

Министерство образования и науки РФ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
Ульяновский государственный университет  
Факультет математики, информационных и авиационных технологий

## **УЧЕНЫЕ ЗАПИСКИ**

Ульяновского государственного университета  
Серия МАТЕМАТИКА И ИНФОРМАЦИОННЫЕ  
ТЕХНОЛОГИИ

**Выпуск 1(7)**

Под ред. доц. О.А. Перегудовой

Ульяновск, 2015

ББК 32.97

У 91

*Печатается по решению Ученого совета факультета математики,  
информационных и авиационных технологий Ульяновского государственного  
университета (протокол № 8/15 от 20 октября 2015 г.)*

У91 Ученые записки Ульяновского государственного университета. Сер. Математика и информационные технологии. Вып. 1(7) / Под ред. доц. О. А. Перегудовой. – Ульяновск: УлГУ, 2015. - 131 с.

**Редакционная коллегия:**

д.ф.-м.н., профессор А. С. Андреев

д.ф.-м.н., профессор А. А. Бутов

д.т.н., профессор К. В. Кумунжиев

д.ф.-м.н. профессор В. Л. Леонтьев

д.т.н., профессор А. А. Смагин

## Содержание

### Математическое моделирование

*Андреев А.С., Таджиев Д.А., Аминаров А.В.*

О МОДЕЛИРОВАНИИ МАНИПУЛЯЦИОННЫХ СИСТЕМ С РАЗЛИЧНЫМИ ТИПАМИ ПРИВОДОВ ..... 5

*Артемова А.В.*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТОЧНОСТИ ДОЗАТОРОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ MATLAB. .... 24

*Бажанова Т.В.*

МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ ВЫБОРА КОМПРОМИССНОГО РЕЖИМА СВОБОДНО-РАДИКАЛЬНОГО СТРЕССА, ВЫЗВАННОГО ПРИМЕНЕНИЕМ РЕГУЛЯТОРОВ МИТОТИЧЕСКОГО ЦИКЛА (НА ПРИМЕРЕ ПОДГОТОВКИ ОПУХОЛЕВЫХ КЛЕТОК К ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИИ) ЧАСТЬ 2. .... 32

*Gavrilova M.S., Butov A.A.*

MATHEMATICAL MODELLING OF NORMAL CIRCADIAN RHYTHMS OF BLOOD PRESSURE WITHOUT OR WITH HOMEOSTATIC LEVELS IN HEALTHY PERSONS AND HYPERTENSIVE PATIENTS. .... 43

*Санников И.А., Трошкин Д.А., Зурдеев И.З.*

СТОХАСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ МНОГОКАНАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ. .... 50

### Криптографические методы

*Панов Н.П.*

О ПОИСКЕ СОВЕРШЕННОГО ШИФРА ЗАМЕНЫ ДЛЯ ЗАДАННОГО НАБОРА ПАРАМЕТРОВ ..... 55

### Информационные технологии

*Кожевников В. В.*

КОНЦЕПЦИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ КОГНИТИВНЫХ ЦИФРОВЫХ АВТОМАТОВ ..... 62

*Прохорова Е. Ф.*

ПРИКЛАДНАЯ ПРОГРАММА ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО СОСТАВЛЕНИЯ РАБОЧИХ ПРОГРАММ УЧЕБНЫХ КУРСОВ ..... 70

<i>Угаров В. В.</i>	
О ПОСТРОЕНИИ ПРОГРАММ ДЛЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА.....	80
<i>Фирулин А.М.</i>	
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БИБЛИОТЕКИ CLIPSJNI ДЛЯ СОЗДАНИЯ ВЕБ-ИНТЕРФЕЙСОВ ДЛЯ ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМ .....	85
<i>Фирулин А.М.</i>	
РАЗРАБОТКА ВЕБ-ОРИЕНТРОВАННОГО ИНТЕРФЕЙСА КОНЕЧНОГО ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ДЛЯ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ .....	92
<i>Чичев А.А., Новиков А.М., Чекал Е.Г.</i>	
СИСТЕМА ОЦЕНКИ СТИЛЯ ПРОГРАММИРОВАНИЯ.....	106

### **Телекоммуникационные технологии**

<i>Украинцев Ю. Д., Гончаров А.В.</i>	
ОДИН ИЗ ПОДХОДОВ К ОСЛАБЛЕНИЮ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ РАДИОЧАСТОТ, НЕГАТИВНО ВЛИЯЮЩИХ НА ЖИВЫЕ ОРГАНИЗМЫ .....	117
<i>Украинцев Ю. Д., Гончаров А.В.</i>	
ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗНЕСЕННОГО ПРИЕМА СИГНАЛОВ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕПАРАМЕТРИЧЕСКОГО АНАЛИЗАТОРА ПОМЕХОВОЙ ОБСТАНОВКИ .....	123

## **О моделировании манипуляционных систем с различными типами приводов<sup>1</sup>**

*Андреев А.С., Таджиев Д.А., Аминаров А.В.*

*Ульяновский государственный университет*

*Аннотация.* В работе проводится анализ исследований по теоретико-практическим методам моделирования, конструирования и проектирования манипуляторов с различными типами приводов.

*Ключевые слова:* манипуляционная система, привод, синтез управления.

### **Введение.**

Математическое моделирование и проектирование мехатронных систем ставят новые связанные с внедрением цифровой техники проблемы перед теоретической механикой, вычислительной математикой, теорией управления и разработкой сенсорно-информационных подсистем.

В настоящей статье представлен обзор научных статей по моделированию манипуляционных систем с различными типами приводов.

### **Основная часть.**

Рассмотрим анализ математических моделей структур управления мехатронными, прежде всего, робототехническими системами. Роботы представляют собой не только сложные исполнительные механизмы, описываемые громоздкими уравнениями кинематики и динамики. Эти механизмы работают совместно с силовыми агрегатами приводов и их системами управления, обеспечивающими целенаправленное движение. Моделирование на ЭВМ динамического поведения таких систем – мощное средство выявления рациональной кинематической схемы механизма и эффективных алгоритмов управления. Часто только с помощью моделирования таких сложных систем можно получить ответы на вопросы, возникающие на этапах предварительного проектирования, разработки, испытаний манипуляционных роботов, а также в процессе их эксплуатации. Разнообразие возможных конструкций, сложность математического описания управляемого движения многозвенного механизма делают также актуальным создание системы автоматизации программирования алгоритмов, составления математической

---

<sup>1</sup> Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 15-01-08482).

модели и моделирования движения по заданной кинематической схеме механизма и закону управления.

Специфика задач механики роботов состоит в том, что роботы являются управляемыми системами, к ним предъявляются высокие требования по точности и быстродействию, по реализации исполнительным механизмом самых различных условий движения объекта (отработка заданных положений, скоростей, ориентации ускорений, усилий), причем структура кинематической цепи может изменяться в процессе движения. Все это требует использования всего арсенала средств и методов механики, теории механизмов, теории автоматического управления, теории упругости и колебаний, теории привода.

Современные исследования по теоретической разработке робототехнических систем, в том числе, манипуляционных роботов, во многом основываются на фундаментальных работах конца прошлого века [1-26]. Решение задач управления при конструировании управляемых систем зачастую увязывается с математическим описанием систем. Используются три основных способа математического описания (см. [27—30] и др.).

1. Передаточные функции и частотные характеристики линеаризованных систем.
2. Детализированные структурные схемы или направленные графы – графическое поэлементное описание, составленное на основе физических законов, действующих в простейших частях системы.

Описание объекта в виде передаточных функций и частотных характеристик наиболее распространено в инженерных разработках на стадиях проектирования и наладки. Однако в связи с постепенным внедрением сложных (нелинейных, многомерных, оптимальных, адаптивных) автоматических систем применение передаточных функций становится ограниченным. При этом применение детализированных структурных схем (направленных графов) дает возможность перейти от преобразования Лапласа к временной форме всех переменных системы и наиболее полным образом использовать в исследованиях ЭВМ.

С учетом развития систем автоматизированного проектирования наиболее общим и перспективным способом математического описания автоматических систем в настоящее время следует, по-видимому, считать описание в форме пространства состояний, которое позволяет рассматривать нелинейные, нестационарные задачи управления многомерными объектами со многими входами и выходами. Проблемы математической и прикладной теории управления с середины 50-х годов прошлого века являются предметом огромного числа научных исследований.

Определенное представление о них можно получить из обзоров [31—34]. В [31] обсуждаются задачи линейной теории управления, допускающие простую формулировку, но эффективные методы решения которых неизвестны. В [32] рассматривается задача асимптотической стабилизации положений равновесия нелинейных динамических систем с помощью динамических обратных связей по оценке состояния систем асимптотическим наблюдателем. Приведены классы нелинейных динамических систем, допускающих построение асимптотических наблюдателей, работающих глобально, а также классы систем, для которых справедлив принцип разделения, т.е. возможна асимптотическая стабилизация заданного положения равновесия системы с помощью раздельного построения стабилизирующей обратной связи по состоянию и наблюдателя для оценки состояния системы с последующей подстановкой оценки состояния в обратную связь. В [33] описаны сингулярные возмущения задачи управления, в основном линейных систем. В обзоре [34] указывается, что сегодня, несмотря на бурное развитие информатизации, компьютеризации, автоматизации, ряд ученых и инженеров практической ориентации отмечают неблагоприятное и даже кризисное состояние теории управления, тенденций ее развития. Анализ существа и причин этого почти отсутствует. Обзор [34] имеет целью выявить причины падения эффективности теории управления и наметить пути преодоления этой тенденции, по меньшей мере, в сфере технических автоматических и автоматизированных систем. На основе статистики научных публикаций уточняется периодизация развития теории управления техническими системами. Показан несомненный приоритет отечественной науки в этой области. Эволюция современной теории управления рассматривается на примере самоорганизующихся адаптивных систем. Подтверждается, что проблема адаптивного регулятора остается нерешенной на уровне современных требований. Утверждается, что среди причин этого и общего кризиса теории управления в последней четверти XX века выступает нарушение принципов науковедения о сочетании дифференциации и интеграции наук, теории и практики. Перечисляются современные требования к адаптивному регулятору и излагаются алгоритмы регулятора, удовлетворяющего этим требованиям. Обзор базируется на библиографических (наукометрических) обобщениях автора и его взглядах, гипотезах, сформировавшихся за длительное время работы в данной области.

Проведенный анализ приводит к следующему заключению. Современные подходы к конструированию и проектированию структур управления механическими системами, а также техническими системами и процессами, содержащими

механические подсистемы (на материале о робототехнических системах) имеют место следующие недостатки:

1. Проектирование ряда конкретных технических систем (в частности, в отечественных патентных разработках) практически отсутствуют эффективные расчеты структуры управления, не предусматривается автоматизация процесса управления.

2. При проектировании конкретных технических систем применяются достаточно простые кинематические схемы управления.

3. Моделирование динамики робототехнических систем нередко основывается на формализмах, приводящих к уравнениям, для которых имеются достаточные сложности их разрешимости и соответствующие трудности вычислительного характера. Эффективные модели нелинейного управления строятся при кинематическом моделировании. При динамическом моделировании используются, в основном, линейные модели.

Указанные недостатки объясняются следующим основным фактором. Основы конструирования управляемых механических систем, в том числе, робототехнических, были заложены в середине прошлого века. Получили интенсивное развитие, как прикладные разработки, так и фундаментальные исследования. Прикладные разработки были объективно обусловлены развитием производства, авто-, самолето- и ракетостроением. Сложились определенные эффективные принципы построения, проектирования и применения управляемых механических систем и технических процессов.

Прикладные проблемы быстро исчерпали научный задел теории автоматического управления, проводимые фундаментальные исследования были направлены, прежде всего, на восполнение теоретического обоснования прикладных разработок. Сегодня прогресс прикладных разработок почти полностью зависит от опережающего математического моделирования технической системы или технического процесса, создания на этой основе информационно-управляющих структур, автоматических систем управления.

