их амплитуда не постоянна. Следовательно, для прогноза следует выбрать мультипликативную модель.

Таким образом, при увеличении реального среднедушевого дохода в месяц на 1000 руб. количество людей, выезжающих за границу из РФ с целью туризма, увеличится на 525 372 человека. При увеличении числа турфирм в стране на 1 единицу количество туристов увеличивается на 1 400 человек. Увеличение курса доллара на 1 рубль приводит к сокращению турпотока из России в среднем на 49 тыс. человек. Присутствие в экономике страны кризисных явлений приводит к сокращению числа туристов в среднем на 1,24 млн человек.

Большинство стран, занимающих лидирующие позиции по популярности среди российских туристов в 2015 году, характеризуются высоким уровнем корреляционной связи с уровнем реального дохода российских туристов. То есть, реальные доходы россиян имеют значительное влияние на количество путешествий в страны, являющиеся самыми популярными по посещаемости.

Согласно мультипликативной модели, в первые два квартала 2017 года следует ожидать около 5255 и 7030 поездок граждан России за границу с целью туризма соответственно.

Прогнозное число поездок за рубеж с целью туризма граждан России на 1 и 2 квартал 2017 года меньше чем число поездок в аналогичный период 2016 года на 2% и на 11% соответственно.

Библиографический список

1. Особенности интеграции социально-экономических систем государств - участников ЕврАзЭС. Мендель А.В. // Вестник Поволжского института управления. 2014. № 3 (42). С. 79-86.
2. Проектирование систем комплексной поддержки принятия управленческих решений в организации. Мендель А.В. // В сборнике: Актуальные проблемы современного менеджмента сборник научных статей. Поволжская академия государственной службы им. П.А. Столыпина. Саратов, 2011. С. 15-21.
3. Практикум по применению экономико-математических методов и моделей в таможенном деле. Мендель А.В. Саратов, 2012.
4. Математическое моделирование в инвестиционной политике органов регионального управления. Мендель А.В. // В сборнике: Проблемы и перспективы реформирования государственной и муниципальной службы в России материалы научно-практической конференции. 2005. С. 127-129.
5. Эконометрика. Мендель А.В., Фадеева Н.П. практикум / Саратов, 2014.
6. Многомерный статистический анализ. Тиндова М.Г. // Вестник Саратовского государственного социально-экономического университета. 2011. № 1. С. 98.
7. Федеральная служба государственной статистики [Электронный ресурс], URL: <http://www.gks.ru>
8. Центральный банк Российской Федерации (Банк России) [Электронный ресурс], URL: <http://www.cbr.ru>
9. Федеральное агентство по туризму Российской Федерации [Электронный ресурс], URL: <http://www.russiatourism.ru>

ПРИМЕНЕНИЕ ПРОИЗВОДНОЙ В РЕШЕНИИ ЗАДАЧ

Н.И. Иванова, М.В. Куликова

Ярославское высшее военное училище противовоздушной обороны,
Россия, Ярославль

Аннотация. В данной работе описаны примеры применения производной для решения уравнений, доказательства неравенств, тождеств, сравнения чисел и определения количества корней уравнений. Рассмотрены примеры решения таких задачи и приведен список задач для самостоятельного решения.

Ключевые слова: производная, неравенство, тождество, сравнение, корни уравнения.

APPLICATION OF DERIVATIVE IN SOLVING PROBLEMS

N.I. Ivanova, M.V. Kulikova

Yaroslavl Higher Military School of Air Defence,
Russia, Yaroslavl

Abstract. This paper describes examples of the application of the derivative to solving equations, prove inequalities, identities, comparing the numbers and determine the number of roots equations. Examples of solutions of the problem and a list of tasks for independent solution.

Keywords: derivative, inequality, identity, comparison, the roots of the equation.

Существуют различные способы решения уравнений, доказательства тождеств, неравенств, сравнения выражений. Мы рассмотрим те задачи, которые решаются с использованием производной. Покажем наглядно, что применение производной упрощает решение задач. Для этого используем следующую теорему.

Теорема. Пусть на отрезке $[a; b]$ задана функция $f(x)$. Для того, чтобы эта функция была постоянной на этом отрезке, необходимо и достаточно, чтобы во всех точках отрезка $[a; b]$ существовала производная $f'(x)$, и чтобы она всюду на отрезке $[a; b]$ была равна 0.

Используя эту теорему, можно доказать тождество вида $f(x) = c_0$, на некотором промежутке. Для этого достаточно показать, что на этом промежутке $f(x) = c$ (c – константа) и для некоторого x_0 из этого промежутка $f(x_0) = c_0$.

Рассмотрим следующие примеры.

Пример 1. Доказать тождество $\operatorname{arctg} \frac{1+x}{1-x} - \operatorname{arctg} x = \frac{\pi}{4}, x \neq 1$.

Решение. Рассмотрим функцию $f(x) = \operatorname{arctg} \frac{1+x}{1-x} - \operatorname{arctg} x$. Эта функция определена и дифференцируема для всех $x \neq 1$. Имеем

$$f'(x) = \frac{1}{1 + \left(\frac{1+x}{1-x}\right)^2} \cdot \frac{1-x+1+x}{(1-x)^2} - \frac{1}{1+x^2} = \frac{(1-x)^2}{(1-x)^2 + (1+x)^2} \cdot \frac{2}{(1-x)^2} - \frac{1}{1+x^2} = \frac{2}{2+2x^2} - \frac{1}{1+x^2} = 0, \text{ если } x \neq 1.$$

Отсюда следует, что $f(x) = c$. Для нахождения c возьмем $x = 0$, получим $f(0) = \operatorname{arctg} 1 - \operatorname{arctg} 0 = \frac{\pi}{4}$. Этим исходное тождество доказано.

Такой способ доказательства носит некоторый самостоятельный характер, который можно использовать при доказательстве других тождеств.

Пример 2. Доказать тождество $3 \arcsin x - \arccos (3x - 4x^3) = \pi$, если $|x| \leq \frac{1}{2}$.

Решение. Рассмотрим функцию $f(x) = 3 \arcsin x - \arccos (3x - 4x^3)$ на отрезке $\left[-\frac{1}{2}; \frac{1}{2}\right]$. Докажем, что $f(x) = c$, $c = \text{const}$. Для этого достаточно доказать, что $f'(x) = 0$.

$$\begin{aligned} \text{Имеем } f'(x) &= \frac{3}{\sqrt{1-x^2}} + \frac{3-12x^2}{\sqrt{1-(3x-4x^3)^2}} = \frac{3}{\sqrt{1-x^2}} + \frac{3-12x^2}{\sqrt{(4x^3-3x+1)(-4x^3+3x+1)}} = 3 \left(\frac{1}{\sqrt{1-x^2}} + \right. \\ &\quad \left. \frac{1-4x^2}{\sqrt{(-x^2+1)(2x-1)^2(2x+1)^2}} \right) = 3 \left(\frac{1}{\sqrt{1-x^2}} + \frac{1-4x^2}{|4x^2-1|\sqrt{(-x^2+1)}} \right). \end{aligned}$$

Если $|x| \leq \frac{1}{2}$, то $|4x^2 - 1| = 4x^2 - 1$. Следовательно, $f'(x) = 0$ и $f(x) = c$. Для определения значения c вычислим значение функции $f(x)$ в произвольной точке интервала $(-\frac{1}{2}; \frac{1}{2})$. Пусть $x = 0$, тогда $f(0) = \pi$ и $c = \pi$. Вычислим значение функции на концах заданного отрезка. $f(-\frac{1}{2}) = f(\frac{1}{2}) = \pi$. Таким образом, тождество верно при любом $|x| \leq \frac{1}{2}$.

Часто вопрос доказательства неравенства существенно упрощается при применении производной. Так нахождение производной оказывается весьма эффективным, если свойства функции на первый взгляд не очевидны.

Пример 3. Доказать неравенство $20x^7 + 28x^5 + 210x - 35 \sin 2x > 0$, $x > 0$.

Доказательство. Рассмотрим функцию $f(x) = 20x^7 + 28x^5 + 210x - 35 \sin 2x$. Поскольку эта функция имеет производную $f'(x) = 140x^6 + 140x^4 + 210 - 70 \cos 2x$, которая положительна на всей числовой оси, то функция $f(x)$ возрастает на всей оси и потому принимает каждое свое значение ровно в одной точке. Следовательно, уравнение $f(x) = 0$ может иметь не более одного корня. Легко видеть, что таким корнем уравнения $f(x) = 0$ является $x = 0$. Поскольку функция $f(x)$ определена на всей прямой и непрерывна на ней, то для $x < 0$ имеем $f(x) < 0$, а при $x > 0$ имеем $f(x) > 0$. Поэтому решениями исходного неравенства являются все x из промежутка $(0; +\infty)$ и неравенство доказано.

Пример 4. Доказать неравенство $\sin x + \operatorname{tg} x \geq 2x$, $0 \leq x < \frac{\pi}{2}$.

Доказательство. Рассмотрим функцию $f(x) = 2 \sin x + \operatorname{tg} x - 3x$, для $0 \leq x < \frac{\pi}{2}$. Она дифференцируема в указанном промежутке и ее производная будет $f'(x) = 2 \cos x + \frac{1}{\cos^2 x} - 3 = \frac{2 \cos^3 x - 3 \cos^2 x + 1}{\cos^2 x} = \frac{(2 \cos^3 x - 2 \cos^2 x) + (1 - \cos^2 x)}{\cos^2 x} = \frac{2 \cos^2 x (\cos x - 1) + (1 - \cos^2 x)}{\cos^2 x} = \frac{(1 - \cos x)(1 + \cos x) + 2 \cos^2 x (\cos x - 1)}{\cos^2 x} = \frac{(1 - \cos x)(1 + \cos x - 2 \cos^2 x)}{\cos^2 x}$. Здесь $1 - \cos x \geq 0$, $\cos^2 x \geq 0$ и $1 + \cos x - 2 \cos^2 x \geq 0$ при $0 \leq x < \frac{\pi}{2}$. Поэтому $f'(x) \geq 0$, т.е. $f(x)$ – возрастающая функция, значит $f(x) \geq 0$ или $2 \sin x + \operatorname{tg} x \geq 3x$, при $0 \leq x < \frac{\pi}{2}$. Отсюда, в частности, следует, что $\sin x + \operatorname{tg} x \geq 2x$, $0 \leq x < \frac{\pi}{2}$.

А вот ещё интересный пример.

Пример 5. Доказать неравенство $\sin \sqrt{x} < \sqrt{\sin x}$ при $0 < x < \frac{\pi}{2}$.

Доказательство. Сначала предположим, что $1 \leq x < \frac{\pi}{2}$. В этом случае, т.к. $\sin x < 1$, то $\sqrt{\sin x} > \sin x$. С другой стороны, $\sqrt{x} \leq x$ и функция синус возрастающая, следовательно $\sin \sqrt{x} \leq \sin x$. Объединяя эти два неравенства, получим доказываемое неравенство в области $1 \leq x < \frac{\pi}{2}$. Предположим теперь, что $0 < x < 1$. Перепишем неравенство в эквивалентном виде (функции все положительные) $\sin^2 \sqrt{x} \leq \sin x$. Произведем замену $\sqrt{x} = t$ и перепишем неравенство в эквивалентном виде: $\sin t^2 - \sin^2 t > 0$. Заметим, что функция $f(t) = \sin t^2 - \sin^2 t$ в нуле обращается в нуль. Возьмем ее производную $f'(t) = 2t \cos t^2 - 2 \sin t \cos t$. В рассматриваемой области изменения параметра t выполняется неравенство $t > \sin t$. Также выполняется неравенство $t^2 < t$, при этом функция косинус является убывающей, следовательно $\cos t^2 > \cos t$. Итак, мы получили, что у производной $f'(t)$ каждый сомножитель t и $\cos t^2$ больше соответствующего сомножителя $\sin t \cos t$. Это означает, что производная по-

ложительная на рассматриваемой области изменения t . Так как $f(0) = 0$, то при $t > 0$ выполняется $f(t) = \sin t^2 - \sin^2 t > 0$.

Часто на олимпиадах по математике встречаются задачи на сравнение двух чисел, заданных в виде степеней. Рассмотрим несколько таких примеров.

Пример 6. Определить, что больше 100^{101} или 101^{100} ?

Решение. Рассмотрим функцию $f(x) = \frac{\ln x}{x}$. Вычислим ее производную $f'(x) = \frac{\frac{1}{x}x - \ln x}{x^2} = \frac{1 - \ln x}{x^2}$. При условии $x > e$ производная будет отрицательной. Тогда при $x > e$ функция $f(x)$ является убывающей и, следовательно, выполняется соотношение $\frac{\ln 100}{100} > \frac{\ln 101}{101}$. Отсюда получаем, что $101 \ln 100 > 100 \ln 101$, значит, $100^{101} > 101^{100}$.

Пример 7. Доказать, что $3^{\sqrt{2}} > 2^{\sqrt{3}}$.

Доказательство. Прологарифмируем это неравенство: $\ln 3^{\sqrt{2}} > \ln 2^{\sqrt{3}}, \sqrt{2} \ln 3 > \sqrt{3} \ln 2, \frac{\ln 3}{\sqrt{3}} > \frac{\ln 2}{\sqrt{2}}$. Последнее неравенство представим в виде $f(3) > f(2)$, где $f(x) = \frac{\ln x}{\sqrt{x}}, x > 0$. Найдем производную функции $f(x) = \frac{\ln x}{\sqrt{x}}$. Имеем $f'(x) = \frac{1}{x\sqrt{x}} - \frac{1}{2x\sqrt{x}} \ln x = \frac{1}{2x\sqrt{x}}(2 - \ln x)$. При $x \in (0; e^2)$ выполнено $f'(x) > 0$, значит, $f(x)$ возрастает, при $x \in (e^2; +\infty)$ выполнено $f'(x) < 0$, значит $f(x)$ убывает.