Математическая постановка задачи о синтезе управления разделяется на постановки об управлении на конечном интервале времени и на бесконечном – задачи о стабилизации, базирующиеся на классических определениях устойчивости по Ляпунову. Проводимые в проекте исследования будут, в основном, базироваться на работах по задаче о стабилизации движений и процессов. основополагающими и здесь являются методы Ляпунова: на основе линейного приближения или укороченных уравнений; на основе функций Ляпунова.



Отсутствие универсального алгоритма построения функции Ляпунова для общей нелинейной системы стимулировало многочисленные исследования по развитию теоремы Ляпунова об асимптотической устойчивости. Эффективным в этом плане оказалось применение знакопостоянных функций Ляпунова [35-40].

Методы исследования на основе линейного приближения являлись и являются одними из эффективных и часто применяемых методов решения прикладных задач математической теории управления. Изложению соответствующих материалов посвящены и посвящаются классические и новейшие учебники по теории автоматического управления [41–51]. Как указано в обзоре [52], линейная теория управления представляет собой стройную научную дисциплину со сложившимся аппаратом и широким спектром решаемых проблем, однако ошибочно полагать, что теория линейного управления завершена. Из работ по ее развитию выделяются публикации [53-59].

Новые способы решения задачи о стабилизации стационарных систем посредством построения интегрального управления [60, 61], настройки обратной связью [62], замены обратной связи по состоянию и замены переменных по состоянию [62, 63] позволяют значительно расширить применение метода линеаризации [64]. Эффективным в приложениях являются метод скользящих режимов и его развитие [65-67], метод бэкстеппинга [63, 68-73].

В целом ряде работ исследуется применение концепций пассивности и диссипативности в задачах управления нелинейными системами. Подробный обзор таких работ дан в статье [74]. Статьи, представленные в монографии [75], достаточно подробно освещают последние результаты по абсолютной устойчивости нелинейных систем, описываемые векторно-матричными уравнениями.

Новые принципы построения нелинейной обратной связи разработаны в работах акад. С.В. Емельянова и его учеников. Соответствующие результаты представлены в монографии [76]. Представленные методы имеют применение при решении задач промышленной автоматики и при создании систем управления сложными объектами. Как было указано выше, основные методы решения задач о стабилизации движений нелинейных управляемых систем основаны на применении прямого метода Ляпунова. Методика исследования состоит либо непосредственно в применении общих теорем об устойчивости, либо в их модификации, развитии и обобщении с последующим решением поставленных задач о стабилизации движения. Такая методика широко применяется в решении задач управления движением механических систем. В последние 10 лет в этом плане выделяются работы по применению знакопостоянных функций Ляпунова [77—93].

Решение задач о стабилизации достигается, как правило, для целого класса управлений. Это позволяет, в частности, вывести робастный характер полученных решений и выбрать управление, решающее задачу оптимальной стабилизации. В реальных управляемых системах синтез управления не может быть мгновенным, он формируется с запаздыванием, определяясь в структуре обратной связи. Моделирование таких систем проводится на основе функционально-дифференциальных уравнений. Заметим, что к исследованию таких систем приводятся задачи управления с ПИ- и ПИД-регуляторами и т.д. Для таких систем Н.Н. Красовским были обоснованы методы функционалов и функций Ляпунова [35] (по последнему методу основополагающими являются также работы Б.С. Разумихина [94]).

Для управляемых систем с учетом запаздывания эффективным представляются публикации [95-126]. Важным в этом плане представляется обзор [127]. Управление многими приводами имеет дискретный характер. Эта дискретность имеет определенные особенности по отношению к непрерывному позиционному управлению. Соответственно возникает необходимость постановки соответствующей задачи и разработки методов ее решения [128]. Из последних работ в этой области, представляющих собой значимость для исследований по управлению, выделим работы [129—132]. Широкое применение в управляемых системах нашли релейные управления [133—137].

Одним из ключевых модулей манипуляционной системы является модуль привода. В робототехнике применяются самые различные типы приводов: электрические (электромеханические, электромагнитные); гидравлические; пневматические; комбинированные системы (электрогидравлические, электропневматические, электрогидропневматические). В настоящее время при разработке мехатронных систем применяются приводы нового поколения: смартприводы; микроприводы; пьезоприводы; интегральные приводы, основанные на высокоточных микро/нано электромеханических системах.

При решении задач управления манипуляторами считается возможным ограничиться задачей управления механической подсистемой. Однако динамика исполнительных устройств (приводов) может оказывать существенное влияние на процесс управления. Математическому моделированию, как приводов, так и совместному функционированию механической подсистемы с исполнительными устройствами, посвящены многочисленные работы. Подробное описание функционирования приводов представлено, как в известных монографиях [1, 2, 3, 5, 16, 21], так и в учебниках по робототехнике [138, 139], сравнительный анализ приводов представлен в работах [150, 151]. Естественно, что задача моделирования манипуляторов с учетом динамики приводов

начала изучаться одновременно с разработкой математической теории управления механическими системами.

Наиболее разработанными представляются модели манипуляционных систем с электроприводами постоянного тока [21, 139]. Математическая модель такой системы с жестким типом сочленений может быть описана следующими уравнениями

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} \left( \frac{\partial T}{\partial \dot{q}} \right) - \frac{\partial T}{\partial q} &= Q + M, \\ \frac{dM}{dt} &= -S_1 M - S_2 \dot{q} + S_3 U \end{aligned} \quad (1)$$

где  $q \in R^n$  - вектор обобщенных координат, определяющий положение механической подсистемы,  $T$  - ее кинетическая энергия,  $M$  - обобщенное усилие, развиваемое исполнительными устройствами,  $Q$  - обобщенная сила, отвечающая соответствующим внешним и внутренним силам, действующим на систему,  $U$  - вектор напряжения,  $S_1, S_2, S_3 \in R^{n \times n}$  - дополнительные матрицы, задаваемые инерционными и электрическими параметрами приводов.

Исследованию задачи управления системой, моделируемой уравнениями (1), посвящены многочисленные исследования [140-142, 125]. Были применены следующие основные подходы ее решения.

1) Система (1) сводится к системе третьего порядка относительно вектора обобщенных координат  $q$ . Соответственно, вектор  $U$  определяется в виде зависимости  $U = U(t, q, \dot{q}, \ddot{q})$ . Измерению подлежат не только соответствующие координаты и их скорости, а также и ускорения, что в некоторых случаях может быть заменено измерением соответствующих усилий. Возможность стабилизации программных движений системы посредством релейных управлений при таком подходе на основе прямого метода Ляпунова показана в работах [140-142, 125]. Решение на основе теории динамических игр с нечеткой логикой дано в статье [146].

2) Частичная стабилизация программных движений системы (1) посредством построения соответствующей функции Ляпунова найдена в работе [143].

3) Достаточно сложное решение задачи на основе метода бэкстеппинга получено в работе [144].

Задача о синтезе управления манипуляционной системой с жесткими и эластичными сочленениями подробно исследована в работе [144].

Задача об управлении с учетом динамики гидропривода может быть приведена к случаю электроприводов [141, 146, 147]. Учет динамики пневмопривода рассмотрен в работах [148, 149].

#### Список литературы

1. Кулешов В.С., Лакота Н.А. Динамика систем управления манипуляторами. – М.: Энергия, 1971. – 304 с.
2. Игнатъев М.Б., Кулаков Ф.М., Покровский А.М. Алгоритмы управления роботами-манипуляторами. – Л.: Машиностроение, 1972. – 360 с.
3. Пол Р. Моделирование, планирование траекторий и управление движением робота-манипулятора / Перевод с англ. – М.: Наука, 1976. – 103 с.
4. Попов Э.В., Фирдман Г.Р. Алгоритмические основы интеллектуальных роботов и искусственного интеллекта. – М.: Наука, 1976. – 456 с.
5. Попов Е.П., Верещагин А.Ф. Зенкевич С.Л. Манипуляционные роботы. Динамика и алгоритмы. – М.: Наука, 1978. – 398 с.
6. Медведев В.С., Лесков А.Г., Ющенко А.С. Системы управления манипуляционных роботов. – М.: Наука, 1978. – 416 с.
7. Ямпольский Л.С., Яхимович В.А., Вайсман Е.Г. и др. Промышленная робототехника. – К.: Техника, 1984. – 264 с.
8. Бабич А.В., Баранов А.Г., Калабин И.В. Промышленная робототехника. – М.: Машиностроение, 1982. – 415 с.
9. Vukobratovic M., Stokic D. Scientific fundamentals of robotics, control of manipulations robots: theory and application. – Berlin: Springer-Verlag, 1982. Перевод: Вукобратович М.К., Стокич Д.М. Управление манипуляционными роботами: Теория и применение. – М.: Наука, 1985. – 384 с.
10. Робототехника и гибкие автоматизированные производства. В 9-ти кн. Под ред. И.М. Макарова. – М.: Высш. шк., 1986.
11. Тимофеев А.В. Управление роботами. – Л.: Ленингр. Ун-т, 1986. – 276 с.
12. Кулаков Ф.М. Супервизорное управление манипуляционными роботами. – М.: Наука, 1989. – 448 с.
13. Фролов К.В., Воробьев Е.И. Механика промышленных роботов. Кн. 1. Кинематика и динамика. – М.: Высш. шк., 1988. – 304 с.
14. Фролов К.В., Воробьев Е.И. (ред.) Механика промышленных роботов. Кн. 2. Расчет и проектирование механизмов. – М.: Высш. шк., 1988. – 367 с.
15. Фролов К.В., Воробьев Е.И. (ред.) Механика промышленных роботов. Кн. 3. Основы конструирования. – М.: Высш. шк., 1988, 383 с.

16. Vukobratovic M., Stokic D., Kircanski N. Non-adaptive and adaptive control of manipulation robots. – Berlin: Springer-Verlag, 1985. Перевод: Вукобратович М., Стокич Д., Кирчански Н., Неадаптивное и адаптивное управление манипуляционными роботами. – М.: Мир, 1989. – 376 с.
17. Интегральные роботы // Сб. статей / Под ред. Г.Е. Поздняка. – М.: Мир, 1975.
18. Охоцимский Д.Е., Голубев Ю.Ф. Механика и управление движением автоматического шагающего аппарата – М.: Наука, 1984.
19. Кобринский А.А., Кобринский А.Е. Манипуляционные системы роботов. – М.: Наука, 1985. – 344 с.
20. Фу К., Гонсалес Р., Ли К. Робототехника / Перевод с англ. – М.: Мир, 1989. – 624 с.
21. Черноусько Ф.Л., Болотник Н.Н., Градецкий В.Г. Манипуляционные роботы: динамика, управление, оптимизация. – М.: Наука, 1989. – 368 с.
22. Кулаков Ф.М. Супервизорное управление манипуляционными роботами. – М.: Наука, 1989. – 448 с.
23. Вербюк В.Е. Динамика и оптимизация робототехнических систем. – Киев: Наук. думка, 1989. – 187 с.
24. Градецкий В.Г., Князьков М.М., Фомин Л.Ф., Чашухин В.Г., Механика миниатюрных роботов. – М.: Наука, 2010. – 271 с.
25. Градецкий В.Г., Вешников В.Б., Камниченко С.В., Кравчук Л.Н. Управляемое движение мобильных роботов по произвольно ориентированным в пространстве поверхностям. – М.: Наука, 2001. – 356 с.
26. Корендясев А.И., Саламандра Б.Л., Тывес Л.И. Теоретические основы робототехники. В 2 кн. Кн. 2. – М.: Наука, 2006. – 383 с.
27. Максвелл Д.К. Теория автоматического регулирования / Д.К. Максвелл, И.А. Вышнеградский, А. Стодола – М.: Издательство АН СССР, 1949. – 430 с.
28. Формальский А.М. Управляемость и устойчивость систем с ограниченными ресурсами. – М.: Наука, 1974. – 367 с.
29. Фомин В.Н., Фрадков Ф.Л., Якубович В.А. Адаптивное управление динамическими объектами. – М.: Наука, 1974. – 367 с.
30. Уткин В.И. Скользящие режимы в задачах оптимизации и управления. – М.: Наука, 1985. – 224 с.
31. Поляк Б.Т. Трудные задачи линейной теории управления. Некоторые подходы к решению / Б.Т. Поляк, П.С. Щербаков // Автоматика и телемеханика. – 2006. – № 5. – С. 7– 46.

32. Голубев А.Е. Стабилизация нелинейных динамических систем с использованием оценки состояния системы асимптотическим наблюдателем (Обзор) / А.Е. Голубев, А.П. Крищенко, С.Б. Ткачев // Автоматика и телемеханика. – 2005. – №7. – С. 3 – 42.
33. Дмитриев М.Г. Сингулярные возмущения в задачах управления / М.Г. Дмитриев, Г.А. Курина // Автоматика и телемеханика. – 2006. – № 1. – С. 3 – 51.
34. Красовский А.А. Наукоедение и состояние теории процессов управления // Автоматика и телемеханика. – 2000. – № 4. – С. 3 – 19.
35. Красовский Н.Н. Некоторые задачи теории устойчивости движения / Н.Н. Красовский – М.: Физматгиз, 1959. – 211 с.
36. Лефшец С. Устойчивость нелинейных систем автоматического управления / С. Лефшец – М.: Мир, 1967.
37. Андреев А.С. Об асимптотической устойчивости и неустойчивости неавтономных систем / А.С. Андреев // ПММ. – 1979. – Т. 49, Вып.5. – С. 796—805.
38. Андреев А.С. Об асимптотической устойчивости и неустойчивости нулевого решения неавтономной системы / А.С. Андреев // ПММ. – 1984. – Т. 48, Вып. 2. – С. 225—232.
39. Андреев А.С. Об исследовании частичной асимптотической устойчивости и неустойчивости на основе предельных уравнений / А.С. Андреев // ПММ. – 1987. – Т. 51, Вып. 2. – С. 253—259.
40. Андреев А.С. Об исследовании частичной асимптотической устойчивости // ПММ. – 1991. – Т. 55, Вып. 4. – С. 529—547.
41. Афанасьев В.Н. Математическая теория конструирования систем управления: Учеб. для вузов / В.Н. Афанасьев, В.Б. Колмановский, В.Р. Носов – 3-е изд., испр. и доп. М.: Высш. шк., 2003. – 614 с.
42. Ройтенберг Я.Н. Автоматическое управление / Я.Н. Ройтенберг – М.: Наука, 1971. – 395 с.
43. Сю Д. Современная теория автоматического управления и ее приложения / Д. Сю, А. Мейер – М.: Машиностроение, 1972.
44. Андреев Ю.Н. Управление конечномерными линейными объектами / Ю.Н. Андреев – М.: Наука, 1976.
45. Квакуернаак Х. Линейные оптимальные системы управления / Х. Квакуернаак, Р. Сиван – М.: Мир, 1977.
46. Алексеев В.М. Оптимальное управление. 2-е изд. / В.М. Алексеев, В.М. Тихомиров, С.В. Фомин – М.: Физматлит, 2006.

47. Первозванский А.А. Курс теории автоматического управления / А.А. Первозванский – М.: Наука, 1986.
48. Справочник по теории автоматического регулирования / ред. А.А. Кравченко – М.: Наука, 1987.
49. Анализ и оптимальный синтез на ЭВМ систем управления / ред. А.А. Воронов, И.А. Огурек – М.: Наука. 1984. – 412 с.
50. Матвеев А.С. Оптимальные системы управления: обыкновенные дифференциальные уравнения. Специальные задачи: Учеб. пособие / А.С. Матвеев, Якубович В.А. – СПб.: Изд-во СПбГУ, 2003.
51. Дорф Р. Современные системы управления / Р. Дорф, Р. Бишоп; Пер. с англ. Б.И. Копылова. – М.: Лаборатория Базовых знаний, 2004. – 832 с.
52. Поляк Б.Т., Щербаков П.С. Трудные задачи линейной теории управления. Некоторые подходы к решению // Автоматика и телемеханика. – 2005. – № 5. – С. 7—46.
53. Габасов Р. Стабилизация линейных динамических систем оптимальными управлениями линейно-квадратичных задач / Р. Габасов, А.В. Лубочкин // ПММ. – 1998. – Т.62, Вып. 4. – С. 556—565.
54. Габасов Р. Робастная стабилизация динамических систем ограниченными управлениями / Р. Габасов, Е.А. Ружицкая // ПММ. – 1998. – Т.62, Вып. 5. – С. 778—786.
55. Шашихин В.Н. Робастная стабилизация линейных интервальных систем / В.Н. Шашихин // ПММ. – 2002. – Т.66, Вып. 3. – С. 402—409.
56. Калман Р. Очерки по математической теории систем / Р. Калман, П. Фалб, М. Арбиб – М.: Мир, 1971. – 400 с.
57. Александров В.В. Оптимизация динамики управляемых систем / В.В. Александров, В.Г. Болтянский, С.С. Лемак, А. Парусников, В.М. Тихомиров – М.: МГУ, 2000. – 303 с.
58. Баландин Д.В., Коган М.М. Синтез оптимальных линейно-квадратичных законов управления на основе линейных матричных неравенств // Автоматика и телемеханика. – 2007. – № 3. – С. 3—17.
59. Баландин Д.В., Коган М.М. Линейно-квадратичные и  $H_\infty$ -оптимальные законы управления по выходу // Автоматика и телемеханика. – 2008. – № 6. – С.5—14.
60. Huang J. On a nonlinear multivariable servomechanism problem / J. Huang and W.J. Rugh // Automatica, 1990, – V. 26. – P. 963—972.

61. Isidori A. Output regulation of nonlinear systems / A. Isidori and C.I. Byrnes // IEEE Trans. Automat. Contr. – 1990. – V. 35. – P. 131—140.
62. Lawrence D.A. Gain scheduling dynamic linear controllers for a nonlinear plant / D.A. Lawrence and W.J. Rugh // Automatica. – 1995. – V. 31. – P. 381—390.
63. Rugh W.J. Research on gain scheduling / W.J. Rugh and J.S. Shamma // Automatica. – 2000. – V. 36. – P. 1401—1425.
64. Халил Х.К. Нелинейные системы / Х.К. Халил – М.-Ижевск: НИЦ "Регулярная и хаотическая динамика", Институт компьютерных исследований, 2009. – 832 с.
65. Utkin V. Sliding Mode Control in Electromechanical Systems / V. Utkin, J. Guldner, and J. Shi – Taylor&Francis, London, 1999.
66. Sira-Ramirez H. A dynamical variable structure control strategy in asymptotic output tracking problem / H. Sira-Ramirez // IEEE Trans. Automat. Contr. – 1993. – V. 38. – P. 615—620.
67. Fukao T. Adaptive tracking control of a nonholonomic mobile robot / T. Fukao, H. Nakagawa, N. Adachi // IEEE Transactions on Robotics and Automation. – 2000. – V.16, No 5. – P. 609—615.
68. Dong W. Robust adaptive control of nonholonomic mobile robot with parameter and nonparameter uncertainties / W. Dong, K.D. Kuhnert // IEEE Transactions on Robotics and Automation. – 2005. – V. 21, No 2. – P. 261—266.
69. Do K.D. Simultaneous tracking and stabilization of mobile robots: an adaptive approach / K.D. Do, Z.P. Jiang, J. Pan // IEEE Transactions on Automatic Control. – 2004. – V.49, No 7. – P. 1147—1154.
70. Zhu X. Robust simultaneous tracking and stabilization of wheeled mobile robots not satisfying nonholonomic constraint / X. Zhu, G. Dong, Z. Cai, D. Hu // Journal of Central South University of Technology. – 2007. – V. 14, No 4. – P. 537—545.
71. Fang H., Ruixia Fan, Thuilot B., Martinet P. Trajectory tracking control of farm vehicles in presence of sliding // Robotics and Autonomous Systems. 2006. V.54. P. 828-839.
72. Raffo G.V. Backstepping / Nonlinear H<sup>∞</sup> Control for Path Tracking of a QuadRotor Unmanned Aerial Vehicle / G.V. Raffo, M.G. Ortega, F.R. Rubio // 2008 American Control Conference. Westin Seattle Hotel, Seattle, Washington, USA, June 11-13, 2008. – P. 3356—3361.
73. Перегудова О.А., Пахомов К.В. О стабилизации нелинейных систем с кусочно-постоянным управлением при помощи метода бэкстеппинга // Автоматизация процессов управления. 2013. № 4(34).



74. Полушин И.Г., Фрадков А.Л., Хилл Д.Д. Пассивность и пассивфикация нелинейных систем // Автоматика и телемеханика. – 2000. – № 3. – С. 3—37.
75. Нелинейные системы. Частотные и матричные неравенства / ред. А.Х. Гелиг, Г.А. Леонов, А.Л. Фрадков – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008.
76. Емельянов С.В. Избранные труды по теории управления / С.В. Емельянов. – М.: Наука, 2006. – 450 с.
77. Косов А.А. О глобальной устойчивости неавтономных систем. I / А.А. Косов // Известия высших учебных заведений. Математика. – 1997. – № 7(422). – С. 28—35.
78. Косов А.А. О глобальной устойчивости неавтономных систем. II / А.А. Косов // Известия высших учебных заведений. Математика. – 1997. – № 8(423). – С. 33—42.
79. Андреев А.С. О развитии прямого метода Ляпунова в задачах устойчивости / А.С. Андреев // «Компьютерные технологии, наука и образование в XXI веке». Материалы V Международной открытой сессии «Modus Academicus». Ульяновск, 30 ноября 2001 г.
80. Андреев А.С. Об исследовании устойчивости неустановившегося движения на основе знакопостоянных функций Ляпунова / А.С. Андреев, Т.А. Бойкова // Уч. зап. Ульян. гос. ун-та. Сер. «Фундаментальные проблемы математики и механики». – Ульяновск: Изд-во УлГУ, 2002. – Вып. 1(11). – С. 8—15.
81. Андреев А.С. Знакопостоянные функции Ляпунова в задачах об устойчивости / А.С. Андреев, Т.А. Бойкова // Механика твёрдого тела. Донецк: Ин-т прикл. мат. и мех. – 2002. – Вып. 32. – С. 109—116.
82. Iggidr A. On the stability of nonautonomous systems / A. Iggidr, G. Sallet // Automatica 39. – 2003. – P. 167—171.
83. Андреев А.С. О глобальной стабилизируемости и управляемости нелинейной системы / А.С. Андреев, Е.Б. Ким // Обзорение прикладной и промышленной математики. – 2004. – Т. 11, Вып. 3. – С. 613—614.
84. Платонов А.В. Об устойчивости нелинейных сложных систем / А.В. Платонов // Известия Академии наук. Теория и системы управления. – 2004. – № 4. – С. 41—46.
85. Андреев А.С. К методу сравнения в задачах об асимптотической устойчивости / А.С. Андреев, О.А. Перегудова // Доклады Академии наук. – 2005. – Т. 400, № 5. – С. 621—624.
86. Андреев А.С. К методу сравнения в задачах об асимптотической устойчивости / А.С. Андреев, О.А. Перегудова // ПММ. – 2006. – Т. 70, Вып. 6. – С. 965—976.