Пусть $x_1 = 2, x_2 = 3, x_1, x_2 \in (0; e^2), x_1 < x_2$. Так как функция возрастает на данном интервале, имеем $f(x_1) < f(x_2), f(2) < f(3) \Leftrightarrow \frac{\ln 3}{\sqrt{3}} > \frac{\ln 2}{\sqrt{2}} \Leftrightarrow 3^{\sqrt{2}} > 2^{\sqrt{3}}$, что и требовалось доказать.

Следует отметить, что существуют и другие способы доказательства неравенств, тождеств и сравнения чисел.

Теперь рассмотрим несколько примеров применения производной для определения количества корней уравнений и их нахождения.

Пример 8. Сколько решений имеет уравнение $(x+1) \ln x = x \ln(x+1)$.

Решение. Рассмотрим функцию $f(x) = (x+1) \ln x - x \ln(x+1)$.

Так как $f'(x) = \ln x - \ln(x+1) + \frac{x+1}{x} - \frac{x}{x+1} = \frac{2x+1}{x(x+1)} - \ln\left(1 + \frac{1}{x}\right)$, а $\ln(1+z) < z$ при $z > 0$, то $f'(x) > \frac{2x+1}{x(x+1)} - \frac{1}{x} = \frac{1}{x+1} > 0$ при $x > 0$, т.е. на области определения исходного уравнения. Кроме того, $f(+0) = -\infty, f(3) = 4 \ln 3 - 3 \ln 4 = \ln \frac{81}{64} > 0$. Поэтому функция $f(x)$ имеет один нуль, а уравнение имеет один корень.

Пример 9. Решить уравнение $2\sqrt[3]{x^2+x-1} = \sqrt{x+3} - \sqrt{x-1}$.

Решение. Определяем, что корень данного уравнения $x = 1$. Приведем уравнение к виду

$2\sqrt[3]{x^2+x-1} - \sqrt{x+3} + \sqrt{x-1} = 0, f(x) = 2\sqrt[3]{x^2+x-1} - \sqrt{x+3} + \sqrt{x-1}; D(f) = [1; +\infty); f(x) = \frac{4x+2}{3\sqrt[3]{(x^2+x-1)^2}} - \frac{1}{2\sqrt{x+3}} + \frac{1}{2\sqrt{x-1}} \Rightarrow f'(0) > 0 \Rightarrow f(x)$ возрастает на всей области

определения. Так как функция $f(x)$ возрастает на $D(f)$, то найденный корень является единственным. Имеем $x = 1$.

Пример 10. Решить уравнение $\sqrt[4]{20x+41} + \sqrt[4]{41-20x} = 4$.

Решение. Определяем, что корень данного уравнения $x = 2$. Приведем уравнение к виду $\sqrt[4]{20x + 41} + \sqrt[4]{41 - 20x} - 4 = 0$. Рассмотрим функцию $f(x) = \sqrt[4]{20x + 41} + \sqrt[4]{41 - 20x} - 4$; $D(f) = \left[-\frac{41}{20}; \frac{41}{20}\right]$. Отметим, что $f(x)$ – четная функция, поэтому $x = -2$ тоже является корнем уравнения. Поэтому достаточно доказать, что $f(x)$ является монотонной на полуинтервале $\left[0; \frac{41}{20}\right)$. Имеем $f'(x) = \frac{5}{\sqrt[4]{(20x+41)^3}} - \frac{5}{\sqrt[4]{(41-20x)^3}} \Rightarrow f'(x) \leq 0 \Rightarrow f(x)$ убывает на $\left[0; \frac{41}{20}\right)$. Значит, уравнение $\sqrt[4]{20x + 41} + \sqrt[4]{41 - 20x} = 4$, в силу четности функции $f(x)$, других корней, отличных от $x = \pm 2$, не имеет.

Заметим, что предложенные задачи можно решить и без применения производной.

Пример 11. Сколько решений имеет уравнение $(x - 1)e^x - 10x + 11 = 0$?

Решение. Введем функцию $f(x) = (x - 1)e^x - 10x + 11$. Ее производные $f'(x) = xe^x - 10$, $f''(x) = (x + 1)e^x$. При $x < 0$ $f'(x) < 0$, $f'(3) = 3e^3 - 10 > 0$. Так как при $x \geq 0$ $f''(x) > 0$, то при $x \geq 0$ $f'(x)$ возрастает. Поэтому существует точка $x_0 \in (0, 3)$ такая, что $f'(x) < 0$ при $x < x_0$, $f'(x) > 0$ при $x > x_0$. В точке x_0 функция достигает наименьшего значения. Так как $f(1,5) = 0,5(\sqrt{e})^3 - 4 < 0,5 \cdot 8 - 4 = 0$, то тем более $f(x_0) < 0$. С другой стороны $f(0) = 10 > 0$, $f(3) = 2e^3 - 19 > 0$. Поэтому на каждом промежутке $(-\infty, x_0)$ и $(x_0, +\infty)$ функция имеет по нулю и уравнение имеет два решения.

Задачи для самостоятельного решения.

1. Доказать тождество $2 \operatorname{arctg} x + \arcsin \frac{2x}{1+x^2} = \begin{cases} \pi, & x \geq 1, \\ -\pi, & x \leq -1. \end{cases}$
2. Докажите тождество $\sin^6 x + \cos^6 x = \frac{1}{4} + \frac{3}{4}(\cos^2 x - \sin^2 x)^2$.
3. Докажите неравенство $\ln^2 x > \ln(x - 1) \ln(x + 1)$ при $x > 2$.
4. Докажите неравенство $\sin 3x \sqrt[3]{\cos 2} - \sin 2 \sqrt[3]{\cos 3} > \sqrt[3]{\cos 2 \cos 3}$.
5. Сравнить числа $\cos 1$ и $1 + \cos 2$. Ответ: $\cos 1 < 1 + \cos 2$.
6. Сравнить числа $\left(\frac{1}{2011}\right)^{\frac{1}{2011}}$ и $\left(\frac{1}{2012}\right)^{\frac{1}{2012}}$. Ответ: $\left(\frac{1}{2011}\right)^{\frac{1}{2011}} < \left(\frac{1}{2012}\right)^{\frac{1}{2012}}$.
7. Найти количество действительных корней уравнения $x^3 - x^2 - x + 0,1 = 0$. Ответ: три действительных корня.
8. Докажите, что уравнение $e^x = ax^2 + bx + c$ может иметь не более трех различных корней.
9. Решить уравнение $3x^2(x^4 - 1) + |x|(x^2 + 3) = 4$. Ответ: $x = \pm 1$.
10. Решить уравнение $x^2 - x + 2 = 2\sqrt[4]{2x - 1}$. Ответ: $x = 1$.

Библиографический список

1. Демидович Б.П. Сборник задач и упражнений по математическому анализу: Учебное пособие. – 13-е изд. М.: Московский университет, ЧеРо, 1997. – 624 с.
2. Иванова Н.И. О некоторых методах доказательства неравенств. // Межвузовский сборник научных трудов «Математика и математическое образование. Теория и практика», Вып. 9. Ярославль: изд-во ЯГТУ, 2014. – 264 с.
3. Колмогоров А.Н. и др. Алгебра и начала анализа 10-11 класс. – 17-е изд. – М.: Просвещение, 2008. – 384 с.

ОЦЕНКИ ОПРЕДЕЛЕННЫХ ИНТЕГРАЛОВ

Н.И. Иванова, В.В. Третьякова

Ярославское высшее военное училище противовоздушной обороны, Россия, Ярославль

Аннотация. В статье рассматриваются различные варианты задач на тему оценок определенных интеграла. Рассмотрены основные теоремы и неравенства, которые применяются при решении таких задачи, приведен список задач для самостоятельного решения.

Ключевые слова: определенный интеграл, оценка интеграла, неравенство Коши-Буняковского, производная, неравенство, сравнение.

EVALUATION OF DEFINITE INTEGRALS

N.I. Ivanova, V.V. Tretyakova

*Yaroslavl Higher Military School of Air Defence,
Russia, Yaroslavl*

Abstract. The article discusses the various options of tasks on the topic of estimates of the definite integrals. Describes the main theorem and inequality, which are used in the solution of such tasks, lists of tasks for independent solving.

Keywords: definite integral, evaluation of integrals, the Cauchy-Schwarz inequality, derivative, inequality, comparison.

Задания, связанные с оценкой определенного интеграла в том или ином виде предлагаются на различных студенческих математических олимпиадах. Опыт участия в таких олимпиадах показывает, что выигрывают олимпиады не гении, а те студенты, у которых была лучшая подготовка. Лучшая подготовка означает не большее количество решенных задач, а большее количество освоенных методов и умение применить их к незнакомым задачам. В [1] предложена методика парных задач, которая достаточно эффективна для подготовки студентов и курсантов к математическим олимпиадам любого уровня, которой можно воспользоваться в условиях нехватки времени. Суть методики заключается в следующем: каждая новая тема представляется парой задач, первая из которых предлагается с решением, хотя обязательно дается время подумать над ней самостоятельно, а ко второй предлагается только ответ. Таким образом, решение первой задачи как бы учит решать вторую. В зависимости от наличия времени и сложности рассматриваемой темы, задач по теме может быть и больше двух, это повысит качество усвоения новых методов решения. Мы рассмотрим возможные пары задач по оценке интегралов. Но сначала перечислим некоторые факты, которыми удобно пользоваться при решении таких задач.

Теорема об оценке определенного интеграла. Если функция $f(x)$ интегрируема на $[a, b]$ и удовлетворяет неравенствам $m \leq f(x) \leq M$ всюду на $[a, b]$, то $m(b-a) \leq \int_a^b f(x) dx \leq M(b-a)$.

Теорема об интегрировании неравенств. Если функции $h(x)$, $f(x)$, $g(x)$ интегрируемы на $[a, b]$ и удовлетворяют неравенствам $h(x) \leq f(x) \leq g(x)$ всюду на $[a, b]$, то $\int_a^b h(x) dx \leq \int_a^b f(x) dx \leq \int_a^b g(x) dx$.

Неравенство Коши-Буняковского. Если функции $f(x)$, $g(x)$ интегрируемы на $[a, b]$, то выполняется неравенство $\left| \int_a^b f(x)g(x) dx \right| \leq \sqrt{\int_a^b f^2(x) dx} \sqrt{\int_a^b g^2(x) dx}$.

Кроме того, возможно применение некоторых свойств определенного интеграла.

- 1) Если функции $f(x)$ и $|f(x)|$ интегрируемы на $[a, b]$, то выполняется неравенство $\left| \int_a^b f(x) dx \right| \leq \int_a^b |f(x)| dx$.
- 2) Если функция $f(x) \geq 0$ и $\int_a^b f(x) dx = 0$ ($a \neq b$), то $f(x) \equiv 0$ при любом $x \in [a, b]$.

Также может быть полезным следующее утверждение.

Если функция $f(x)$ выпукла вверх (вниз) на $[a, b]$, то ее график находится между секущей, проведенной через точки $(a, f(a))$ и $(b, f(b))$, и касательной к графику, в любой его точке из промежутка $[a, b]$.

Рассмотрим некоторые примеры.

Пример 1. Сравнить интегралы $\int_0^1 e^{-x} dx$ и $\int_0^1 e^{-x^2} dx$.

Решение. Так как при любом $x \in [0,1]$ верно неравенство $x^2 \leq x$, тогда выполняются неравенства $e^{x^2} \leq e^x$ и $e^{-x^2} \geq e^{-x}$, причем равенство возможно только на концах отрезка. Интегрируя последнее неравенство, находим, $\int_0^1 e^{-x^2} dx \geq \int_0^1 e^{-x} dx$. Допустим, что $\int_0^1 e^{-x^2} dx = \int_0^1 e^{-x} dx$, тогда, $\int_0^1 (e^{-x^2} - e^{-x}) dx = 0$, а это значит, что подынтегральная функция $(e^{-x^2} - e^{-x}) = 0$ при любом $x \in [0,1]$, что не верно. Таким образом, получаем $\int_0^1 e^{-x^2} dx > \int_0^1 e^{-x} dx$.

Пример 2. Сравнить интегралы $\int_0^{\pi/2} \sin^{10} x dx$ и $\int_0^{\pi/2} \sin^3 x dx$.

Ответ: $\int_0^{\pi/2} \sin^3 x dx > \int_0^{\pi/2} \sin^{10} x dx$.

Пример 3. Показать, что $4e^{-2} \leq \int_{-2}^2 e^{x^3-3x} dx \leq 4e^2$.

Решение. Рассмотрим $f(x) = e^{x^3-3x}$ на $[-2,2]$, тогда $f'(x) = 3e^{x^3-3x}(x^2 - 1)$. Найдем наибольшее M и наименьшее m значения функции на данном отрезке. Имеем $M = e^2$, $m = e^{-2}$. Оценивая интегралы, получим, $4e^{-2} \leq \int_{-2}^2 e^{x^3-3x} dx \leq 4e^2$.

Пример 4. Показать, что $2e^{-1/4} \leq \int_0^2 e^{x^2-x} dx \leq 2e^2$, [2].

Пример 5. Показать, что $\frac{4}{3} \leq \int_0^1 e^{x^2} dx \leq \frac{e+1}{2}$.

Решение. Покажем, что $e^{x^2} \geq 1 + x^2$. Рассмотрим функцию $f(x) = e^{x^2} - 1 - x^2$, тогда $f'(x) = 2x(e^{x^2} - 1) \geq 0$, когда $x \in (0, +\infty)$, причем равенство возможно только при $x = 0$. Значит, функция возрастает на $(0, +\infty)$. Тогда, $M = f(0) = 0$ есть наименьшее значение функции $f(x)$ на $[0, +\infty)$, значит, $e^{x^2} - 1 - x^2 \geq 0$, отсюда $e^{x^2} \geq 1 + x^2$. Интегрируя это неравенство, находим, $\int_0^1 e^{x^2} dx \geq \int_0^1 (1 + x^2) dx = \left(x + \frac{x^3}{3}\right) \Big|_0^1 = \frac{4}{3}$. Чтобы получить вторую оценку интеграла, заметим, что функция $g(x) = e^{x^2}$ на $(0, +\infty)$ монотонно возрастает, так как $g'(x) = 2xe^{x^2} > 0$, и выпуклая вниз, так как $g''(x) = 2e^{x^2}(1 + 2x^2) > 0$ при любом x из этого интервала. Тогда, график функции $g(x)$, $x \in (0,1]$ расположен ниже прямой $y = (e-1)x + 1$. Отсюда получаем $e^{x^2} \leq (e-1)x + 1$. Интегрируя, находим $\int_0^1 e^{x^2} dx \leq \int_0^1 ((e-1)x + 1) dx = \left((e-1)\frac{x^2}{2} + x\right) \Big|_0^1 = \frac{e+1}{2}$.