87. Бойков И.В. О критерии устойчивости решений систем нелинейных дифференциальных уравнений / И.В. Бойков // Дифференциальные уравнения. – 2006. – Т. 42, № 1. – С. 3—10.
88. Перегудова О.А. Функции Ляпунова вида векторных норм в задачах устойчивости / О.А. Перегудова // Уч. зап. Ульян. гос. ун-та. Сер. «Фундаментальные проблемы математики и механики». – Ульяновск: Изд-во УлГУ, 2006. – Вып. 1(16). – С. 43—51.
89. Андреев А.С. О стабилизации движения нестационарной управляемой системы / А.С. Андреев, В.В. Румянцев // Автоматика и телемеханика. – 2007. – № 8. – С. 18—31.
90. Румянцев В.В. О стабилизации движения нестационарной управляемой системы / В.В. Румянцев, А.С. Андреев // Доклады Академии наук. – 2007. – Т. 416, № 5. – С. 627—629.
91. Перегудова О.А. Логарифмические матричные нормы в задачах устойчивости движения / О.А. Перегудова // ПММ. – 2008. – Т. 72, Вып. 3. – С. 410—420.
92. Онищенко С.М. Прямой подход к синтезу нелинейных систем стабилизации: метод прямого жесткого синтеза / С.М. Онищенко // Проблемы управления и информатики. – 2000. – № 3. – С. 17—25.
93. Андреев А.С. Об оптимальной стабилизации установившегося движения управляемой системы / А.С. Андреев, Е.Б. Ким // Механика твердого тела. ИПМН НАН Украины (Донецк). – 2004. – Т. 34. – С. 119—126.
94. Разумихин Б.С. Об устойчивости систем с запаздыванием / Б.С. Разумихин // ПММ. – 1956. – Т. 20, Вып. 4. – С. 500—512.
95. Ким А.В.  $i$ -Гладкий анализ и функционально-дифференциальные уравнения / А.В. Ким – Екатеринбург: УрО РАН, 1996. – 233 с.
96. Андреев А.С. Устойчивость неавтономных функционально-дифференциальных уравнений / А.С. Андреев – Ульяновск: Изд-во УлГУ, 2005.
97. Андреев А.С. К методу функционалов Ляпунова в задаче об асимптотической устойчивости и неустойчивости / А.С. Андреев, Д.Х. Хусанов // Дифференц. уравнения. – 1998. – Т. 34, № 7. – С. 876—885.
98. Андреев А.С. Незнакоопределенные функционалы Ляпунова в задаче об устойчивости функционально-дифференциальных уравнений с конечным запаздыванием / А.С. Андреев, С.В. Павликов // Механика твёрдого тела. – Донецк: Ин-т прикл. мат. и мех. – 2004. – Вып. 34. – С. 112—120.

99. Павликов С.В. Знакопостоянные функционалы Ляпунова в задаче об устойчивости функционально-дифференциального уравнения / С.В. Павликов // ПММ. – 2007. – Т. 71, Вып. 3. – С. 377—388.
100. Павликов С.В. Метод функционалов Ляпунова в задачах устойчивости / С.В. Павликов – Набережные Челны: Ин-т управления, 2006.
101. Габасов Р., Кириллова Ф. М. Стабилизация систем с запаздыванием методами оптимального управления // Известия высших учебных заведений. Математика. 2002. № 12. С. 44 – 54.
102. Gyori I. Preservation of stability in delay equations under delay perturbations / I. Gyori, F. Hartung // Journal of Math. Anal. and Appl. – 1998. – V. 220. – P. 290—312.
103. Albertini F. Continuous control-Lyapunov functions for asymptotically controllable time-varying systems / F. Albertini, E.D. Sontag // Internat. J. Control. – 1999. – No 72(18). – P. 1630—1641.
104. Blanchini F. A Razumikhin-type lemma for functional differential equations with application to adaptive control / F. Blanchini, E.P. Ryan // Automatica. – 1999. – V. 35. – P. 809-818.
105. Mazenc F. Lyapunov functions for stable cascades and applications to stabilization / F. Mazenc, R. Sepulchre, M. Jankovic // IEEE Trans. on Autom. Control. – 1999. – V. 44, No 9. – P. 1795—1800.
106. Jankovic M. Extension of control Lyapunov functions to time-delay systems / M. Jankovic // Proceeding of the CDC, Sydney, Australia, – 2000. – P. 4403—4408.
107. Michiels W. Stability of perturbed delay differential equations and stabilization of nonlinear cascade systems / W. Michiels, R. Sepulchre, D. Roose // TW Report 298, Department of Computer Science, Katholieke Universiteit Leuven, Belgium, January 2000.
108. Hristova S.G. Razumikhin technique for boundedness of the solutions of impulsive integrodifferential equations / S.G. Hristova, L.F. Roberts // Mathematical and computer modelling. – 2001. – V. 34, No 7-8. – P. 839—847.
109. Jankovic M. Control Lyapunov-Razumikhin functions and robust stabilization of time delay systems / M. Jankovic // IEEE Trans. on Automatic Control. – 2001. – V. 46. – P. 1048—1060.
110. Jankovic M. Control of nonlinear systems with time delay / M. Jankovic // Proceeding of the 42nd IEEE Conference on Decision and Control. Maui, Hawaii USA, 2003. – P. 4545—4550.

111. Karafyllis I. A converse Lyapunov theorem for non-uniform in time global asymptotic stability and its application to feedback stabilization / I. Karafyllis, J. Tsinias // *SIAM J. of Control and Optimization*. – 2003. – V. 42, No 3. – P. 936—965.
112. Ilchmann A. Output feedback stabilization of minimum phase systems by delays / A. Ilchmann, C.J. Sangman // *Systems & Control Letters*. – 2004. – V. 52. – P. 233—245.
113. Niculescu S.I Stabilizing a chain of integrators using multiple delays / S.I Niculescu, W. Michiels // *IEEE Trans. on Automat. Control*. – 2004. – V. 49, No 5. – P. 802—817.
114. Wang Q. Impulsive stabilization of delay differential systems via the Lyapunov-Razumikhin method / Q. Wang, X. Liu // *Applied Mathematics Letters*. – 2007. – V. 20, Is. 8. – P. 839—845.
115. Fu X. Razumikhin-type theorems on exponential stability of impulsive infinite delay differential systems / X. Fu, X. Li // *Journal of Computational and Applied Mathematics*. – 2009. – V. 224, Is. 1. – P. 1—10.
116. Андреев А.С. Об устойчивости неавтономного функционально-дифференциального уравнения / А.С. Андреев // *Доклады Российской Академии наук*. – 1997. – Т. 356, № 2. – С. 151—153.
117. Павликов С.В. Знакопостоянные функционалы Ляпунова в задаче об устойчивости функционально-дифференциальных уравнений с конечным запаздыванием / С.В. Павликов // *Уч. зап. Ульян. гос. ун-та. Сер. «Фундаментальные проблемы математики и механики»*. – Ульяновск: Изд-во УлГУ, 2002. – Вып. 2(12). – С. 30—39.
118. Седова Н.О. Глобальная асимптотическая устойчивость и стабилизация нелинейных систем с последействием / Н.О. Седова // *Труды IX Международной Четаевской конференции «Аналитическая механика, устойчивость и управление движением», посвященной 105-летию Н.Г. Четаева*. Иркутск, 2007. – Т. 2. – С. 208—223.
119. Седова Н.О. Глобальная асимптотическая устойчивость и стабилизация в нелинейной каскадной системе с последействием / Н.О. Седова // *Изв. вузов. Математика*. – 2008. – № 11. – С. 208—223.
120. Седова Н.О. Контролирующие функционалы в задаче стабилизации систем с запаздыванием / Н.О. Седова // *Проблемы управления*. – 2008. – № 3. – С. 23—29.
121. Седова Н.О. Локальная и полуглобальная стабилизация в каскаде с запаздыванием / Н.О. Седова // *Автоматика и телемеханика*. – 2008. – № 6. – С. 70—81.
122. Перегудова О.А. К вопросу о построении уравнений сравнения для систем с запаздыванием / О.А. Перегудова // *Ученые записки Ульян. гос. ун-та. Сер.*

- «Фундаментальные проблемы математики и механики». – Ульяновск: Изд-во УлГУ, 2005. – Вып. 1(15). – С. 75—83.
123. Перегудова О.А. Знакопостоянные функции Ляпунова в задаче об устойчивости функционально-дифференциальных уравнений / О.А. Перегудова // Международный сборник "Проблемы нелинейного анализа в инженерных системах". – 2007. – Т. 13, № 2(28). – С. 97—108.
124. Перегудова О.А. Развитие метода функций Ляпунова в задаче устойчивости функционально-дифференциальных уравнений / О.А. Перегудова // Дифференциальные уравнения. – 2008. – Т. 44, № 12. – С. 1638—1647.
125. Перегудова О.А. Метод сравнения в задачах устойчивости и управления движениями механических систем / О.А. Перегудова – Ульяновск: Изд-во УлГУ, 2009. – 253 с.
126. Балашевич Н.В. Синтез оптимальной обратной связи и стабилизация систем с запаздыванием по управлению / Н.В. Балашевич, Р. Габасов, Ф.М. Кириллова // ПММ. – 1998. – Т.62, Вып. 1. – С. 139—150.
127. Андреев А.С. Метод функционалов Ляпунова в задаче об устойчивости функционально-дифференциальных уравнений / А.С. Андреев // Автоматика и телемеханика. – 2009, № 9. – С. 4—55.
128. Фурасов В.Д. Устойчивость и стабилизация дискретных процессов / В.Д. Фурасов – М.: Наука, 1982. – 191 с.
129. Баркин А.И. Об абсолютной устойчивости дискретных систем // Автоматика и телемеханика. 2008. № 10. С.3 – 8.
130. Богданов А.Ю. Синтез эффективных алгоритмов оптимизации и развитие прямого метода Ляпунова // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Физико-математические науки. 2008. № 4. С. 62 – 70.
131. Кузнецов С.И. О возможностях ПИД-управления типовыми инерционными и колебательными объектами // Автоматика и телемеханика. 2007. № 7. С. 18 – 30.
132. Гайшун И.В., Дымков М.П. Управляемость систем, описываемых линейными дискретными уравнениями Вольтерра // Автоматика и телемеханика. 2000. № 7. С. 88– 100.
133. Цыпкин Я.З. Релейные автоматические системы. – М.: Наука, 1974.
134. Емельянов С.В., Матич Б.Б., Костылева Н.Е. Универсальная унифицированная система управления переменной структуры // Приборы и системы управления. – 1973. – № 12. – 1974. – № 1.

135. Юнгер И.Б. Использование режимов, близких к скользящим, в нестационарных электромеханических системах // Известия вузов. Сер. Электромеханики. – 1979. – № 3.
136. Цыпкин Я.З., Кельманс Г.К. Дискретные адаптивные системы управления. Серия «Техническая кибернетика» // Итоги науки и техники ВИНТИ. – М.: 1984. – № 17.
137. Борцов Ю.И. Автоматические системы с разрывным управлением / Ю. А. Борцов, И. Б. Юнгер. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. Отделение, 1986. – 168 с.
138. Зенкевич С.Л., Ющенко А.С. Управление роботами. Основы управления манипуляционными роботами: Учеб. для вузов. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2000. – 400 с.
139. Юревич Е.И. Основы робототехники. 2-е изд., переизд. и доп. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 416 с.
140. Матюхин В.И., Пятницкий Е.С. Управление движением манипуляционных роботов на принципе декомпозиции при учете динамики приводов // Автоматика и телемеханика. 1989. № 9. С. 67-82.
141. Матюхин В.И. Универсальные законы управления механическими системами. – М.: МАКС Пресс, 2001. 249 с.
142. Перегудова О.А. К задаче стабилизации движений механических систем при учете динамики приводов / О.А. Перегудова, Д.Ю. Моторина // Обзорение прикладной и промышленной математики. – 2008. – Т. 15, Вып. 6. – С. 1118.
143. Dawson D.M., Qu Z., Carroll J.J. Tracking control of rigid-link electrically driven robot manipulators // International Journal of Control. 1992. Vol. 56. No 5. P. 991—1006.
144. Chun-Yi Su and Yury Stepanenko, Backstepping-based hybrid adaptive control of robot manipulators incorporating actuator dynamics // International Journal of Adaptive Control and Signal Processing. 1997. Vol. 11. P. 141—153.
145. Краснова С.А. Каскадный синтез системы управления манипулятором с учетом динамики электроприводов // Автоматика и телемеханика. 2001. Вып. 11. С. 51–72.
146. Chen B.S., Uang H.J., Tseng C.S. Robust Tracking Enhancement of Robot Systems Including Motor Dynamics: A Fuzzy-Based Dynamic Game Approach // IEEE Transactions on Fuzzy Systems. 1998. Vol. 6. No 4. P. 538—552.
147. Ломакин В.О., Шумилов И.С., Щербачев П.В. Математическое моделирование электрогидравлического следящего привода высокоточного регулирования вращательного движения // Известия высших учебных заведений. 2011. № 10. С. 38—45.

148. Паршин Д.Я., Барщенков А.А., Сморгунова М.В. Автоматическое управление бетоноукладчиком манипулятором // Новые технологии. 2012. № 3.
149. Носков Е.И., Донской А.С., Скляревский А.Н. Блочное математическое моделирование пневмопривода // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2014. Т. 16, № 1(2). С. 484—489.
150. Сарваров А.С., Васильев А.Е., Даниленко К.Б., Меньшикова Е.В. Сравнительный анализ приводов мехатронных систем // Теория и практика автоматизированного электропривода. 2014. № 4(25). С. 21—25.
151. Hollerbach J.M., Hunter I.W., Ballantyne J. A comparative Analysis of Actuator Technologies for Robotics // Robotics Review. 1992. No 2. P. 299—342.

### **On the modeling of manipulator systems with different types of actuators**

*Andreev A.S., Tadjiev D.A.*

*Ulyanovsk State University*

*Abstract.* The paper analyzes the research on theoretical and practical methods of modeling, design and engineering of manipulator systems with different types of actuators.

*Keywords:* manipulator system, actuator, synthesis of control.

## Определение точности дозаторов с использованием MATLAB

Артемова А.В.

Ульяновский государственный университет

*Аннотация.* Для оценивания точности дозаторов в случае приготовления различных смесей с расчетом в относительных величинах имеются определенные предложения, однако в условиях работы оперировать относительными данными неудобно, поскольку чаще используются абсолютные значения задаваемых масс. Поэтому в данной статье предложенный вариант расчетов определения точности дозаторов был адаптирован для расчета в MATLAB с учетом задания разных начальных данных удобных в использовании и представлен в данной работе.

*Ключевые слова:* абсолютные единицы, дозирование, разрешенное отклонение, доли компонентов в смеси.

### Введение.

Для выполнения дозирования разных компонент надо оценить точность дозаторов, которые участвуют в процессе. Для их точного вычисления необходимо автоматизировать расчеты для выяснения нужных характеристик. В метрологии нет определения «точность», но в данной работе она характеризуется отклонением массы смеси, сдозированной в единицу времени, от заданной, и отклонением содержания отдельных компонентов в смеси от заданного их соотношения [1, с. 43].

В работе рассматривается предлагаемая формула для расчета точности дозаторов при дозировании сыпучих материалов, ее различные формы для реализации в математической системе MATLAB.

### Основная часть.

В работе Першиной С.В. [1] предлагается оценивать относительное содержание компонента в смеси, связав его с точностью дозирования [1, с.43-44]. Рассмотрим требуемую точность дозатора, которая не определяется однозначно заданной точностью дозирования компонента, а зависит от абсолютного содержания этого компонента в смеси. Для смеси, содержащей N компонентов

$$\Delta G = A\Delta A + B\Delta B + \dots + N\Delta N \quad (1)$$

$$\Delta A = \frac{\Delta G - B\Delta B - \dots - N\Delta N}{A}, \quad (2)$$

$$\Delta N = \frac{\Delta G - A\Delta A - B\Delta B - \dots - (N-1)\Delta(N-1)}{N} \quad (3)$$



где А и В – доли компонентов в смеси;

$\Delta A$  и  $\Delta B$  – предельные отклонения количества компонентов А и В (в долях) от их номинального содержания в смеси;

G – заданная масса или номинальное содержание смеси;

$\Delta G$  – предельное отклонение количества смеси (в долях) от его заданного значения массы.

Расчитанное по формуле значение  $\Delta G$  будет справедливо, если на отклонение суммарного количества смеси от номинального нет дополнительных ограничений, вызванных необходимостью обеспечения непрерывного технологического процесса производства [1, с. 44].

Формулы (1) – (3) позволяют оптимизировать подбор дозаторов для изготовления многокомпонентной смеси.

Пример для случая дозирования двух компонент приведен в работе [1, с 44]. В нем определяется предельное отклонение количества смеси (в долях) от его номинального значения, определяется предельное отклонение одного дозатора, когда задан второй.

В программе будем вводить в вектор  $f$  значение компонент в смеси в единицах веса, в вектор  $df$  будем вводить разрешенное отклонение компонента смеси от номинального в единицах веса, в переменной  $m$  определяется масса смеси.

Тогда  $df_i/f_i$  это  $\Delta A, \dots, \Delta N$  и  $f_i/m$  это  $A, \dots, N$  в формуле (1).  $\Delta G$  будет определяться

$$\Delta G = \sum_i^n \frac{df_i}{f_i} \cdot \frac{f_i}{m} = \sum_i^n \frac{df_i}{m} \quad (4)$$

В случае если мы не вводим дополнительных значений на знание предельных отклонений дозатора, то для определения других дозаторов надо обратиться к  $n-1$  заданным значениям  $f_i$  и  $df_i$ , в последних, номер  $n$ -ый в задаваемых векторах, будем обозначать через  $gt$  и  $dgt$  и определять по формуле

$$dgt = \frac{dG - \sum_{i=1}^{n-1} A_i \cdot \Delta A_i}{gt / m} \quad (5)$$

Распишем формулу (5) для реализации в MATLAB, в случае использования наших исходных данных в абсолютных значениях массы

$$dgt = \frac{dG - \sum_i^{n-1} A_i \cdot \Delta A_i}{gt / m} = \frac{dG - \sum_i^{n-1} \frac{f_i}{m} \cdot \frac{df_i}{f_i}}{gt / m} = \frac{dG - \sum_i^{n-1} \frac{df_i}{m}}{gt / m} \quad (6)$$

Формула отвечает на вопрос, какова должна быть точность последнего дозатора, если все остальные поддерживают предельные отклонения заданным  $df_i$ .

В листинге MATLAB описанный в таблице 1 рассчитываемый дозатор стоит на последнем месте в векторах df и f и обозначается так же как в формуле (5). Данные процедуры сделаны для расчета представленного примера из работы Першиной С.В. [1, с. 44].

Таблица 1 – определение  $\Delta G$ , реализованное в MATLAB

Вводимые данные и программа расчета (листинг MATLAB)	Результаты расчета
<pre>f=[90 10];% определим последнее значение как искомое df=[2 2]; m=sum(f) for i=1:length(f)     G(i)=(df(i)/m); end G=sum(G) l=length(f) for i=1:l-1     K(i)=df(i)/m % для значений в таблице исходной end Z=sum(K) dgt=(G-Z)/(f(l)/m)</pre>	<pre>m =     100 G =     0.0400 l =      2 K =     0.0200 Z =     0.0200 dgt =     0.2000</pre>

Теперь можно проверить правильность суждений, выполнив несколько примеров из [1, с. 44]. При вносе нового  $\Delta A$  меняется формула для расчета  $K(i)$ .

$$dgt = \frac{\Delta G - \sum_i^{n-1} A_i \cdot \Delta A_i}{gt/m} = \frac{\Delta G - \sum_i^{n-1} \frac{f_i}{m} \cdot \Delta A_i}{gt/m} = \frac{\Delta G - \sum_i^{n-1} K(i)}{gt/m} \quad (7)$$

Результаты таких вносов и пересчет представлен в таблице 2.

Таблица 2 – выполнение примеров

Задание	Вводимые данные и программа расчета	Результаты расчета

<p>Предположим, что выбран дозатор обеспечивающим отклонение 0,02</p>	<pre>df(1)=0.02 % задается for i=1:l-1     K(i)=df(i)*(f(i)/m) end Z=sum(K) dgt=(G-Z)/(f(1)/m)</pre>	<pre>df =     0.0200    2.0000 K =     0.0180 Z =     0.0180 dgt =     0.2200</pre>
<p>Предположим, что существует предельное ограничение ΔG=0.02</p>	<pre>df(1)=0.02 for i=1:l-1     K(i)=df(i)*(f(i)/m) % end Z=sum(K) G=0.02 % задается dgt=(G-Z)/(f(1)/m)</pre>	<pre>df =     0.0200    2.0000 K =     0.0180 Z =     0.0180 G =     0.0200 dgt =     0.0200</pre>
<p>Если точность дозирования сделать 0,01 (при ΔG=0.02)</p>	<pre>df(1)=0.01 % задается for i=1:l-1     K(i)=df(i)*(f(i)/m); end Z=sum(K) G=0.02 dgt=(G-Z)/(f(1)/m)</pre>	<pre>df =     0.0100    2.0000 Z =     0.0090 G =     0.0200 dgt =     0.1100</pre>

В примере №1 отклонение дозатора должны быть 0,2, поскольку точность дозатора не может быть больше, чем  $\frac{df_i}{f_i}$ .

Отсюда ограничение на точность дозаторов, вводимых в дальнейшем при расчетах, в относительных единицах:

$$0 < \Delta A \leq \frac{df_i}{f_i}$$

Поскольку только, что проверена правильность суждений, то можно рассчитать точности дозирования для большего количества компонент.

Напомним, что результат ищется относительно последнего значения в векторах  $df$  и  $f$ , который обозначается  $dgt$  и  $gt$  соответственно.

Рассмотрим, как меняются формулы в расчетной программе на одном пример для дозирования трех компонент, но в его разных вариантах:

1 когда масса каждой компоненты в смеси и их разрешенное отклонение компонента смеси в одной единице массы

2 если масса и отклонение компонент заданы в единицах массы, а компоненты смеси в процентном соотношении. Поскольку  $(gt/m) \cdot 0,01$  есть компонент смеси в относительных долях, то умножив весь задаваемый вектор  $f$  на  $0,01$  формула (6) примет вид

$$dgt = \frac{dG - \sum_i^{n-1} \frac{df_i}{m}}{gt}$$

3 если масса смеси задана в абсолютных единицах, компоненты смеси и отклонение компонент в процентных соотношениях.

Очевидно, что  $\Delta G$  и  $dgt$  для всех вариантов будут одинаковыми, поскольку:

1 будут определяться для одного и того же примера;

2 являются относительными величинами в формулах (1) и (3).

Для задачи №3 подробнее рассмотрим, что представляют собой компоненты смеси и их отклонения, выраженные в процентах:

$$f_{id} = \frac{f_i \cdot 100}{m}; \quad df_{id} = \frac{df_i \cdot 100}{f_i} \quad (8)$$

где  $f_{id}$  – масса  $i$ -го компонента смеси, выраженная в долях;

$df_{id}$  – допустимое отклонение  $i$ -го компонента смеси выраженное в процентах.

Умножим (8) на  $0,01$ , чтобы уйти от процентов, и выразим  $\Delta G$  из формулы (4) для условий данной задачи.

Выразим  $df_{id}$  через  $f_{id}$

$$df_{id} = \frac{df_i}{f_{id} \cdot m} \quad (9)$$

Из формулы (9) выразим  $df_i$  и подставим в (4)

$$\Delta G = \frac{df_i}{m} = \frac{df_{id} \cdot f_{id} \cdot m}{m} = df_{id} \cdot f_{id} \quad (10)$$

Тогда очевидно, что

$$dgt = \frac{\Delta G - \sum_i^{n-1} K(i)}{gt} = \frac{\Delta G - \sum_i^{n-1} df_{id} \cdot f_{id}}{gt}$$

Результаты расчетов примера 1 для дозирования трех компонент в его разных вариантах представлен в таблице 3.

Пример 1. Имеется три различных продукта для засыпки с массами и погрешностями 540 г, 180 г, 480 г, которые не должны в конечной смеси превышать отклонения в 10,8 г, 3,6 г и 4,8 г соответственно.