Пример 6. Показать, что $\frac{1}{e} \leq \int_0^1 e^{-x^2} dx \leq \frac{\pi}{4}$, [2].

Пример 7. Показать, что $\frac{\pi}{6} \leq \int_0^1 \frac{dx}{\sqrt{4-x^2-x^3}} \leq \frac{\pi\sqrt{2}}{8}$, [3].

Решение. При любом $x \in [0,1]$ выполняются неравенства $\frac{1}{\sqrt{4-x^2}} \leq \frac{1}{\sqrt{4-x^2-x^3}} \leq \frac{1}{\sqrt{4-2x^2}}$, тогда интегрируя, находим $\int_0^1 \frac{dx}{\sqrt{4-x^2}} \leq \int_0^1 \frac{dx}{\sqrt{4-x^2-x^3}} \leq \int_0^1 \frac{dx}{\sqrt{4-2x^2}}$. Так как $\int_0^1 \frac{dx}{\sqrt{4-x^2}} = \arcsin \frac{x}{2} \Big|_0^1 = \frac{\pi}{6}$ и $\int_0^1 \frac{dx}{\sqrt{4-2x^2}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \arcsin \frac{x}{\sqrt{2}} \Big|_0^1 = \frac{\pi\sqrt{2}}{8}$, то получаем $\frac{\pi}{6} \leq \int_0^1 \frac{dx}{\sqrt{4-x^2-x^3}} \leq \frac{\pi\sqrt{2}}{8}$.

Пример 8. Оценить интеграл $\int_{10}^{18} \frac{\cos x}{\sqrt{1+x^4}} dx$, [3].

Ответ: $\left| \int_{10}^{18} \frac{\cos x}{\sqrt{1+x^4}} dx \right| \leq 0,08$.

Пример 9. Функция $f(x)$ непрерывна на $[a,b]$, $0 \leq f(x) \leq M$, для всех $x \in [a,b]$ выполняется неравенство $\int_a^b f(x) dx = M^{\frac{3}{2}}$. Доказать, что $\int_a^b \sqrt{f(x)} dx \geq M$, [3].

Пример 10. Без помощи калькулятора доказать, что $\int_0^1 \sqrt{\sin \pi x} dx < 0,8$, [4].

Решение. Используя неравенство Коши-Буняковского, находим $\int_0^1 \sqrt{\sin \pi x} dx \leq \sqrt{\int_0^1 dx} \sqrt{\int_0^1 (\sqrt{\sin \pi x})^2 dx} = \sqrt{x} \Big|_0^1 \sqrt{\left(-\frac{1}{\pi} \cos \pi x\right) \Big|_0^1} = \sqrt{\frac{2}{\pi}}$, так как $\sqrt{\frac{2}{\pi}} < 0,8$, то получаем требуемое $\int_0^1 \sqrt{\sin \pi x} dx < 0,8$.

Пример 11. Показать, что $1,098 < \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sqrt{x \sin x} dx < 1,110$, [4].

Пример 12. Пусть функция $f(x)$ интегрируема на отрезке $[0,1]$, причем $|f(x)| \leq 1$. Доказать неравенство $\int_0^1 \sqrt{1 - f^2(x)} dx \leq \sqrt{1 - \left(\int_0^1 f(x) dx\right)^2}$.

Решение. Применяя неравенство Коши-Буняковского к $\int_0^1 \sqrt{1 - f^2(x)} dx$, находим $\int_0^1 \sqrt{1 - f^2(x)} dx \leq \left| \int_0^1 \sqrt{1 - f^2(x)} dx \right| \leq \sqrt{\int_0^1 dx} \sqrt{\int_0^1 (\sqrt{1 - f^2(x)})^2 dx} = \sqrt{\int_0^1 |1 - f^2(x)| dx} = \sqrt{\int_0^1 (1 - f^2(x)) dx} = \sqrt{1 - \int_0^1 f^2(x) dx}$.

Применяя неравенство Коши-Буняковского к выражению $\left(\int_0^1 f(x) dx\right)^2$, находим $\left(\int_0^1 f(x) dx\right)^2 \leq \int_0^1 dx \int_0^1 f^2(x) dx = \int_0^1 f^2(x) dx$.

Следовательно, $\int_0^1 \sqrt{1 - f^2(x)} dx \leq \sqrt{1 - \int_0^1 f^2(x) dx} \leq \sqrt{1 - \left(\int_0^1 f(x) dx\right)^2}$, что и требовалось доказать.

Пример 13. Для функций $f(x)$ и $g(x)$ непрерывных на $[a, b]$, доказать неравенство $\left(\left(\int_a^b f(x) dx\right)^2 + \left(\int_a^b g(x) dx\right)^2\right)^{\frac{1}{2}} \leq \int_a^b (f^2(x) + g^2(x))^{\frac{1}{2}} dx$, [4].

Пример 14. Доказать, что для дважды непрерывно дифференцируемой 2π - периодической вещественной функции $f(x)$ выполняется неравенство

$$\left(\int_0^{2\pi} (f'(x))^2 dx\right)^2 \leq \int_0^{2\pi} (f''(x))^2 dx \int_0^{2\pi} (f(x))^2 dx.$$

Решение. При $f(x) = 0$ неравенство тривиально выполнено. При $f(x) \neq 0$, заметим, что $\int_0^{2\pi} (f'(x))^2 dx = \int_0^{2\pi} f'(x) f'(x) dx = \int_0^{2\pi} f'(x) d(f(x))$. Интегрируя по частям, находим $\int_0^{2\pi} f'(x) d(f(x)) = f'(x) f(x) \Big|_0^{2\pi} - \int_0^{2\pi} f(x) f''(x) dx = - \int_0^{2\pi} f(x) f''(x) dx$, здесь первое слагаемое исчезнет в силу 2π - периодичности вещественной функции $f(x)$. Отсюда $\left(\int_0^{2\pi} (f'(x))^2 dx\right)^2 = \left(\int_0^{2\pi} f(x) f''(x) dx\right)^2$. Используя неравенство Коши-Буняковского, находим $\left(\int_0^{2\pi} f(x) f''(x) dx\right)^2 \leq \int_0^{2\pi} f^2(x) dx \int_0^{2\pi} (f''(x))^2 dx$. Таким образом, получаем $\left(\int_0^{2\pi} (f'(x))^2 dx\right)^2 \leq \int_0^{2\pi} (f''(x))^2 dx \int_0^{2\pi} (f(x))^2 dx$.

При наличии времени в систему по подготовке к олимпиадам можно включить группу задач по одной теме, что, безусловно, повысит качество усвоения новых методов решения таких задач и, как следствие, качество подготовки студентов и курсантов к математическим олимпиадам различных уровней.

Библиографический список

1. Иванова Н.И. Методика парных задач при подготовке студентов и курсантов к математическим олимпиадам. // Сборник статей III Международной научно-практической конференции «Актуальные вопросы педагогики и психологии». Пенза: Наука и просвещение, 2017. – С. 114-117.
2. Берман Н.Г. Сборник задач по курсу математического анализа. – М.: Наука, 1975. -С. 110-112, 136.
3. Данко П.Е., Попов А.Г., Кожевникова Т.Е. Высшая математика в примерах и задачах. Часть 1. – М.: ОНИКС 21 век, Мир и Образование, 2003. – С. 245.
4. Попов И.Ю. Задачи повышенной сложности в курсе высшей математики. – СПб.: СПбГУ ИТМО, 2008. - С.38-40.

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА ОТ ВОЗДЕЙСТВИЯ АВТОТРАНСПОРТА

И.Г. Казьмина*, К.Ю. Гусев**

** ВУНЦ ВВС «ВВА им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»,
Россия, Воронеж, innmix@yandex.ru*

*** Воронежский государственный технический университет,
Россия, Воронеж, gusev_konstantin@mail.ru*

Аннотация. Рассматривается имитационное моделирование загрязнения атмосферного воздуха от воздействия автотранспортного комплекса как инструмент эффективного управления системой социально-гигиенического мониторинга.

Ключевые слова: имитационная модель, автотранспортный комплекс, управляющее воздействие, атмосферный воздух.

THE SIMULATION MODEL OF AIR POLLUTION FROM EXPOSURE TO MOTOR TRANSPORT COMPLEX

I.G. Kazmina*, K.Y. Gusev**

** Military Educational and Scientific Centre of the Air Force N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin
Air Force Academy,*

Russia, Voronezh, innmix@yandex.ru

*** Voronezh State Technical University,*

Russia, Voronezh, gusev_konstantin@mail.ru

Abstract. Discusses the simulation modelling of air pollution from exposure of motor transport as a tool for effective management system of socio-hygienic monitoring.

Keywords: the simulation model, the motor complex, the control action of the atmospheric air.

Современные промышленно развитые города – центры острейших экологических проблем, связанных с загрязнением атмосферного воздуха. Одним из постоянно растущих источников негативного воздействия на воздушный бассейн городов является автотранспорт [1].

По материалам доклада о природоохранной деятельности городского округа город Воронеж в 2015 году парк автомобилей в городе по сравнению с 2014 годом увеличился на 29459 единиц и на 01.01.2016 года составил 383379 автомашин. Эта тенденция расти непосредственно отражается и на количестве загрязняющих веществ, поступающих в атмосферу от автотранспорта, которое составляет более 90 % от совокупного выброса всех загрязняющих веществ. На величину выбросов влияют как техническое состояние эксплуатируемого подвижного состава и качество дорожного покрытия, так и организация движения транспортных средств по улично-дорожной сети [2]. Таким образом, повышение эффективности регулирования городской транспортной системы является особенно актуальным в современных условиях.

В данной статье рассматривается имитационное моделирование загрязнения атмосферного воздуха от воздействия автотранспортного комплекса в качестве эффективного инструмента управления системой социально-гигиенического мониторинга. Для реализации поставленной цели были сформулированы и решены следующие задачи:

- выбор участка транспортной сети;
- выбор методов и средств имитационного моделирования;
- сбор статистических данных и разработка имитационной модели участка транспортной сети;
- испытание модели и анализ результатов.

Наиболее сложными с точки зрения управления элементами транспортной сети являются перекрестки, в частности, перекрестки с крестообразным движением. Для работы был выбран участок пересечения улицы Димитрова и Ленинского проспекта города Воронеж, так как данный участок является одним из самых проблемных. Он находится в оживленном районе, в котором расположено значительное количество магазинов и офисов. Таким образом, данный участок транспортной сети характеризуется большой интенсивностью движения, из-

за чего на нем часто возникают заторы и дорожно-транспортные происшествия, и, следовательно, наблюдаются высокие уровни загрязнения атмосферного воздуха.

К основным статистическим данным, необходимым для построения имитационной модели участка улично-дорожной сети, относятся:

- количество транспортных средств, движущихся по всем направлениям;
- качественный состав транспортного потока (эти данные необходимы ввиду различного пробегового выброса загрязняющих веществ каждого из типов транспортных средств);
- скоростной режим движения транспортного потока;
- наличие регулируемых и нерегулируемых пешеходных переходов;
- светофорные циклы на регулируемых перекрестках дорожной сети.

Для получения данной информации использовался способ непосредственного наблюдения. Подсчет количества автомобилей осуществлялся посредством натурного обследования, скорости движения транспортного потока были определены с помощью службы «Яндекс. Пробки». Для обеспечения достоверности и надежности данных, исследование проводилось в будние и выходные дни по нескольким промежуткам времени, которые характеризуются различным уровнем загрузки транспортной сети.

Разработка графической части имитационной модели заключается в построении визуального отображения участка улично-дорожной сети – дорог, светофоров, пешеходных переходов, попадающих в участок моделирования. Разработанная модель является максимально приближенной к реальной. Она позволяет переключаться между интервалами времени и форматами анимации для более детального изучения транспортной ситуации.

Разработка агентной части имитационной модели заключается в построении диаграммы процесса, описывающей логику движения агентов (транспортных средств и пешеходов).

В рамках разработанной имитационной модели в режиме реального времени рассчитываются уровни загрязнения атмосферного воздуха от автотранспортного потока, находящегося в системе. Расчеты выбросов выполняются для следующих вредных веществ, поступающих в атмосферу с отработавшими газами автомобилей:

- оксид углерода (CO);
- оксиды азота NO_x (в пересчете на диоксид азота);
- углеводороды (CH);
- сажа;
- диоксид серы (SO_2);
- соединения свинца;
- формальдегид;
- бенз(а)пирен.

В данной имитационной модели используется методика определения выбросов автотранспорта для проведения сводных расчетов загрязнения атмосферы городов [3]. Выброс i -го загрязняющего вещества (г/с) движущимся автотранспортным потоком на автомагистрали (или ее участке) с фиксированной протяженностью L (км) определяется по формуле:

$$M_{L_i} = \frac{L}{3600} \sum_1^k M_{k,i}^{\Pi} \cdot G_k \cdot k_{V_{k,i}},$$

где $M_{k,i}^{\Pi}$ (г/км) – пробеговой выброс i -го вредного вещества автомобилями k -й группы для городских условий эксплуатации (табличная величина); k – количество групп автомобилей; G_k (1/час) – фактическая наибольшая интенсивность движения, т.е. количество автомобилей каждой из k групп, проходящих через фиксированное сечение выбранного участка автомагистрали в единицу времени в обоих направлениях по всем полосам движения; $k_{V_{k,i}}$ – поправочный коэффициент, учитывающий среднюю скорость движения транспортного потока

(табличная величина); $\frac{1}{3600}$ – коэффициент пересчета «час» в «сек»; L (км) – протяженность автомагистрали (или ее участка) из которого исключена протяженность очереди автомобилей перед запрещающим сигналом светофора и длина соответствующей зоны перекрестка (для перекрестков, на которых проводились дополнительные обследования).

Разработанная имитационная модель позволяет проводить различные эксперименты по поиску наилучшего варианта настройки регулируемых параметров выбранного участка улично-дорожной сети. К регулируемым, или управляемым, параметрам модели можно отнести: интенсивность движения автотранспорта; интенсивность пешеходного потока на нерегулируемых перекрестках; величину пробегового выброса (при изменении качественного состава транспортного потока) и др.

Полученные оценки эффективности мероприятий для управления качеством атмосферного воздуха в системе социально-гигиенического мониторинга, обеспечивающих снижение концентрации загрязняющих веществ в атмосфере, были проверены на основе разработанной имитационной модели загрязнения атмосферного воздуха от транспортного потока. Результаты приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Сравнительная оценка эффективности управляющих воздействий

Мероприятие	Эффективность на основе имитационной модели, %	Управляемый параметр модели
Строительство подземного пешеходного перехода	80	интенсивность движения
Переход на гибридные легковые автомобили	45	величина пробегового выброса
Реконструкция перекрестка с организацией кругового движения (радиус 60 метров)	35	интенсивность движения
Строительство объездной дороги	25	интенсивность движения
Реконструкция перекрестка с организацией кругового движения (радиус 30 метров)	15	интенсивность движения

На рисунке 1 показано рабочее окно имитационной модели движения автотранспортного потока и связанного с ним загрязнения атмосферного воздуха.



Рис. 1. Имитационная модель движения автотранспортного потока

На рисунке 2 показан график изменения уровня количества выбросов загрязняющих веществ от автотранспортных средств до и после изменения управляемых параметров модели.

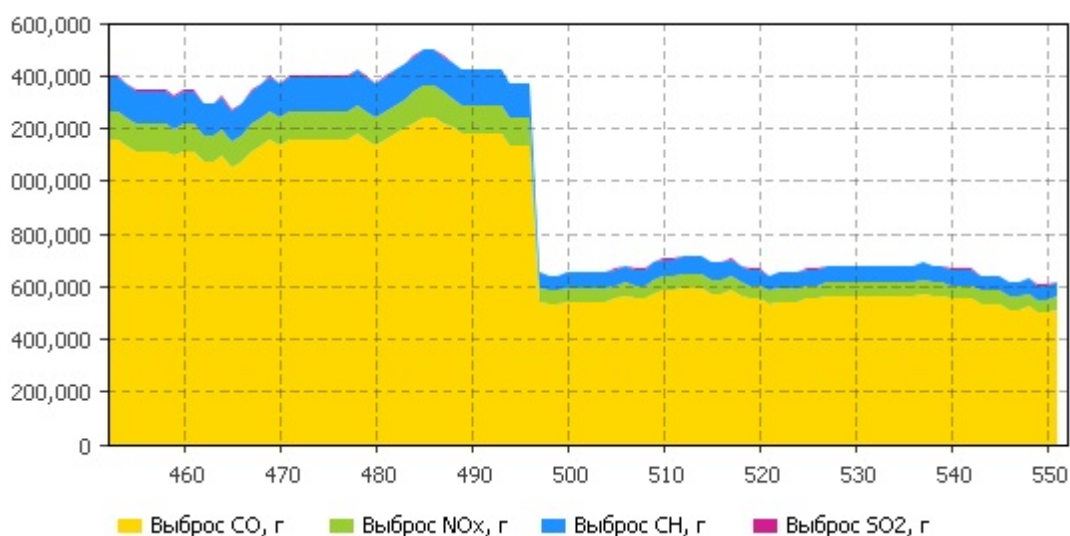


Рис. 2. Уровень загрязнения атмосферного воздуха в имитационной модели

Разработанная имитационная модель перекрестка (на примере пересечения улицы Димитрова и Ленинского проспекта) позволяет без экспериментов на реальном участке улично-дорожной сети принимать эффективные решения по настройке регулируемых параметров модели с целью управления качеством атмосферного воздуха в системе социально-гигиенического мониторинга.

Библиографический список

1. Якушев, А.Б. Экологическая оценка воздействия автотранспорта на воздушный бассейн городов Центрально-Черноземья: монография / А.Б. Якушев, С.А. Куролап, М.А. Карпович. – Воронеж: Научная книга, 2013. – 207 с.
2. Доклад о природоохранной деятельности городского округа город Воронеж в 2015 году/ Управление экологии администрации городского округа город Воронеж. – Воронеж, 2016. – 46 с.
3. Методика определения выбросов автотранспорта для проведения сводных расчетов загрязнения атмосферы городов. – Москва, 1999. – 9 с.

СИНТЕЗАТОР СИГНАЛОВ ЗАДАННОЙ ФОРМЫ НА БАЗЕ ПЛИС

Д.С. Мартенс-Атюшев

*Пензенский государственный технологический университет,
Россия, Пенза, Novoselich93@mail.ru*

Аннотация. В статье рассматривается вариант реализации синтезатора сигналов заданной формы на базе ПЛИС. Приводятся временные диаграммы моделирования устройства. В заключении приводятся выводы по работе.

Ключевые слова: синтезатор частоты, импульс, генератор, диаграмма, реализация, алгоритм.

DIGITAL SYNTHESIS PREDETERMINED SHAPE ON FPGA

D.S. Martens-Atushev

*Penza State Technological University,
Russia, Penza, Novoselich93@mail.ru*

Abstract. The article considers the variant of implementation of the synthesizer of signals of a given shape based on FPGA. Are time diagrams of simulation of the device. In conclusion, given the conclusions of the work.

Keywords: frequency synthesizer, pulse, generator, diagram, implementation, algorithm

Неотъемлемым элементом большинства радиотехнических устройств являются системы синтеза частот и сигналов. Одним из основных типов синтезаторов частот являются цифровые вычислительные синтезаторы (ЦВС). В зарубежных источниках, как правило, используется близкий по содержанию термин Direct Digital Synthesizer (DDS) – прямой цифровой синтезатор. Анализ тенденций их развития является весьма актуальной задачей.

Задачей, поставленной в статье, является разработка устройства, предназначенного для синтеза прямоугольных, треугольных и синусоидальных гармонических немодулированных и модулированных сигналов. Под термином «синтезатор частоты» понимают электронное устройство, способное из опорной частоты получать на выходе требуемую частоту или набор частот, согласно управляющим сигналам. Наиболее распространенными являются следующие виды синтеза сигналов: синтез сигналов с использованием широтно-импульсной модуляции (ШИМ); прямой цифровой синтез сигналов (Direct Digital Synthesis, или DDS) [1]. Простейшая схема генератора – на основе ШИМ. Синтез сигнала осуществляется с помощью микроконтроллера (МК). ШИМ позволяет, регулируя скважность импульсов, получать нужную постоянную амплитуду сигнала. Чем шире импульс, тем выше выходное напряжение на фильтре. Напряжение можно менять в пределах от нуля до напряжения питания. Таким образом, если написать определенную программу для регулирования скважности импульсов, то на выходе можно получить сигнал любой формы, в том числе синусоидальный. Для получения синусоидального сигнала на вход ЦАП необходимо подать последовательность отсчетов функции синус, следующих с частотой дискретизации F_{elk} . Закон изменения функции синус во времени сложен и цифровыми методами просто не реализуется. Наиболее подходящим методом формирования отсчетов функции синус является табличный метод. Перекодировочная таблица размещается в ПЗУ [2]. Код, который подается на адресные входы ПЗУ является аргументом функции синус, а выходной код ПЗУ равен значению функции для данного аргумента. Аргумент функции синус, или фаза, в отличие от значения функции, меняется во времени линейно. Сформировать линейно меняющуюся во времени последовательность кодов можно с помощью схемы накапливающего сумматора. Скорость изменения фазы задается кодом частоты. Далее с помощью ПЗУ линейно изменяющаяся фаза преобразуется в изменяющиеся по синусоидальному закону отсчеты выходного сигнала. Эти отсчеты поступают на ЦАП, на выходе которого формируется синусоидальный сигнал, состоящий из «ступенек». Эти «ступеньки» фильтруются с помощью аналогового ФНЧ, на выходе которого получается синусоидальный сигнал [2, 3]. Простейшая схема такого генератора показана на рисунке 1.

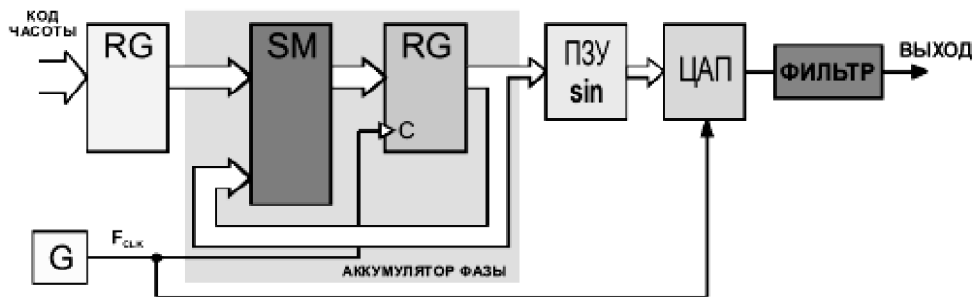


Рис. 1. Простейшая схема DDS генератора

Основное назначение ПЛИС состоит в реализации IP-ядра DDS генератора. Источник тактового сигнала DDS является главным источником фазовых шумов. В устройстве применяется внешний высококачественный генератор опорной частоты.

Для получения требуемой максимальной частоты выходного сигнала должно соблюдаться неравенство: отношение частоты дискретизации к максимальной выходной частоте должно быть больше четырех. При максимальной частоте выходного сигнала в 20 МГц, оптимальным будет значение опорного генератора – 100 МГц. При такой опорной частоте преобразование цифровых отсчётов DDS в аналоговый сигнал должно осуществляться микросхемой ЦАП со скоростью не ниже 100 миллионов выборок в секунду. В разрабатываемом устройстве применяется 14-разрядный двухканальный ЦАП со скоростью обновления 125 миллионов выборок в секунду.

Моделирование работы проекта в рамках пакета ModelSim. Для проверки функционирования устройства создан испытательный стенд. На входы устройства подаются воздействующие сигналы, и проверяется его поведение. Результаты запуска моделирования, с установкой частоты синтезируемого сигнала 1 кГц, представлены в виде окна с временными диаграммами. Общая продолжительность моделирования составляет 4 мс [4-10]. На рисунке 2 (а) показано окно диаграммы синусоидального сигнала. Диаграммы прямоугольного и треугольного сигналов показаны на рисунке 2 (б) и 2 (в) соответственно.

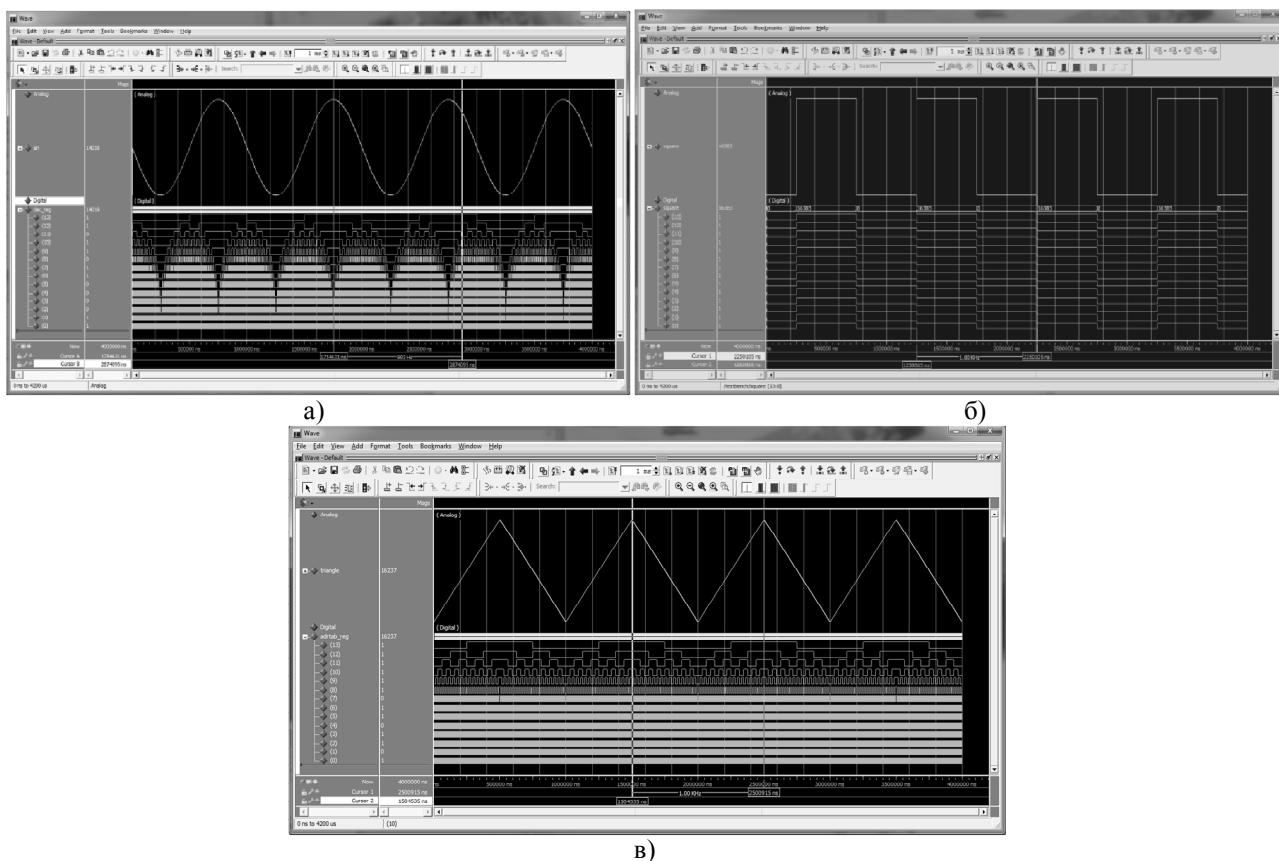


Рис. 2. Диаграммы синусоидального (а), прямоугольного (б) и треугольного (в) сигнала

На всех диаграммах показаны сигналы, разделённые на две группы. Первая группа под названием «Analog» отображает значения отсчетов, поступающих на ЦАП, представленных в аналоговом виде. Аналоговый вид представления сигнала наглядно показывает, как будет выглядеть синтезируемый сигнал после цифро-аналогового преобразования. В нижней части экрана показано значение частоты синтезируемого сигнала, измеренное между маркерами «Cursor A» и «Cursor B». Вторая группа сигналов «Digital» сигналы представлены в виде развёрнутой шины, каждый разряд которой показан в виде логического сигнала.