Таблица 3 – определение  $\Delta G$  и  $dgt$  при различных способах задания исходных данных

Вариант задачи	Реализация в программе	результат
1	<pre>f=[540 180 480]; df=[10.8 3.6 4.8] m=sum(f) l=length(f) for i=1:l     G(i)=(df(i)/f(i))*(f(i)/m); end G=sum(G) for i=1:l-1     K(i)=df(i)/m; end K=sum(K) dgt=(G-K)/(f(l)/m)</pre>	<pre>df = 10.8000  3.6000  4.8000 m = 1200 l = 3 G = 0.0160 K = 0.0120 dgt = 0.0100</pre>
2	<pre>f=[45 15 40];%изменение df=[10.8 3.6 4.8]; f=f*0.01 %изменение m=1200 l=length(f) for i=1:l     G(i)=(df(i)/m);</pre>	<pre>f = 0.4500  0.1500  0.4000 m = 1200 l = 3 G =</pre>

	<pre> end G=sum(G) for i=1:l-1     K(i)=df(i)/m; end K=sum(K) dgt=(G-K)/f(l)% изменение </pre>	<pre> 0.0160 K =     0.0120 dgt =     0.0100 </pre>
3	<pre> f=[45 15 40];%изменение df=[2 2 1];%изменение f=f*0.01%изменение df=df*0.01 %изменение m=1200 l=length(f) for i=1:l     G(i)=df(i)*f(i);%изменение end G=sum(G) for i=1:l-1     K(i)=df(i); end K=sum(K) dgt=(G-K)/f(l) </pre>	<pre> f =     0.4500    0.1500    0.4000 df =     0.0200    0.0200    0.0100 m =     1200 l =      3 G =     0.0160 K =     0.0120 dgt =     0.0100 </pre>

Формулы (1) – (3) были адаптированы к случаям реализации расчетов для различного количества дозаторов, и для разных способов задания дозирующих компонентов.

Предложенный вариант расчета в работе Першиной С.В. [1] по определению точности дозаторов был так же адаптирован для расчета в МАТЛАБ с учетом задания разных начальных данных: 1 массы компонент и их погрешность в абсолютных единицах; 2 масса смеси и погрешности компонент в абсолютных единицах, компоненты смеси в процентах от общей массы, 3 масса смеси задана в абсолютных единицах, компоненты смеси и отклонение компонент в процентных соотношениях.

Таким образом, было показано, как меняется расчет с введением дополнительных ограничений для определения точности дозаторов какой-либо из компонент при задании

точности некоторых дозаторов и при задании предельного отклонения количества смеси от его заданного значения массы.

### Список литературы

1. Першина С.В. Весовое дозирование зернистых материалов / Каталымов А.А., Однолько В.Г., Першин В.Ф. ; Ред. – Глинкина Т.М. .- М.: Машиностроение. 2009.

### **On the Determining of the Accuracy of the Dosing Using MATLAB**

*Artemova A.V.*

*Ulyanovsk State University*

*Abstract. To evaluate the accuracy of the dosing in the case of the preparation of various mixtures with the calculation in relative terms, there are some suggestions, but in the working conditions the operating of relative data is inconvenient, since the absolute values of the given masses are more often used. Therefore, in the paper a proposed variant of calculations of the accuracy of the dosing was adapted to calculate in MATLAB considering the setting of different initial data easy to use.*

*Keywords:* absolute units, dosing, permitted deviations, the proportion of the components in the mixture.

**Модель системы выбора компромиссного режима свободно-радикального стресса, вызванного применением регуляторов митотического цикла (на примере подготовки опухолевых клеток к лучевой терапии). Часть 2.**

*Бажанова Т.В.*

*Ульяновский государственный университет*

*Аннотация.* В настоящей работе в качестве объекта исследования рассматриваются опухолевые клетки и их пятифазный цикл деления, а в качестве воздействующего фактора — свободно-радикальный стресс, вызванный лекарственными препаратами по воле исследователя, изучающего характеристики процессов канцерогенеза для определения оптимальной дозы лекарства. Данные препараты синхронизируют опухолевые клетки в определенной фазе митотического цикла. Максимальное скопление клеток на одной из стадий деления позволило бы затем наиболее эффективно уничтожать их лучевой терапией. В модели также учитывается и повреждающее для организма действие этих «управляющих» препаратов. Таким образом, наряду с поиском оптимальной длительности этой «предваряющей» лекарственной терапии возникает задача нахождения компромиссных уровней воздействия с учетом их вреда для организма в целом.

*Ключевые слова:* системы массового обслуживания, вероятностные модели медико-биологических объектов, пятифазный цикл деления опухолевых клеток, свободные радикалы.

**Введение.**

В первой части одноименной статьи [1] дано описание предварительных биологических конструкций и осуществлено построение математической модели свободно-радикального стресса, вызванного действием препаратов - регуляторов клеточного цикла, сформулирована и доказана теорема об интенсивности увеличения скопления клеток в первой фазе клеточного цикла под действием препаратов.

В данной работе (часть 2) будет предложено решение задачи поиска компромисса между синхронизирующей эффективностью и побочным (отравляющим) эффектом данных лекарств, математически будет подсчитана оптимальная доза рассматриваемых медицинских средств.



В предлагаемой модели учитывается побочный эффект действия лекарственных препаратов: с увеличением дозы возрастает степень отравления (количество повреждений) организма свободными радикалами, которое может быть описано двумя функциональными зависимостями.

**Основная часть.**

1. Если зависимость степени токсичности препарата от его дозы – экспоненциальная, то целевая функция должна иметь вид

$$\Phi(u) = \frac{E\{N_t^1(u)\}}{E\{N_t^1(1)\}} - a(e^u - 1).$$

Выражение можно записать как

$$\Phi(u) = \frac{A \cdot (1 + u)}{B - C \cdot (1 + u)} - a(e^u - 1), \quad (1)$$

где слагаемое  $ae^u \geq 0$  характеризует уровень повреждений или степень отравления организма, которое экспоненциально пропорционально вводимой дозе лекарства с некоторым параметром токсичности  $a > 0$ , обозначения А, В, С из [1]:

$$A = \beta^1 \cdot \beta^2 \cdot \beta^3 \cdot \beta^4 - (\beta^2 + d^1)(\beta^3 + d^2)(\beta^4 + d^3)(2\beta + d^4), \quad A < 0,$$

$$B = \beta^1 \cdot \beta^2 \cdot \beta^3 \cdot \beta^4 - \beta^2(\beta^3 + d^2)(\beta^4 + d^3)(2\beta + d^4), \quad B < 0, \quad A < B \quad (2)$$

$$C = d^1(\beta^3 + d^2)(\beta^4 + d^3)(2\beta + d^4), \quad C > 0.$$

Зависимость целевой функции от параметра  $a$  представлена на Рис. 1.

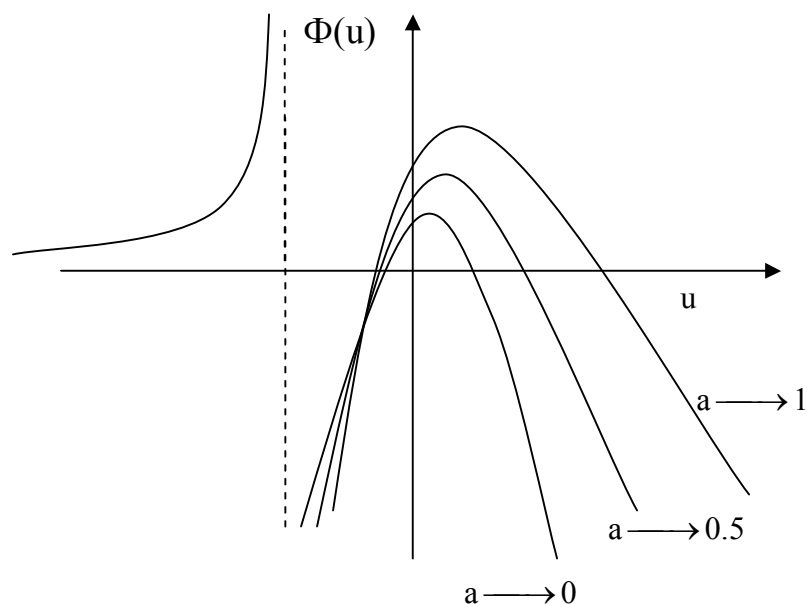


Рис. 1. Зависимость (1) целевой функции  $\Phi(u)$  от параметра  $a$

2. Если зависимость степени вреда, наносимого препаратом, от его дозы – обратно пропорциональная, то целевая функция должна иметь вид

$$\Phi(u) = \frac{E\{N_t^1(u)\}}{E\{N_t^1(1)\}} - a\left(\frac{1}{1-u} - 1\right).$$

С учетом обозначений (2), выражение примет вид

$$\Phi(u) = \frac{A \cdot (1+u)}{B - C \cdot (1+u)} - a\left(\frac{1}{1-u} - 1\right), \quad (3)$$

где слагаемое  $a \frac{1}{1-u} \geq 0$  характеризует уровень повреждений или степень отравления организма, которое обратно пропорционально вводимой дозе лекарства с некоторым параметром токсичности  $a > 0$ .

Зависимость целевой функции от параметра  $a$  представлена на Рис. 2.

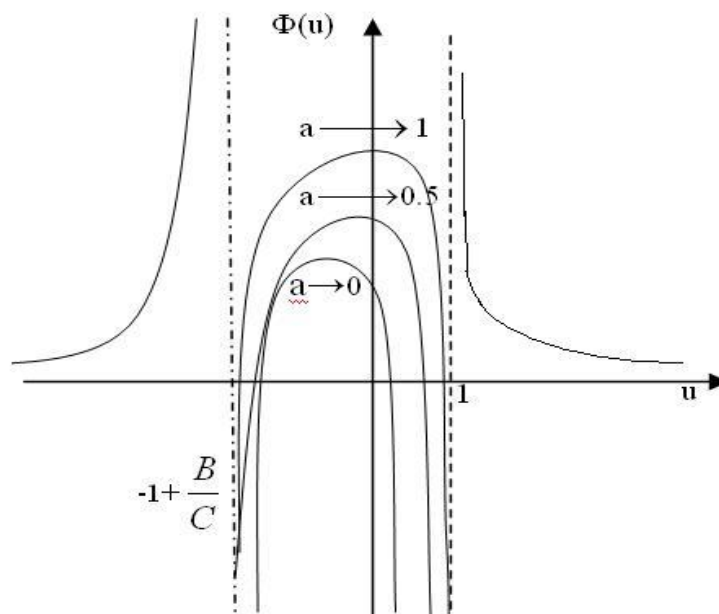


Рис. 2. Зависимость (3) целевой функции  $\Phi(u)$  от параметра  $a$

При малых дозах вводимого препарата ( $u \rightarrow 0$ ) целевые функции (1) и (3) можно разложить в ряд, получив линейную аппроксимацию и, соответственно, целевую функцию вида

$$\Phi(u) = \frac{E\{N_t^1(u)\}}{E\{N_t^1(1)\}} - au.$$

С учетом обозначений (2), выражение примет вид

$$\Phi(u) = \frac{A \cdot (1 + u)}{B - C \cdot (1 + u)} - au, \quad (4)$$

где слагаемое  $a \cdot u > 0$  характеризует уровень повреждений или степень отравления организма, которое прямо пропорционально вводимой дозе лекарства с некоторым параметром  $a > 0$ .

Таким образом, имеет место следующая теорема 2.

**Теорема 2.** Решением оптимизационной задачи

$$\Phi(u) = \frac{E\{N_t^1(u)\}}{E\{N_t^1(1)\}} - au \longrightarrow \max_{u \in [0; \infty)} \quad (5)$$

является доза лекарства, равная

$$u_{\max} = \sqrt{\frac{A \cdot B}{a \cdot C^2}} + \frac{B}{C} - 1. \quad (6)$$

Доказательство. Продифференцировав (5), получим производную  $\hat{O}'(u)$ . Из уравнения  $\hat{O}'(u) = 0$ , найдем значение  $u_{\max}$ .

По условию задачи доза должна быть неотрицательной, а значит, должно выполняться неравенство:

$$\sqrt{\frac{A \cdot B}{a \cdot C^2}} + \frac{B}{C} - 1 \geq 0,$$

из которого находим, что необходимое условие для существования максимума  $a \in (0;1)$ .

■

График целевой функции (5) представлен на Рис. 3.