Выводы. В статье были рассмотрены варианты для реализации цифрового синтезатора сигналов заданной формы на базе ПЛИС. На испытательном стенде были промоделированы алгоритмы работы устройства и получены соответствующие диаграммы.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (Грант № 16-07-00012 А).

Библиографический список

1. Максфилд К. Проектирование на ПЛИС: Архитектура, средства и методы. Курс молодого бойца, – М.: Додэка-XXI, 2007. – 408 с. (Серия «Программируемые системы»).
2. Ушенина И.В. Реализация респределенного цифрового фильтра с настраиваемыми параметрами на микросхемах программируемой логики [Текст] / И.В. Ушенина, В.Н. Елизаров, В.А. Варнавский // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 3. С. 80.
3. Ушенина И.В. Реализация алгоритмов цифровой адаптивной фильтрации на ПЛИС [Текст]. XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2012. – №1 (5). – С. 134-138.
4. Мартенс-Атюшев Д.С., Мартышкин А.И. Реконфигурируемый вычислительный кластер для цифровой обработки сигнала // в сб.: Современные методы и средства обработки пространственно-временных сигналов сборник статей XIII Всероссийской научно-технической конференции. Под ред. И.И. Сальникова. Пенза, 2015. – С.112-117.
5. Мартенс-Атюшев Д.С., Мартышкин А.И. Разработка и исследование реконфигурируемого вычислительного кластера для цифровой обработки сигнала // Современные информационные технологии. – 2015. – №21. – С. 190-195.
6. Макаренко А.А., Плотников М.Ю. Расчет цифровых фильтров методом автоматизированного проектирования. Учебное пособие. –СПб: НИУИТМО, 2014. –50 с.
7. Ушенина И.В. Аппаратно-программный комплекс для измерения параметров электрических цепей: Дис ... канд. техн. наук. – Пенза, 2008.
8. Мартенс-Атюшев Д.С., Мартышкин А.И. Разработка реконфигурируемой вычислительной системы для цифровой обработки сигнала // Технические науки – от теории к практике. – 2015. – № 52. – С. 50-58.
9. Мартенс-Атюшев Д.С., Мартышкин А.И. Разработка и исследование реконфигурируемой системы для цифровой обработки сигнала // Международный студенческий научный вестник. – 2016. – № 3-1. – С. 86-88.
10. Мартышкин А.И., Мартенс-Атюшев Д.С. Разработка подсистемы планирования и назначения задач реконфигурируемой вычислительной системы для цифровой обработки сигнала // в сб.: Современные методы и средства обработки пространственно-временных сигналов сборник статей XIV Всероссийской научно-технической конференции. Под ред. И.И. Сальникова. Пенза, 2016. – С. 115-119.

УДК 004.03; ГРНТИ 50.07.03

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА РЕШЕНИЯ ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ ЗАДАЧИ НА СИММЕТРИЧНОЙ МНОГОПРОЦЕССОРНОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЕ

А.И. Мартышкин

*Пензенский государственный технологический университет,
Россия, Пенза, Alexey314@yandex.ru*

Аннотация. В статье описана методика для исследования взаимодействия аппаратно-программных ресурсов многопроцессорной вычислительной системы для обработки параллельных ветвей задач. Данная методика позволяет оценить пропускную способность всей системы в целом, либо отдельных узлов в частности.

Ключевые слова: параллельная система, моделирование, задача, процесс, трудоемкость, операция

MATHEMATICAL MODELING OF SOLUTION PROCESS OF PARALLEL TASK ON A SYMMETRIC MULTIPROCESSOR COMPUTER SYSTEM

A.I. Martyshkin

Penza State Technological University,

Russia, Penza, Alexey314@yandex.ru

Abstract. This article describes a technique for studying the interaction of hardware and software resources of a multiprocessor computer system for processing tasks parallel branches. This procedure allows evaluating the capacity of the entire system, or separate units in particular.

Keywords: parallel systems, simulation, task, process, complexity, operation

С точки зрения аппаратного обеспечения, многоядерные процессоры – это просто отдельные процессоры, расположенные на одном кристалле и заключенные в общий физический комплекс. Они обеспечивают вычислительные возможности, подобные традиционным симметричным многопроцессорным системам (symmetric multiprocessing, SMP), и неминуемо наследуют большинство проблем мониторинга производительности, характерных для работы с симметричными многопроцессорными системами.

Процесс решения параллельной задачи и задействованные при этом программные и аппаратные ресурсы параллельной (многопроцессорной) вычислительной системы (МВС) можно обобщенно представить некоторой математической моделью [1-2]. Задачи для последующей обработки поступают в МВС извне от пользователей, либо формируются прикладными программами. В данной работе примем, что МВС является симметричной (SMP-системой) и состоит из n одинаковых процессоров (ЦП) [3], т.е. каждый вычислительный узел системы кроме прикладных задач обрабатывает программы операционной системы (ОС).

Введем предположение, что каждая задача распараллеливается ровно на n ветвей по числу процессоров в МВС (рис. 1), причем все ветви обладают одинаковой трудоемкостью [2]

$$\Theta_i = \Theta = T/n, \quad (1)$$

где T – число задач, решаемых системой, n – число ЦП.

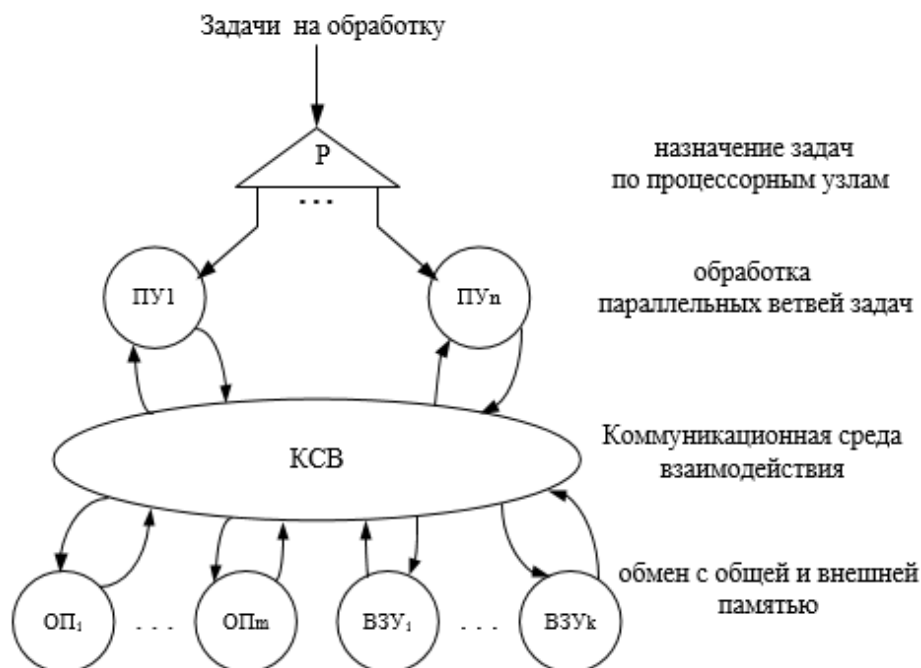


Рис. 1. Модель взаимодействия ресурсов многопроцессорной вычислительной системы для обработки параллельных ветвей задач

Задачи на обработку поступают с интенсивностью λ_0 , причем они вначале принимаются процессорными узлами (ПУ), каждый из которых состоит из ЦП, одно- или многоуровневой Кэш-памяти и, возможно, локальной памяти (ЛП). Назначение ветвей по ПУ производится ОС, функция распределения которой представлена на рисунке 1 блоком P . Время обработки ветви ПУ находится в непосредственной зависимости от производительности ЦП и составляет

$$v_{CP} = \Theta_0 / V_{CP}, \quad (2)$$

где Θ_0 – трудоемкость процессорных операций для одного этапа обработки алгоритма решения задачи. Причем

$$\Theta_0 = \Theta / N, \quad (3)$$

где N – число этапов обработки в одном ПУ.

Большая часть операций, связанных с обработкой ветви, выполняется непосредственно в ПУ, поскольку часто используемые команды и данные находятся в Кэш. При Кэш-промахе формируется транзакция обращения к оперативной памяти (ОП): либо к ЛП, либо к одному из модулей удаленной памяти (ОП₁ – ОП_м).

Будем считать, что вычислительный процесс начинается и заканчивается в ПУ. Длительность одного этапа определяется временем между двумя обращениями ПУ во внешнюю память [2]. Частота обращений во внешнюю память зависит от числа обращений вычислительного процесса в ОП за время решения задачи, определяемой вероятностью Кэш-промаха p_m . Причем p_m равна отношению числа процессорных операций обращения в ОП, к числу операций, выполненных ЦП с участием Кэш за время решения задачи. Таким образом, за время реализации одного этапа алгоритма ЦП сформирует $M = p_m \Theta_0$ обращений в ОП. Поскольку вероятность обращения во внешнюю память равна p_{VP} , то появление этого события составит $p_{VP} M$. Отсюда следует, что на одно обращение во внешнюю память приходится $\Theta_0 = 1 / (p_m p_{VP})$ процессорных операций. Эта величина и принимается за трудоемкость одного этапа решения задачи Θ_0 . Тогда число этапов решения задачи составит

$$N = \Theta / \Theta_0. \quad (4)$$

Для определения времени обслуживания памятью необходимо знать её пропускную способность (V_M) и объем передаваемых данных за время реализации одного этапа задачи

$$v_M = \Theta_0 / V_M. \quad (5)$$

Пропускные способности памяти в режимах записи и чтения очень сильно разнятся. Если принять, что где g и h доли транзакций записи и чтения, соответственно в алгоритме решения задачи, то время обслуживания можно определить согласно выражению

$$v_M = \Theta_0 (g / V_{WR} + h / V_R), \quad (6)$$

где V_{WR} и V_R – пропускные способности памяти по записи и по чтению соответственно, значения которых легко определяются с помощью всевозможных тестовых программ, в том числе и [4-6].

В зависимости от метода доступа к памяти: по случайно выбранным адресам или по последовательным адресам, время выполнения транзакций будет различным. Случайный метод доступа создает наихудшие условия работы памяти и позволяет получать гарантированные оценочные значения её временных характеристик, что важно, например, при анализе систем реального времени (мягкого или жесткого). Средством определения времени обслуживания, приближенным к реальным или наихудшим условиям работы памяти, являются тайминги [5], характеризующие временные параметры памяти.

Общая шина (ОШ) предназначена для передачи потоков транзакций (операций на запись или чтение), формируемых ЦП, Кэш и внешней памятью. Шина характеризуется про-

пусковой способностью V_B и временем арбитража τ . Время обслуживания шиной транзакций, генерируемых ЦП в память, составляет

$$v_B = (\tau + \Theta_0 / V_B) . \quad (7)$$

Поддержка когерентности разделяемых данных создает дополнительный трафик на межпроцессорной шине. Пусть p_K – вероятность появления операции Кэш-когерентности за время реализации одного этапа задачи, а t_K – время выполнения одной операции по обеспечению Кэш-когерентности, тогда среднее время обслуживания ОШ всех операций, обеспечивающих кэш-когерентность составит

$$v_K = p_K \Theta_0 t_K . \quad (8)$$

Если адресуемые данные отсутствуют в ОП, то производится их подкачка из внешней памяти. Происходит это по прерыванию, вероятность которого составляет p_{VP} . Пропускная способность ввода-вывода характеризуется в основном скоростью передачи данных накопителем V_{PU} . Тогда время обслуживания запроса во внешнюю память можно определить по формуле

$$v_{PU} = p_{VP} G / V_{PU} , \quad (9)$$

где G – объем передаваемых данных за одно обращение к внешней памяти.

Библиографический список

1. Бикташев, Р. А. Моделирование мультимикропроцессорных вычислительных систем: учебное пособие / Р. А. Бикташев. – Пенза: Пенз. политехн. Ин-т, 1987. – 44 с.
2. Князьков В.С., Бикташев Р.А. Архитектура параллельных вычислительных систем. – Пенза: 1993.
3. Бикташев Р.А. Князьков В.С. Многопроцессорные системы. Архитектура, топология, анализ производительности. Учебное пособие.-Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2004.
4. Бикташев Р.А., Мартышкин А.И. Программный комплекс для расчета вероятностно -временных характеристик стохастических сетей массового обслуживания // Программы для ЭВМ. Базы данных. Топологии интегральных микросхем. – 2013. – № 1. – С. 1.
5. Бикташев Р.А., Мартышкин А.И. Программный комплекс для измерения производительности функций операционных систем // Программы для ЭВМ. Базы данных. Топологии интегральных микросхем. – 2013. – № 1. – С. 2.
6. Бикташев Р.А., Мартышкин А.И. Комплекс программ для измерения производительности функций операционных систем // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2013. – № 10 (14). – С. 190 -197.

УДК 519.872.3, 519.872.8; ГРНТИ 50.33.04

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ ВЕРОЯТНОСТНО-ВРЕМЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОДСИСТЕМЫ ПЛАНИРОВАНИЯ И НАЗНАЧЕНИЯ ЗАДАЧ РЕКОНФИГУРИРУЕМОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ СИГНАЛА

А.И. Мартышкин, Д.С. Мартенс-Атюшев

*Пензенский государственный технологический университет,
Россия, Пенза, Alexey314@yandex.ru, Novoselich93@mail.ru*

Аннотация. В статье приводится исследование результатов проведенного эксперимента по моделированию планировщиков с временным разделением для реконфигурируемых вычислительных систем на основе разомкнутых сетей массового обслуживания. Рассмотрены и представлены на графиках результаты, полученные при аналитическом и имитационном моделировании. В заключении сделаны выводы по проделанной работе.