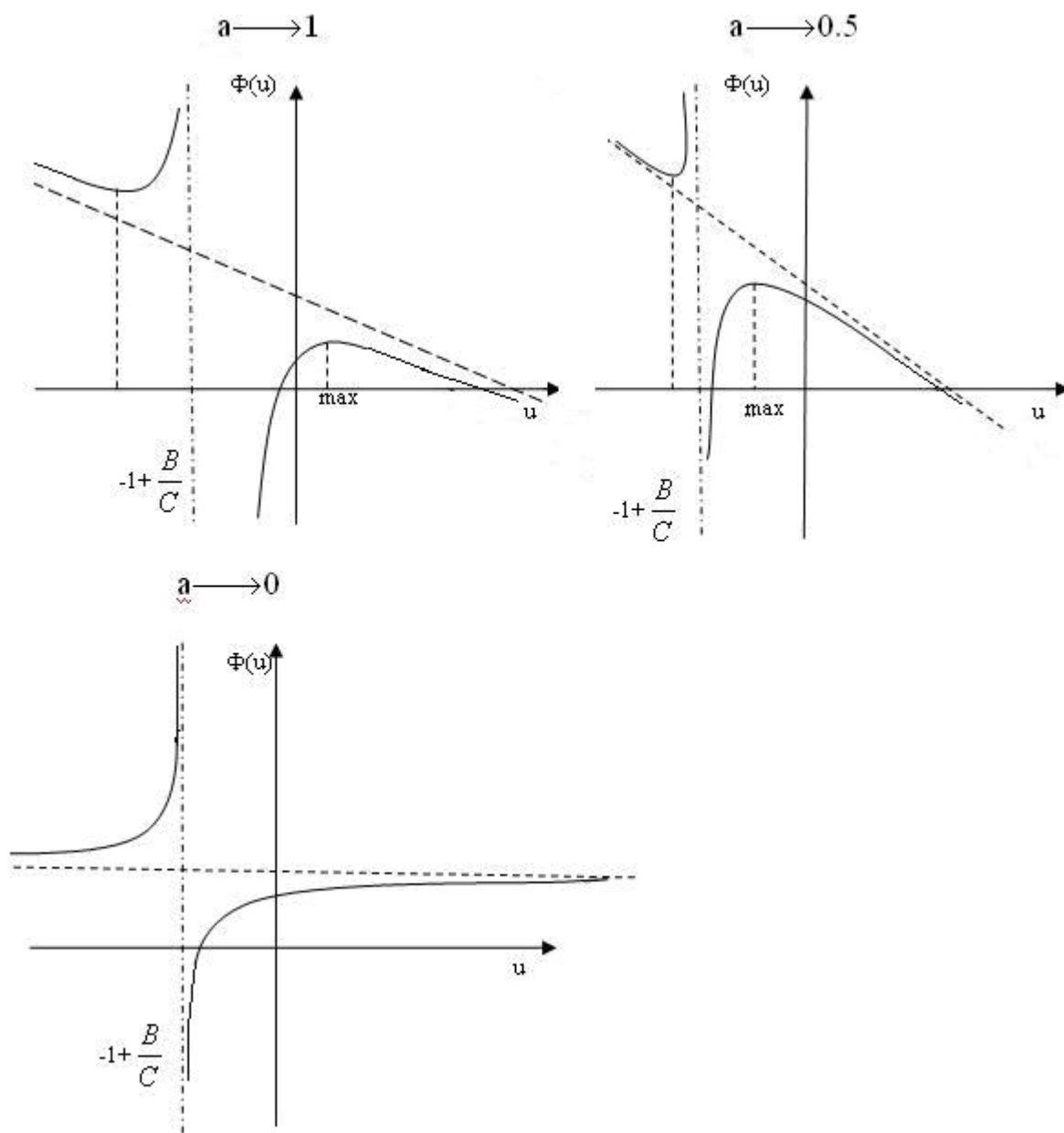


Рис. 3. Зависимость целевой функции  $\Phi(u)$  (1.5) от параметра  $a$

Имитационная модель, разработанная в соответствии с приведенным математическим описанием в семимартингальных терминах, реализовывалась с помощью компьютерного моделирования как нового метода научных исследований.

Выбор параметров моделей осуществлялся исходя из анализа экспериментальных данных [2,3,4,5]. Определение неизвестных коэффициентов проводилось с использованием модифицированных методов Монте-Карло. Для программной реализации алгоритмов применялся аппарат численного математического моделирования и пакеты прикладных программ Maple 9.0, AGrapher.

Для создания компьютерной программы строился дискретный аналог математической модели. Переход к дискретной модели разбивается на два этапа. На первом этапе заменим непрерывную область  $0 \leq t \leq T$  на дискретную – совокупность конечного числа точек  $N \in \mathbb{N}, T \in \mathbb{R}^+$ . Совокупность точек

$$\left\{ t_k : t_k = \frac{k}{N}, k = 0, 1, \dots, [N \cdot T] \right\}, \quad (\text{где } [N \cdot T] \text{ – целая часть числа } N \cdot T),$$

представляет собой равномерную разностную сетку с шагом дискретизации  $\Delta = \frac{1}{N}$ . При этом обязательно выполнение условия для всех точечных процессов:

$$v \cdot \Delta \leq \frac{1}{20},$$

где  $v$  - интенсивность процесса.

На втором этапе перехода от непрерывной модели строятся дискретные аналоги дифференциальных уравнений (замена производных соответствующими конечными разностями). Таким образом, для каждого  $k$  происходит моделирование всех дискретных аналогов построенных процессов.

Дискретный аналог уравнений процессов числа образовавшихся клеток в соответствующей фазе в терминах для компенсаторов точечных процессов выражается как [1]:

$$d\tilde{N}_t^1 = \beta^1 N_t^4 dt + \lambda^1 dt - d^1 N_t^1 dt - \beta^2 N_t^1 dt,$$

$$d\tilde{N}_t^2 = \beta^2 N_t^1 dt + \lambda^2 dt - d^2 N_t^2 dt - \beta^3 N_t^2 dt,$$

$$d\tilde{N}_t^3 = \beta^3 N_t^2 dt + \lambda^3 dt - d^3 N_t^3 dt - \beta^4 N_t^3 dt,$$

$$d\tilde{N}_t^4 = \beta^4 N_t^3 dt + \lambda^4 dt - d^4 N_t^4 dt - 2\beta N_t^4 dt,$$

$$d\tilde{N}_t^0 = \beta^0 N_t^4 dt - d^0 N_t^0 dt.$$

В случае т.н. инфинитезимальных соотношений, служащих основой для аналитических исследований и для имитационного моделирования СМО в терминах точечных процессов, они примут следующий вид:

$$P(N_{k+1}^1 - N_k^1 = 1 | \mathcal{F}_t) = \beta^1 N_k^4 \Delta + \lambda^1 \Delta - d^1 N_k^1 \Delta - \beta^2 N_k^1 \Delta + o(\Delta),$$

$$P(N_{k+1}^2 - N_k^2 = 1 | \mathcal{F}_t) = \beta^2 N_k^1 \Delta + \lambda^2 \Delta - d^2 N_k^2 \Delta - \beta^3 N_k^2 \Delta + o(\Delta),$$

$$P(N_{k+1}^3 - N_k^3 = 1 | \mathcal{F}_t) = \beta^3 N_k^2 \Delta + \lambda^3 \Delta - d^3 N_k^3 \Delta - \beta^4 N_k^3 \Delta + o(\Delta),$$

$$P(N_{k+1}^4 - N_k^4 = 1 | \mathcal{F}_t) = \beta^4 N_k^3 \Delta + \lambda^4 \Delta - d^4 N_k^4 \Delta - 2\beta N_k^4 \Delta + o(\Delta),$$

$$P(N_{k+1}^0 - N_k^0 = 1 | \mathcal{F}_t) = \beta^0 N_k^4 \Delta - d^0 N_k^0 \Delta + o(\Delta).$$

Результаты компьютерного имитационного моделирования представлены на рисунках 4 – 6.

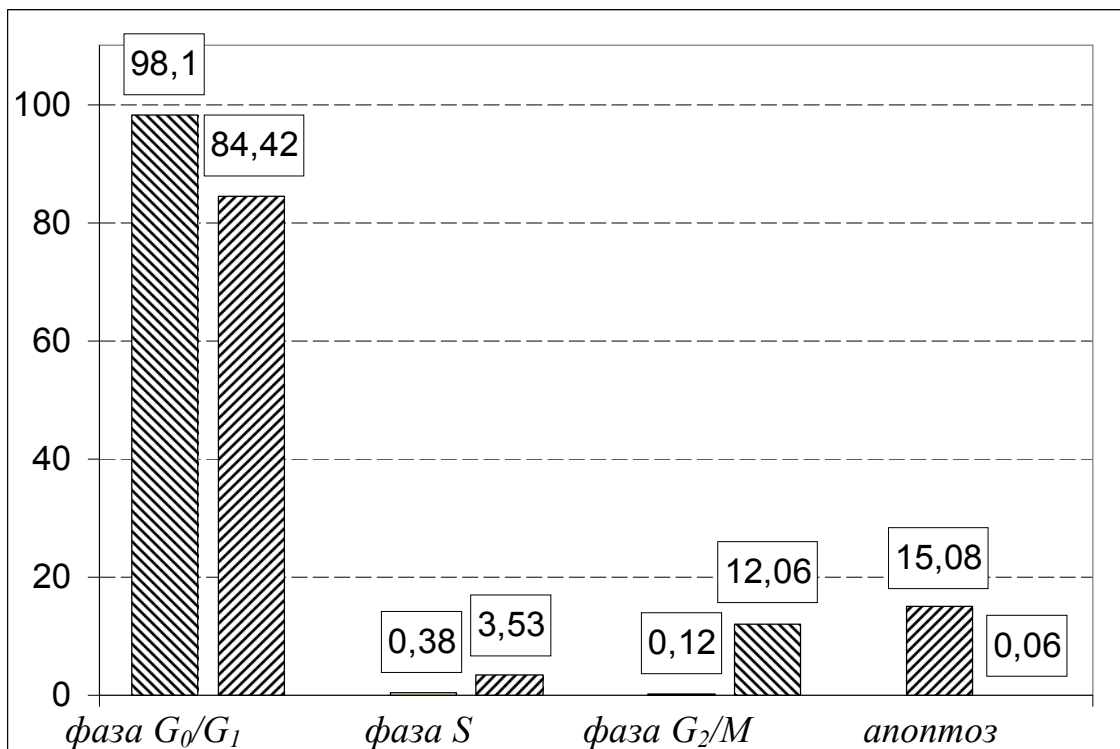




Рис. 4. Распределение (%) клеток по фазам митотического цикла при введении:  
 оптимальной дозы лекарства  дозы в 1,15 раз большей

На Рис. 4 видно, что при использовании оптимальной дозы в течение времени эксперимента большинство клеток скапливается в фазе  $G_0/G_1$ , в которой они наиболее подвержены действию облучения или химиотерапии. Доза лекарства в 1,15 раз большая скапливает клетки наименее эффективно, чем оптимальная, уменьшая количество элиминированных клеток.

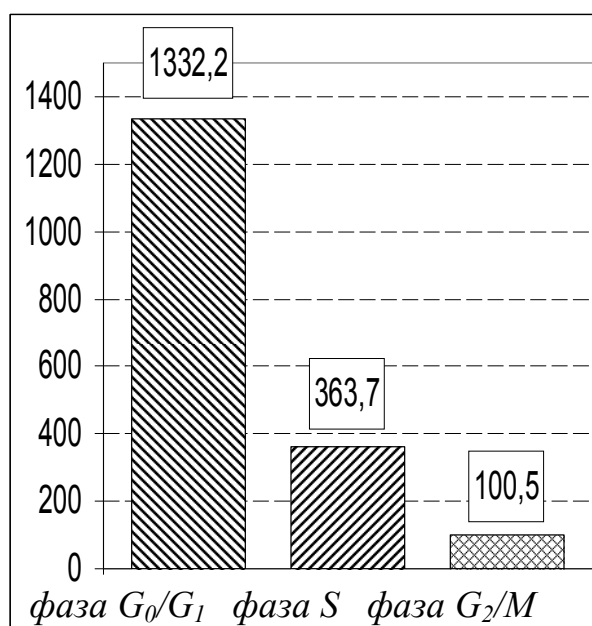


Рис. 5. Распределение (%) клеток при отсутствии синхронизирующего препарата.