Ключевые слова: аналитическая модель, планировщик задач, разделение во времени, открытая сеть массового обслуживания, вероятность

MATHEMATICAL MODELING AND CALCULATION OF PROBABILITY-TIME CHARACTERISTICS OF PLANNING AND PURPOSES TASKS SUBSYSTEM OF RECONFIGURABLE COMPUTATIONAL SYSTEM FOR DIGITAL SIGNAL PROCESSING

A.I. Martyshkin, D.S. Martens-Atushev

Penza State Technological University,

Russia, Penza, Alexey314@yandex.ru, Novoselich93@mail.ru

Abstract. The article presents the results of research conducted of the experiment by modeling schedulers with time division for reconfigurable computing systems based on open-loop queuing networks. The Reviewed and presented in the graphs the results obtained from the analytical and simulation modeling. Finally, conclusions have been made.

Keywords: analytical model, scheduler, time division, open queuing network, probability

Увеличение количества процессоров (ЦП) в высокопроизводительных вычислительных системах, в том числе и реконфигурируемых системах, сказывается на ухудшении характеристик при планировании и назначении задач по ЦП, так как программная реализация планировщика (диспетчера задач (ДЗ)) функционирует последовательно, что приводит к росту временных затрат на синхронизацию выполняемых процессов. Отсюда следует, что для более эффективного функционирования процесса диспетчеризации, требуется ввести параллельное распределение этих задач. Имеется подобный метод параллельной обработки – это аппаратное решение функций планирования процессов с общей очередью задач перед ЦП [1]. Благодаря современной элементной базы имеется возможность практической реализации подобного решения, но для начала требуется провести исследование математической модели, чтобы получить детальное представление о характеристиках разрабатываемой системы.

Для оценки параметров и моделирования разрабатываемой многопроцессорной системы с аппаратной реализацией функции планирования процессов, наиболее подходящими являются модели, основанные на теории массового обслуживания [2].

Рассмотрим подробнее диспетчер задач с общей очередью. Имеется множество дисциплин диспетчеризации, которые делят на два типа: приоритетные и беспriorитетные. В данном исследовании выбран беспriorитетный тип дисциплины обслуживания FIFO, так как эта дисциплина достаточно широко и часто применяется на практике. Принцип функционирования FIFO заключается в следующем: выбор задач на обслуживание из общей очереди осуществляется в порядке их появления. Достоинства дисциплины FIFO: несложная реализация, малое количество потребляемых системных ресурсов, ввиду отсутствия внешнего вмешательства в процесс вычисления, отсутствие перераспределения процессорного времени. Однако тут присутствует существенный недостаток: при подобном обслуживании короткие задачи ожидают такое же количество времени, что и трудоемкие. При этом, возрастает среднее время ожидания обслуживания [3].

В целом исследуемая модель представляет собой открытую (разомкнутую) сеть массового обслуживания (СМО) [4, 5], состоящей из двух систем массового обслуживания (СМО). Первая, многоканальная, СМО – это массив ЦП, вторая, одноканальная – ДЗ. На рисунке 1 представлена указанная модель.

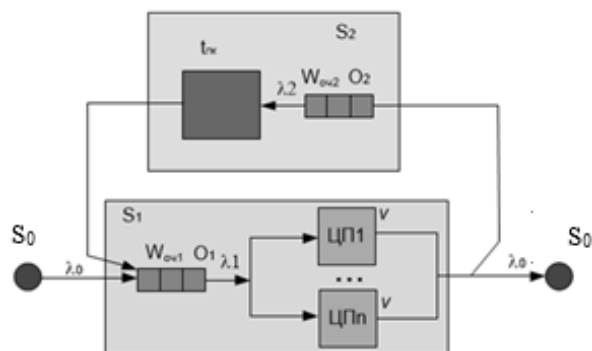


Рис. 1. Исследуемая модель

Задачи, поступающие с интенсивностью λ_0 , из S_0 , становятся в очередь O_1 , если есть свободные места. Если таковых нет, то задача покидает систему необработанной. В соответствии с дисциплиной FIFO, задачи выходят из очереди с интенсивностью λ_1 и назначаются для обработки в n -й ЦП. Как только завершится время обработки, производится проверка, на полное завершение обслуживания задачи. Если результат положительный, задача покидает систему. Обработка задачи в n -м ЦП занимает квант времени (k). После завершения обработки ЦП из внутренней переменной вычитается время обработки – время одного кванта (t_k). Далее выполняется проверка на завершенность посредством сравнения внутренней переменной, отвечающей за остаток времени, необходимого для завершения обработки, с нулем. При подтверждении того, что задача обработана окончательно, она покидает систему. Если проверка не дает положительный ответ, задача ждет освобождение ДЗ, создается очередь приостановленных ЦП. Когда ДЗ будет свободным, задача поступит на обработку в него. Затем происходит равновероятностная смена ЦП. После этого задача пытается вернуться в общую очередь при наличии в ней свободного места, иначе – покидает систему частично обработанной [6]. Граф вышеописанной системы выглядит следующим образом (рис. 2).

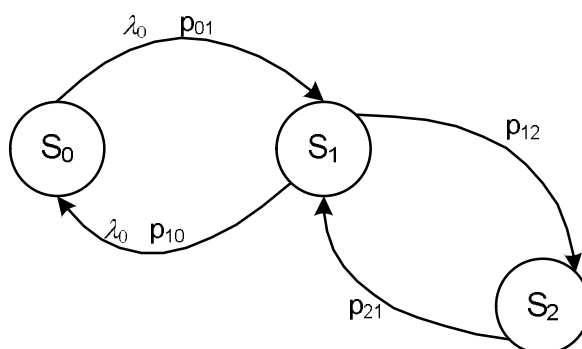


Рис. 2. Граф переходов системы с общим диспетчером задач

На основе приведенного графа были рассчитаны вероятности выхода (p_{10}) обработанной задачи и перехода (p_{12}) на обслуживание в ДЗ [7-9].

Вероятности p_{10} и p_{12} зависят от трудоемкости поступившей на обработку задачи: чем более трудоемкая задача, тем дольше она находится на обслуживании в ЦП, тем меньшее значение имеет вероятность выхода отработанной задачи из системы и тем большее значение вероятности возвращения на дообслуживание задачи в ЦП. При моделировании поступления через систему самых трудоемких задач значения p_{10} и p_{12} задавались 0,07 и 0,93 соответственно. При рассмотрении задач средней трудоемкости значения принимались равными 0,19 и 0,81 соответственно. При моделировании поступления и обслуживания коротких задач, p_{10} и p_{12} принимались равными 0,45 и 0,55 соответственно. Все расчеты проводились в программе расчета стохастических сетей массового обслуживания [10, 11].

Для получения результатов моделирования были исследованы некоторые характеристики, в том числе время пребывания задачи в системе и средняя длина очереди перед узлами системы.

При проведении эксперимента приняты следующие параметры, соответствующие реальным многопроцессорным системам: число ЦП менялось от 4 до 16; интенсивность входящего потока задач, для задач с высокой реакцией, варьировалась от 9,3 до 93 задач/мс (среднее время обработки на ЦПn составляет 0,009 мс), интенсивность входящего потока задач для задач со средней реакцией – от 0,333 до 3,33 задач/мс (среднее время обработки на ЦПn составляет 0,068 мс), интенсивность входящего потока задач для задач с низкой реакцией – от 0,07 до 0,7 задач/мс (среднее время обработки на ЦПn составляет 0,15 мс). Такие значения интенсивностей обеспечивают среднюю загрузку ЦП на уровне 65% ($\rho_{цп}=0,65$); длина общей очереди в системе с ДЗ принята равной 128 задач; среднее время работы ДЗ, учитывая время перезагрузки кэш-памяти и переключения контекста задач, составляет 0,002 мс.

На основе исследований описанных в [6] рассмотрим выражение для расчета среднего времени ожидания задачи в очередях сети более подробно

$$W = \frac{w_1}{p_{10}} + \frac{w_2 \cdot p_{12}}{p_{10}} = \frac{w_1 + w_2 \cdot p_{12}}{p_{10}}, \quad (1)$$

где w_1 – время ожидания в очереди перед блоком ЦП; w_2 – время ожидания ЦП перед занятием ДЗ; p_{10} – вероятность выхода обработанной задачи из системы; p_{12} – вероятность перехода задачи на обслуживание в ДЗ.

Время ответа системы составит

$$U = \frac{(w_1 + k \cdot (t_k + \delta))}{p_{10}} + \frac{p_{12} \cdot (w_2 + k \cdot (\tau + \varsigma))}{p_{10}} = \frac{w_1 + k \cdot (t_k + \delta) + p_{12} \cdot (w_2 + k \cdot (\tau + \varsigma))}{p_{10}}, \quad (2)$$

где k – число квантов на выполнение одной задачи; t_k – длительность одного кванта; δ – время, необходимое для перезагрузки кэш; ς – время работы ДЗ, τ – время, необходимое для переключения контекста (ПК).

Во время исследования проводилось аналитическое и имитационное моделирование, были получены значения средней длины очереди в узлах сети, а так же исследовано как влияет изменение трудоемкости на загрузку ДЗ. При проведении моделирования изменялись значения числа ЦП и интенсивности входного потока задач.

На рисунках 3-4 представлены зависимости средней длины очереди перед ЦП (Н1) и ДЗ (Н2) от количества ЦП. Графики показывают, как при увеличении числа ЦП очередь стремится к нулю, тогда как перед ДЗ очередь наоборот возрастает. Отсюда следует вывод, что чем большее число ЦП в системе, тем больше вероятность простаивания нескольких ЦП.

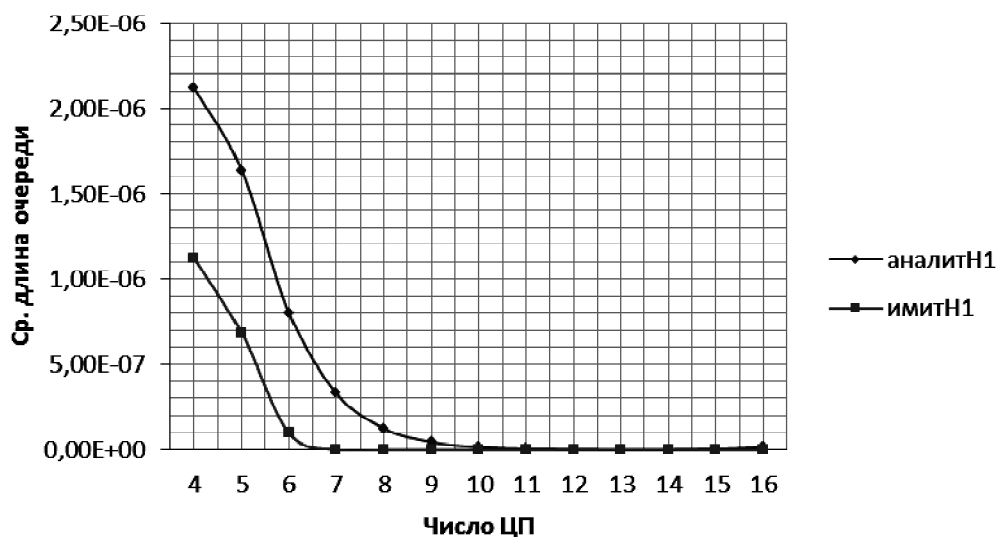


Рис. 3. Зависимость средней длины очереди перед ЦП от количества ЦП

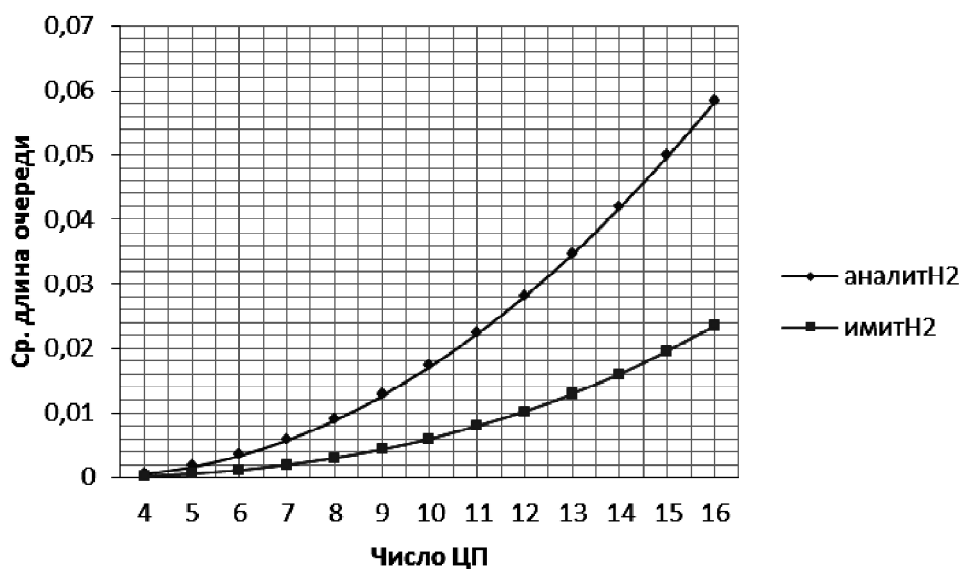


Рис. 4. Зависимость средней длины очереди перед ДЗ от количества ЦП

На рисунке 5 представлен график зависимости загрузки ДЗ от трудоемкости задач в многопроцессорной системе.

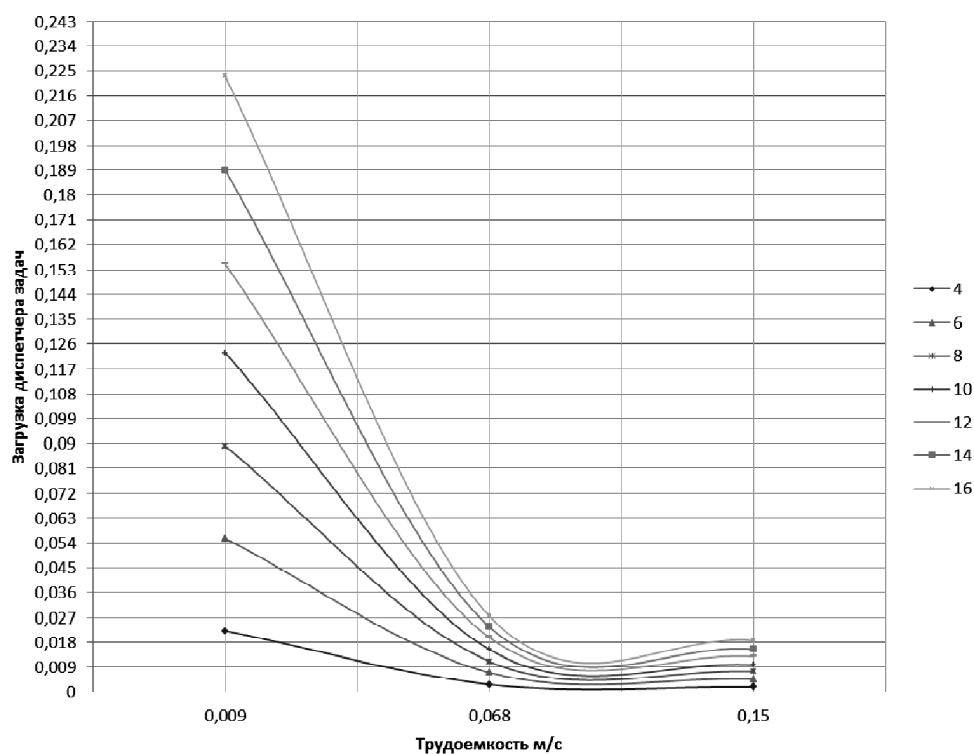


Рис. 5. Зависимость загрузки ДЗ от трудоемкости задач в МПС

Из полученного графика можно сделать вывод: загрузка ДЗ со стратегией разделения во времени растет с понижением трудоемкости задач, т.е. с увеличением реактивности многопроцессорной системы.

В результате проведенных экспериментов выявлено, что число ЦП в составе РВС зависит от параметров задач и архитектурных параметров планировщика задач. Полученные в ходе исследований результаты свидетельствуют об адекватности разработанной модели реальной системе.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (Грант № 16-07-00012 А).

Библиографический список

1. Вашкевич Н.П., Бикташев Р.А., Меркурьев А.И. Аппаратная поддержка диспетчера задач с глобальной очередью в многопроцессорных системах // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2011. – № 3. – С. 3-14.
2. Алиев Т. И. Основы моделирования дискретных систем. – СПб.: СПбГУ ИТМО, 2009. – 363 с.
3. Таненбаум Э., Бос Х. Современные операционные системы. СПб.: Питер, – 2015. – 1120 с.
4. Богуславский Л.Б. Вероятностные методы и модели управления потоками данных и ресурсами в сетях и многопроцессорных системах: диссертация ... доктора технических наук: 05.13.13. Москва, 1995.
5. Бикташев Р.А., Князьков В.С. Многопроцессорные системы: архитектура, топология, анализ производительности: учеб. пособие. - Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2004. – 107 с.
6. Мартышкин А.И. Математическое моделирование диспетчеров задач в многопроцессорных вычислительных системах на основе стохастических сетей массового обслуживания: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.18 / Мартышкин Алексей Иванович. – Пенза, 2013. – 160 с.
7. Мартышкин, А.И. Математическое моделирование диспетчеров задач для систем параллельной обработки на основе разомкнутых систем массового обслуживания / А.И. Мартышкин, Р.А. Бикташев, Н.Г. Востоков // В мире научных открытий. – 2013. – № 6.1 (42). – С. 81–101.
8. Martyshkin A.I., Yasarevskaya O.N. Mathematical modeling of Task Managers for Multiprocessor systems on the basis of open-loop queuing networks // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. – 2015. – V. 10. – N. 16. – P. 6744-6749.
9. Мартышкин А.И. Расчет вероятностно-временных характеристик многопроцессорной вычислительной системы с диспетчером задач со стратегией разделения во времени и беспriorитетной дисциплиной обслуживания // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2014. – № 3 (19). – С. 145-151.
10. Бикташев Р.А., Мартышкин А.И. Программный комплекс для расчета вероятностно -временных характеристик стохастических сетей массового обслуживания // Программы для ЭВМ. Базы данных. Топологии интегральных микросхем. – 2013. – № 1. – С. 1.
11. Бикташев Р.А., Мартышкин А.И., Востоков Н.Г. Комплекс программ для определения характеристик диспетчеров задач многопроцессорных систем с использованием приоритетных стохастических сетей массового обслуживания // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 10-1. – С. 13-20.

УДК 519.872.3

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ИССЛЕДОВАНИЯ НАДЕЖНОСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ УНИВЕРСАЛЬНЫХ ПРОГРАММНЫХ И МАТЕМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

А. Ивлева

Рязанский государственный радиотехнический университет

Аннотация. В данной работе материалы разработки методических средств для организации и проведения лабораторной работы. Составлена программа для проведения тестирования и алгоритмы проведения лабораторной работы, разработана программная документация.

Назначение разработанных методических средств – освоение краткого теоретического материала, контроль знаний учащихся по дисциплине «Теория надежности средств вычислительной техники».

Ключевые слова: теория надежности, программно-математические средства, алгоритмизация расчетов надежности

THE DEVELOPMENT OF METHODS FOR STUDYING THE RELIABILITY OF TECHNICAL SYSTEMS WITH UNIVERSAL SOFTWARE AND MATHEMATICAL SYSTEMS

A. Ivleva

Ryazan State Radio Engineering University

Abstract. In this paper, the materials developing methodological tools for organizing and carrying out laboratory work. A program for testing and algorithm of the laboratory work, designed the program documentation. Means software- tools Borland Delphi 7 programming.

Purpose designed teaching tools - the development of a brief theoretical material, control of students' knowledge of the subject "Theory of computer equipment reliability."

Keywords: theory of computer equipment reliability, software- tools, algorithm-mathematical tools for reliability calculation.

1. Введение

Проблема надежности является очень важной для современных технических систем. Можно привести примеры многих систем, для которых решение проблемы надежности в самом прямом смысле означает, быть или не быть данной системе. К ним можно отнести и различные информационные системы, включающие в свой состав большое число компьютеров, имеющих сетевую структуру, территориально распределенные информационные системы, информационные системы измерения параметров различных объектов, системы мониторинга и т.п.

Задачей изучения дисциплины «Теория надежности средств ВТ» является овладение студентами методов и современных инструментальных средств исследования для оценки надежности информационных систем, а также основами разработки средств обнаружения, локализации, и восстановления отказавших элементов информационных систем.

Структура процесса обучения изображена на рисунке 1. Этап обучения (операция) обозначается прямоугольником, а информация – скруглённым прямоугольником.

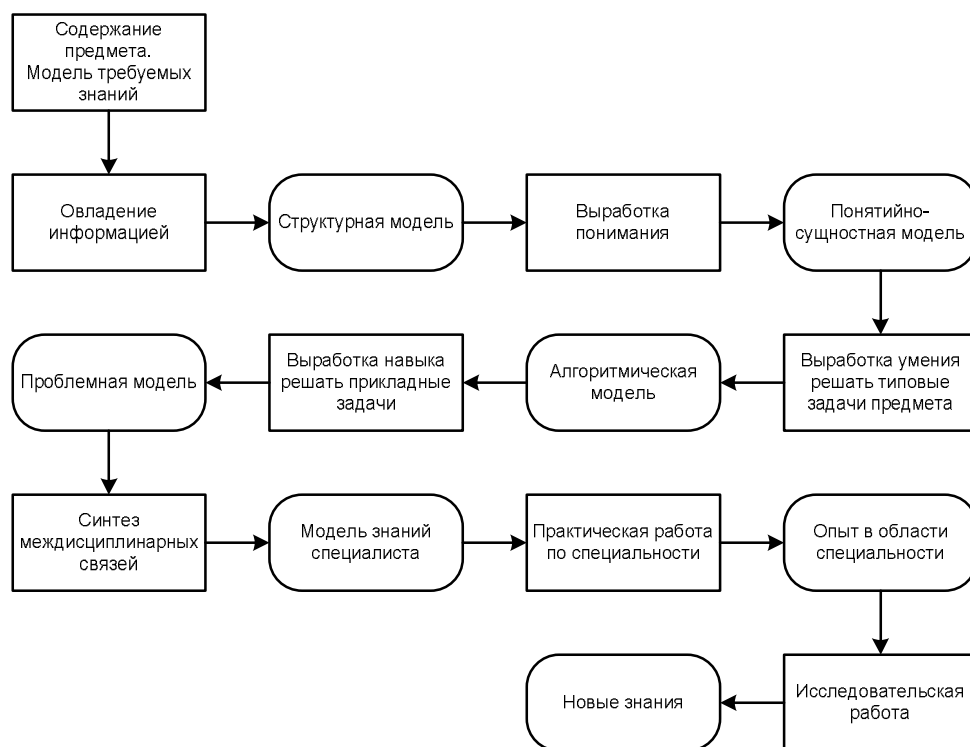


Рис. 1. Структура процесса обучения

Основными задачами выполнения работы с применением универсальных математических систем являются задачи экспериментального раскрытия теоретических положений изучаемого предмета, задачи ознакомления обучаемых с основными методами проведения научного эксперимента, задачи анализа данных, полученных при обработке результатов работы.

Таким образом, на основе вышеизложенного, выделяются следующие задачи, которые необходимо решить в данном методическом исследовании:

- Разработать порядок выполнения исследования с учетом спецификации и важности дисциплины и особенности решения поставленной задачи.
- Проанализировать существующее программное обеспечение для исследования с использованием универсальных математических систем.
- Тестирование, как форма контроля и самоподготовки.
- Подготовить программную документацию, провести экспериментальные исследования и выполнить отдельные варианты.

Таким образом, использование в учебных целях универсальных систем программирования математических задач позволяет качественно поднять уровень подготовки обучающихся, сосредоточив их внимание не на процессе программирования метода решения той или иной вычислительной задачи, а на сути самого изучаемого явления.

Особенности решения математических задач с помощью универсальных программных средств символьной математики состоят в следующем:

- алгоритм и методы решения задачи пользователю неизвестны;
- проверка корректности постановки задачи системой не осуществляется;
- причина отсутствия решения пользователю в большинстве случаев неизвестна;
- проверка правильности решения задачи системой не осуществляется.

Компьютерные технологии решения математических задач начинаются с постановки задачи и включают в себя;

- выбор метода решения задачи;
- подбор функции и команд, реализующих выбранный метод;
- процедуры решения задачи;
- проверку достоверности откликов.

Целью исследования является изучение влияния на показатели надежности системы следующих факторов:

- различных видов законов распределения времени до отказа;
- неодновременности работы элементов системы;
- последствия отказов.

Решение задач, сформулированных в исследовании, целесообразно не только студентам, изучающим теорию надежности, но также специалистам, занимающимся разработкой и эксплуатации технических и информационных систем и нуждающихся в повышении знаний в области теории надежности.

2. Предметная область

В большинстве практических случаев расчет надежности сложных систем с помощью точных аналитических методов невозможен в связи со следующими особенностями решаемых задач:

- большая размерность систем уравнений;
- сложность структурной схемы (схемы расчета надежности) системы из-за наличия избыточности и восстановления с различной дисциплиной обслуживания;
- субъективность определения понятия "отказ";
- большие погрешности показателей надежности элементов сложной системы.

Одним из возможных способов решения этой проблемы является создание приближенных аналитических методов и компьютерных технологий решения задач надежности.

Большинство существующих приближенных методов основано на допущении о справедливости экспоненциальных законов распределения времени до отказа и времени восстановления.

Влияние неоднородной работы элементов на надежность системы

При изучении влияния неодновременной работы элементов на надежность системы, выполняя исследование необходимо определить:

- вероятность $P_{i,пр}(t)$ и среднее время $T_{1i,пр}(t)$ безотказной работы элементов с учетом времени их простоя;
- вероятность безотказной работы системы без учета и с учетом времени простоя элементов: $P_c(t)$ и $P_{c,пр}(t)$ соответственно;
- вероятности безотказной работы $P_c(t)$, $P_{c,пр}(t)$ в виде таблиц значений графиков;
- среднее время безотказной работы системы без учета и с учетом времен простоя элементов T_1 и $T_{1,пр}$.

Дано:

- структурная схема технической системы;
- n – количество элементов системы;

- τ – период работы системы;
- $P_i(t)$ – вероятность безотказной работы элементов, $i = 1, 2, \dots, n$;
- $[a_i, b_i]$ — интервал времени работы элементов на периоде τ , $i = 1, 2, \dots, n$;
- t — время работы системы.

На периоде τ элементы системы работают не одновременно. Рассмотрим функционирование одного элемента. Пусть на интервале времени от a до b элемент работает, а вне этого интервала — простаивает. На следующем периоде длительностью τ элемент работает на интервале от $\tau + a$ до $\tau + b$ и простаивает вне этого интервала, и т. д. Выключение элемента не влияет на его надежность. Пусть $P(t)$ — вероятность безотказной работы элемента в случае, когда он работает непрерывно. Оценим его надежность при условии, что элемент может простаивать на заданных интервалах времени. Для нашего случая получим закон распределения времени работы элемента с учетом времени его простоя:

$$P_{\text{пр}}(t) \begin{cases} 1, & \text{при } 0 < t \leq a; \\ P(t - k(\tau - b + a) - a), & \text{при } k\tau + a < t \leq k\tau + b, \quad k = 0, 1, 2, \dots; \\ P(k(b - a)), & \text{при } (k - 1)\tau + b < t \leq k\tau + a, \quad k = 1, 2, \dots; \end{cases}$$

Соотношение определяет новый закон распределения времени работы элемента с учетом его простоя. Закон $P_{\text{пр}}(t)$ имеет на три параметра больше, чем $P(t)$. Среднее время безотказной работы вычислим на основе формулы. Интегрируя $P_{\text{пр}}(t)$, получим:

$$\begin{aligned} T_{1,\text{пр}} &= \int_0^{\infty} P_{\text{пр}}(t) dt = a + \sum_{k=0}^{\infty} \int_{k\tau+a}^{k\tau+b} P(t - k(\tau - b + a) - a) dt \\ &+ \sum_{k=1}^{\infty} \int_{(k-1)\tau+b}^{k\tau+a} P(k(b - a)) dt = a + \sum_{k=0}^{\infty} \int_{k(b-a)}^{(k+1)(b-a)} P(t) dt + (\tau - b + a) \sum_{k=1}^{\infty} P(k(b - a)) \\ &= \int_0^{\infty} P(t) dt + a + (\tau - b + a) \sum_{k=1}^{\infty} P(k(b - a)). \end{aligned}$$

Отсюда

$$T_{1,\text{пр}} = T_1 + a + (\tau - b + a) \sum_{k=1}^{\infty} P(k(b - a)),$$

где T_1 — среднее время безотказной работы элемента в случае его непрерывной работы. В частности, для экспоненциального распределения с параметром λ получим:

$$T_{1,\text{пр}} = \frac{1}{\lambda} + a + (\tau - b + a) \sum_{k=1}^{\infty} e^{-\lambda k(b-a)} = \frac{1}{\lambda} + a + \frac{\tau - b + a}{e^{\lambda(b-a)} - 1}.$$

Из выражения для $T_{1,\text{пр}}$ следует, что повысить среднее время безотказной работы элемента можно не только путем уменьшения интенсивности отказа λ , но также и путем увеличения времени его простоя за счет уменьшения величины $b-a$. Полагая, что, $a = 0$, получим, что выигрыш по среднему времени безотказной работы равен:

$$G_{T_1} = \frac{T_{1,\text{пр}}}{T_1} = 1 + \frac{\lambda(\tau - b + a)}{e^{\lambda(b-a)} - 1}.$$

Численное значение выигрыша по критерию T1 при $\tau = 10$ час приведено в таблице 1.

Таблица 1 - Выигрыш по среднему времени безотказной работы в зависимости от λ , и времени работы элемента b-a

λ , час ⁻¹	b-a, час				
	10	8	6	4	2
0,1	1,00	1,16	1,49	2,22	4,61
0,01	1,00	1,24	1,65	2,47	4,96
0,001	1,00	1,25	1,66	2,50	5,00
0,0001	1,00	1,25	1,67	2,50	5,00

Из таблицы 1 следует, что на величину $T_{1,пр}$ оказывает влияние не только надежность элемента, но и увеличение времени его простоя, когда элемент не расходует свой ресурс надежности.

Рассмотрим систему, состоящую из n элементов, имеющих интервалы простоя. Для каждого элемента системы эти интервалы имеют различную продолжительность на периоде τ . Тогда время до отказа элементов всегда имеет не экспоненциальное распределение.

Оценка надежности такой системы осуществляется методами, учитывающими произвольный характер времени до отказа элементов. Вероятность безотказной работы нерезервированной системы, состоящей из n элементов равна

$$p_c(t) = \prod_{i=1}^n p_i(t)$$

Вероятность безотказной работы резервированной системы кратности m с постоянным резервом равна

$$p_c(t) = 1 - \prod_{i=0}^m (1 - p_i(t))$$

Влияние последствий отказов элементов на надежность системы

Практически в любой технической системе отказы одних элементов приводят к увеличению нагрузки на остальные элементы. В результате интенсивности отказов работающих элементов возрастают. Этот эффект носит название "последствие" отказов. Любая техническая система в той или иной степени подвержена этому явлению.

При изучении влияния последствий отказов элементов на надежность системы, выполняя лабораторную работу необходимо определить:

- вероятность безотказной работы системы при отсутствии и при наличии последствий отказов $P_c(t)$, $P_{c,после}(t)$ в виде формул, таблиц и графиков;
- среднее время безотказной работы системы при отсутствии и при наличии последствия отказов: T_c и $T_{c,посл}$;
- вероятность безотказной работы дублированной системы при отсутствии и при наличии последствия отказов: $P_{dc}(t)$ и $P_{dc,посл}(t)$;
- среднее время безотказной работы дублированной системы при отсутствии и при наличии последствия отказов: T_{dc} и $T_{dc,посл}$.

Рассмотрим решение поставленной задачи для структурной схемы надёжности из четырёх элементов, с постоянно включённым резервом изображённой на рисунке 2. Время работы до отказа каждого элемента имеет экспоненциальное распределение с параметром λ .

Вероятность безотказной работы резервированной системы:

$$P_c(t) = 1 - (1 - e^{-2\lambda t})^2 = 2e^{-2\lambda t} - e^{-4\lambda t}.$$

Граф состояний для системы с последствиями отказов, представленной на рисунке 2.

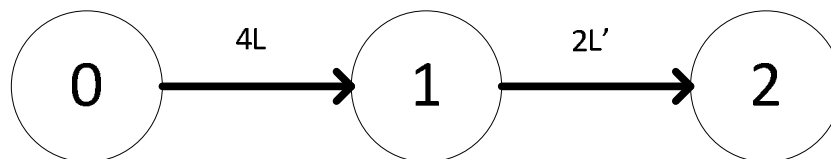


Рис. 2. Граф состояний

Расчет надежности систем с последствием отказов, элементы которых имеют экспоненциальные распределения времени до отказа, изменяется незначительно по сравнению с расчетом надежности систем без последствия. Общий подход к анализу надежности таких систем состоит в следующем:

- описание функционирования системы графом состояний;
- составление по графу системы алгебраических уравнений относительно среднего времени пребывания системы t_i в каждом исправном состоянии, решение системы и определение среднего времени безотказной работы:

$$T_i = \sum_{i \in E_+} \tau_i,$$

где E_+ - множество исправных состояний;

- составление по графу системы дифференциальных уравнений относительно вероятностей пребывания системы $P_i(t)$ в исправных состояниях, решение системы и определение вероятности безотказной работы:

$$P(t) = \sum_{i \in E_+} P_i(t).$$

4. Заключение

В ходе выполнения данной работы была разработана методика исследований надежности технических систем с использованием универсальных программных и математических систем.

В дальнейшем предполагается развитие программно-методических средств за счет доработки программного обеспечения и добавления заданий.

Библиографический список

1. Половко А.М., Гуров С.В. Основы теории надежности. Практикум. – СПб.: БХВ-Петербург, 2006. – 560 с.
2. Половко А.М., Гуров С.В. Основы теории надежности. – СПб.: БХВ-Петербург, 2006. – 704 с.
3. Половко А.М. Derive для студента. – СПб.: БХВ – Петербург, 2005. – 352 с.
4. Дружинин Г.В. Надежность автоматизированных систем. Изд.3-е, перераб. И доп. М., «Энергия», 1977. 536 с.

СОДЕРЖАНИЕ

СЕКЦИЯ «ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА И СИСТЕМЫ В ТЕХНИКЕ И МЕДИЦИНЕ»	3
Анищенко Ю.А., Абрамов А.М. Система контроля метрологических характеристик АЦП в комплексе «Мультимаг».....	3
Тювакова О.И. Проблемы определения источников мышечного поражения при проведении электромиографии.....	6
Борисова Д.С. Метрологическое обеспечение производства прибора определения номера кассеты, построенного на датчиках Холла.....	9
Калмыков В.М., Ермилов Д.В., Соловьев С.И., Белов Д.Б. Особенности подготовки данных для измерительной системы радиолокации профиля ветра.....	12
Чан Туан Зунг Измерительно – диагностическое кресло пациента физиотерапии	15
Мордовина С.А., Абрамов А.А. Актуальность разработки модели физиологической системы управления газообменом организма человека.....	18
Попов А.В., Жулев В.И. Разработка системы контроля и управления автономного водоснабжения.....	22
Бушуев Д.С. Методы пожаробезопасности на кораблях.....	25
Купцов И.М., Железняк Г.И., Диких Д.А. К задаче об исследовании электромагнитных ускорителей масс.....	28
Мельник О.В., Панфилова С.Ю. Анализ зависимости показателей variability дыхательного ритма от психоэмоционального состояния человека.....	33
Митяева М.Н., Садовский Г.А. Разработка системы контроля состояния человека.....	38
Клинджева З.М. Порядок разработки новых медицинских изделий.....	42
Минаев А.А. Автоматизированная информационно-измерительная система для определения статических магнитных характеристик магнитомягких материалов стали 49К2ФА.....	45
Ловягин К.Р., Гуржин С.Г. Регистрация колебаний твердого объекта с применением полупроводникового лазерного диода.....	47
Нагорян Д.А., Бодров О.А. Разработка системы измерения электрических параметров блока управления летательного аппарата.....	52
Алаев А.С., Трушин Н.Н. Информационная система диагностики состояния рабочей жидкости в гидросистемах машин.....	54
Мельник О.В., Челебаева Ю.А. Устройство для мониторингирования временных параметров сердечного ритма на основе искусственных нейронных сетей.....	57
Жарова А.С., Кузнецов М.Г. Мониторинг и съем биоэлектрических сигналов для диагностики головного мозга методом дистанционного контроля функционального состояния пациента.....	61
Семёнкин Е.Д., Яблочников С.Л. Математические модели виртуальной реальности в медицине.....	64
Бурковский В.Л., Левых Е.С. Медицинские приборы аспирации с нечетким регулятором.....	68
Ложкин А.О., Жулев В.И. Разработка системы контроля источника питания.....	71
Ашапкина М.С. Разработка системы контроля правильности выполнения лечебно-профилактических упражнений в амбулаторный период.....	73
Ярославцев А. Автоматизированная система контроля правильности выполнения упражнений спортсменом.....	77
Королев М.Б., Бодров О.А. Алгоритм оценки характеристик радиолокационной информационно-измерительной системы.....	80
Валова Т.С. Управляющая система впрыском топлива двигателя внутреннего сгорания.....	84

Вавильченкова Е.С. Автоматизированная система управления микроклиматом выращиваемых растений	88
Шашков Д.Г. Использование контроллера ARDUINO для мониторинга климатических параметров.....	91
СЕКЦИЯ «МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ В НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ».....	96
Mironov V.V., Mitrokhin J.S. New approach to constructing Lyapunov-type functions.....	96
Селиверстов Г.В., Трушин Н.Н., Смирнов Д.К. Стохастический подход в расчетах ресурса металлоконструкций мостовых кранов.....	106
Селиверстов Г.В., Коломиец К.С. Применение регрессионных моделей для оценки усталостной поврежденности металлоконструкций кранов.....	109
Конюхов А.Н. Организация самостоятельной работы студентов в процессе изучения дисциплины «основы теории нечетких множеств».....	113
Логачёв М.С. Разработка интегрального показателя для определения качества образовательных программ.....	115
Новиков А.И. Применение математических методов в задачах обработки изображений.....	119
Жаров М. Применение метода конечных элементов в исследованиях пластического течения металлических материалов.....	123
Нелюхин С.А. Использование систем компьютерной математики при изучении квадратичных форм.....	127
Конюхов А.Н., Дюбуа А.Б. Параметрическое исследование лингвистических модификаторов на нечетких множествах с ограниченными носителями.....	131
Лискина Е.Ю. Регрессионная модель зависимости конечного потребления от численности населения.....	137
Дубовиков А.В., Ципоркова К.А., Ципорков Н.И. Задачи обработки косвенных измерений методом ортогональных разложений при совместном воздействии мультипликативной и аддитивной помех.....	141
Степанов М.А. Диагностика состояния и определение тенденций развития промышленной системы региона.....	145
Выонг Т.Т.З., Ушакова Н.В. Стандартное отклонение или стандартная ошибка.....	149
Ву К. М. Численный метод в управляемости в малом гироскопических систем.....	153
Маркова И.С., Назарова О.А., Марков Д.А. Имитационное моделирование работы стоматологического кабинета.....	158
Ильин М.Е. Математическая модель управления электромеханической системой.....	162
Степаненко Е.В. Обзор методов математического моделирования: социологические и естественно-научные направления.....	166
Седова Н.В. Кластерный анализ данных в социологических исследованиях.....	169
Данилин Д.А., Каменев В.И., Баранова Е.М. Анализ эффективности работы бюджетных денежных средств в области киберпреступлений по Тульскому региону.....	172
Сюсюкалов А.И., Сюсюкалова Е.А. О роли примеров и контрпримеров в обучении математике.....	176
Кузнецов А.В. Исследование оптимальности в классе кусочно-постоянных управлений.....	179
Соколова Ю., Котова Е. Визуализация шагов алгоритма ближайших соседей при уточнении результатов классификации на основе SVM-алгоритма.....	181
Демидова Л.А., Ю.С. Соколова Методика классификации данных на основе SVM-алгоритма и алгоритма ближайших соседей.....	186
Сорокина В., Юрова О. Анализ выездного турпотока из Российской Федерации эконометрическими методами.....	189
Иванова Н.И., Куликова М.В. Применение производной в решении задач	194

Иванова Н.И., Третьякова В.В. Оценки определенных интегралов.....	198
Казьмина И.Г., Гусев К.Ю. Имитационная модель загрязнения атмосферного воздуха от воздействия автотранспорта.....	201
Мартенс-Атюшев Д.С. Синтезатор сигналов заданной формы на базе ПЛИС.....	205
Мартышкин А.И. Математическое моделирование процесса решения параллельной задачи на симметричной многопроцессорной вычислительной системе.....	207
Мартышкин А.И., Мартенс-Атюшев Д.С. Математическое моделирование и расчет вероятностно-временных характеристик подсистемы планирования и назначения задач реконфигурируемой вычислительной системы для цифровой обработки сигнала.....	210
Ивлева А. Разработка методики исследования надежности технических систем с использованием универсальных программных и математических систем.....	215

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В НАУКЕ И ОБРАЗОВАНИИ

Научное издание

В 8 томах

Том 2

Редактор О.В. Миловзоров

Подписано в печать 16.06.17. Формат 60x84 1/16

Бумага офсетная. Печать офсетная. Усл. печ. 14

Тираж 100 экз. Заказ № 3335.

Рязанский государственный радиотехнический университет
Редакционно-издательский центр РГРТУ