На Рис. 5 видно, что отсутствие применения препарата-регулятора клеточного цикла приводит к неконтролируемому опухолевому росту.

Динамика распределения клеток по фазам после отмены препарата – регулятора митотического цикла представлена на Рис. 6.

*Кол-во клеток*

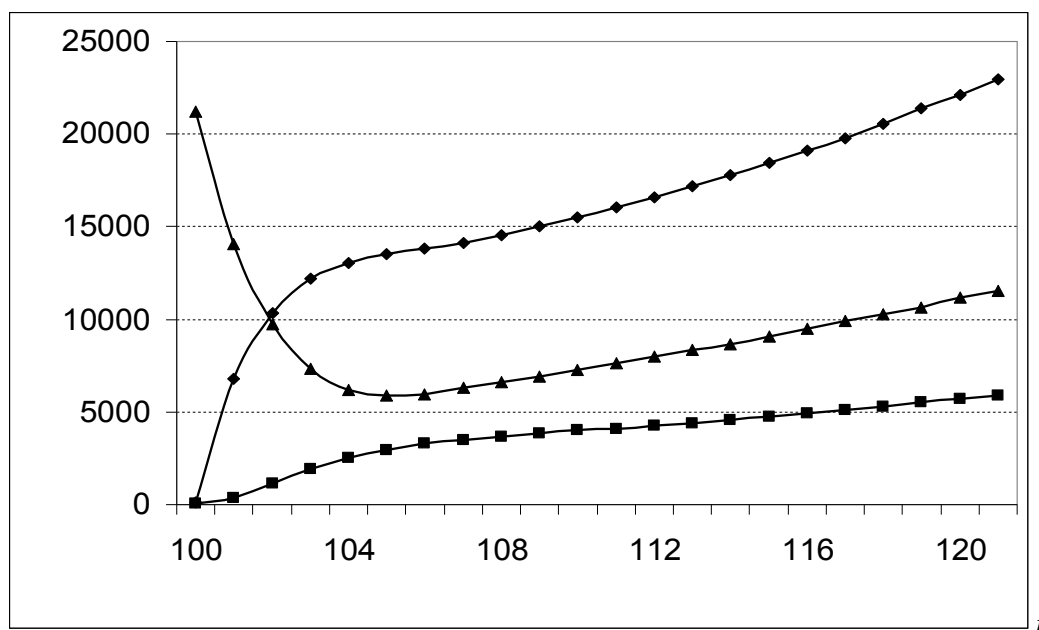


Рис. 6. Динамика распределения клеток по фазам после отмены препарата

—▲—▲— фаза G<sub>0</sub>/G<sub>1</sub>  
 —+—+— фаза S  
 —■—■— фаза G<sub>2</sub>/M

По прошествии 2-3 часов наблюдается резкое снижение числа клеток в фазе G<sub>0</sub>/G<sub>1</sub> и одновременное увеличение числа клеток в фазе S. После 4 часов возобновляется неконтролируемый опухолевый рост, число клеток в каждой фазе растет экспоненциально.

Итак, результаты компьютерного имитационного моделирования соответствуют ряду экспериментальных данных и отражают динамику распределения опухолевых клеток по митотическому циклу при воздействии лекарственными препаратами в размере оптимальной дозы.

Проверка адекватности результатов имитационного моделирования показала, что оптимальная доза регуляторов клеточного цикла (6) близка к той, которую установили экспериментаторы, но в случае ее применения эффективность повысится на 15%.

Полученные результаты могут быть полезны и применимы не только при исследовании биологических систем, но и для явлений другой природы и уровня сложности, в частности, при изучении проблем компьютерной безопасности. Примером тому может служить анализ распространения вирусных программ и сбоев в больших компьютерных сетях, в которых может происходить неконтролируемый рост областей, подверженных действию компьютерного вируса.



Автор выражает свою благодарность профессору Бутову А.А. за поддержку и внимательное отношение к работе.

### Список литературы

1. Модель системы выбора компромиссного режима свободно-радикального стресса, вызванного применением регуляторов митотического цикла (на примере подготовки опухолевых клеток к лучевой терапии). Часть 1. /Бажанова Т.В./ Ученые записки УлГУ. Сер. Математика и информационные технологии. –2011. –Вып. 1(3). – С. 69-79.
2. Васильев, Ю. М. Социальное поведение нормальных клеток / Ю. М. Васильев // Соросовский образовательный журнал. 1997. №4. – С. 17-22
3. Cell cycle, Learn about Cell cycle at free health dictionary [Электронный ресурс] : Cell cycle. – Режим доступа:  
[http://www.themedicineprogram.com/category/showsubcategories/Cell\\_cycle](http://www.themedicineprogram.com/category/showsubcategories/Cell_cycle) (20.05.2012)
4. Jian-Ning Yu. Effects of Cell Cycle Status on the Efficiency of Liposome-mediated Gene Transfection in Mouse Fetal Fibroblasts / Jian-Ning Yu, Suo-Feng Ma, De-Qiang Miao, Xiu-Wen Tan, Xin-Yond Liu, Jin-Hua Lu, Jing-He Tan // Journal of Reproduction and Development. 2006. Vol. 52, No.3, pp. 373-382.
5. Pedrali-Noy G. Synchronization of Hela cell cultures by inhibition of DNA polymerase  $\alpha$  with aphidicolin / G. Pedrali-Noy, S.Spadari, A. Miller-Faures, A. O. A. Miller, J. Kruppa, G. Koch. // Nucleic Acids Research. 1980. Vol. 8. No. 2, pp.377-387.
6. Mai A. Al-Mohanna. p53 is dispensable for UV-induced cell cycle arrest at late  $G_1$  in mammalian cells / Mai A. Al-Mohanna, Fahad M. Al-Khodairy, Zbigniew Krezolek, Per-Anders Bertilsson, Khalid A. Al-Houssein, Abdelilah Aboussekhra. // Carcinogenesis. 2001. Vol. 22. No. 4, pp. 573-578.
7. Арутюнян, А. В. Механизмы свободнорадикального окисления и его роль в старении / А. В.Арутюнян А. В., Л. С. Козина // Успехи Геронтологии, т. 22, № 1, 2009, с. 104–116.
8. Марчук, Г. И. Геронтология in silico: становление новой дисциплины. Математические модели, анализ данных и вычислительные эксперименты / Г. И. Марчук, В. Н. Анисимов, А. А. Романюха, А. И. Яшин // Бином. Лаборатория знаний, Москва, 2007. - 535 с.

**MODEL SELECTION SYSTEM OF COMPROMISE REGIME OF FREE  
RADICAL STRESS CAUSED BY THE USE OF REGULATORS OF THE MITOTIC  
CYCLE (FOR EXAMPLE, THE PREPARATION OF TUMOR CELLS TO RADIATION  
THERAPY). Part 2.**

*Bazhanova T.*

*Abstract.* Objects of analysis in this article are tumor cells and their five-phase cycle of division, and as a factor of this process — free radical stress, caused by drugs at the behest of researchers studying the characteristics of the processes of carcinogenesis to determine the optimal dose of the drug. These preparations synchronize the tumor cells in a particular phase of the mitotic cycle. Maximum accumulation of cells at one stage division would then destroy them most effectively by radiotherapy. The model also takes into account the damaging effect of these "managers" drugs to the body. Thus, along with the search for the optimal duration of this "anticipating" drug therapy, problem arises of finding a compromise exposure levels taking into account their harm to the body as a whole.

*Keywords:* queuing systems, probabilistic models of medical and biological objects, five-phase tumor cell division cycle, free radicals.

# MATHEMATICAL MODELLING OF NORMAL CIRCADIAN RHYTHMS OF BLOOD PRESSURE WITHOUT OR WITH HOMEOSTATIC LEVELS IN HEALTHY PERSONS AND HYPERTENSIVE PATIENTS

*Gavrilova M.S., Butov A.A.*

*Ulyanovsk State University*

*Abstract.* In this paper circadian blood pressure profiles in healthy persons and hypertensive patients have been compared and conclusions about their difference have been made. Mathematical model of normal circadian rhythms of blood pressure without homeostatic levels in healthy persons and hypertensive patients has been developed. Mathematical models of normal circadian rhythms of blood pressure with day-time and night-time homeostatic levels in healthy persons and hypertensive patients have been developed.

*Keywords:* blood pressure, circadian rhythm of blood pressure, hypertension, day-time and night-time homeostatic levels of circadian rhythm of blood pressure, ambulatory blood pressure monitoring, mathematical modelling.

## **Part 1. Comparison Analysis of Diurnal Blood Pressure Profiles on Healthy Persons and Hypertensive Patients**

### **Background**

Actuality of blood pressure (BP) indices research is very high because of pandemic character of hypertension. Today the main method for evaluation of BP is ambulatory BP monitoring (ABPM). But most of the studies are based only on hypertensive patients' data and statistical analysis of these data ([1], [2] etc.).

### **Purpose**

The purpose of this part of our research is comparison of circadian BP profiles in healthy persons and hypertensive patients.

### **Methods**

ABPM was performed in 144 healthy persons and 256 hypertensive patients (mean age of patients is 50 years). Patients with symptomatic hypertension, arrhythmias and diabetes mellitus were excluded.

### **Results**

Statistical analysis of diurnal BP profiles in all patients showed that some circadian rhythms had two day-time peaks (Figure 1) and two night-time peaks. Time moments  $\theta_1$ ,  $\theta_2$ ,  $\theta_3$  separating these four periods were defined. Their values for systolic BP (SBP) and diastolic BP

(DBP) had no significant difference ( $p>0,05$ ) (between SBP, DBP and between the groups). These types of profiles were called “normal”. Only 30% of healthy persons and 16% of hypertensive patients had normal diurnal BP profiles for both SBP and DBP (Figure 2).

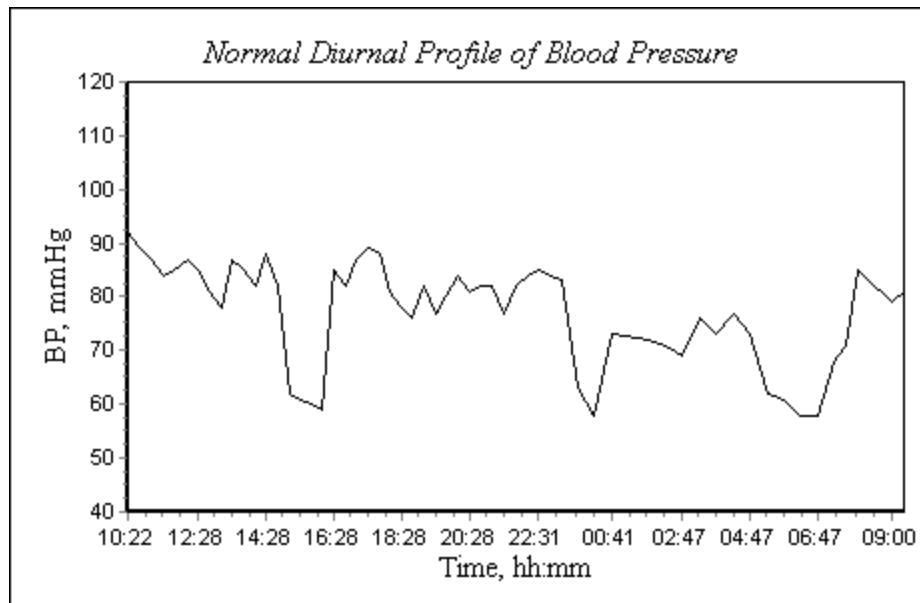


Figure 1. Normal Diurnal Profile of Diastolic Blood Pressure with two Diurnal and one Night Homeostatic levels in Apparently Healthy Patient

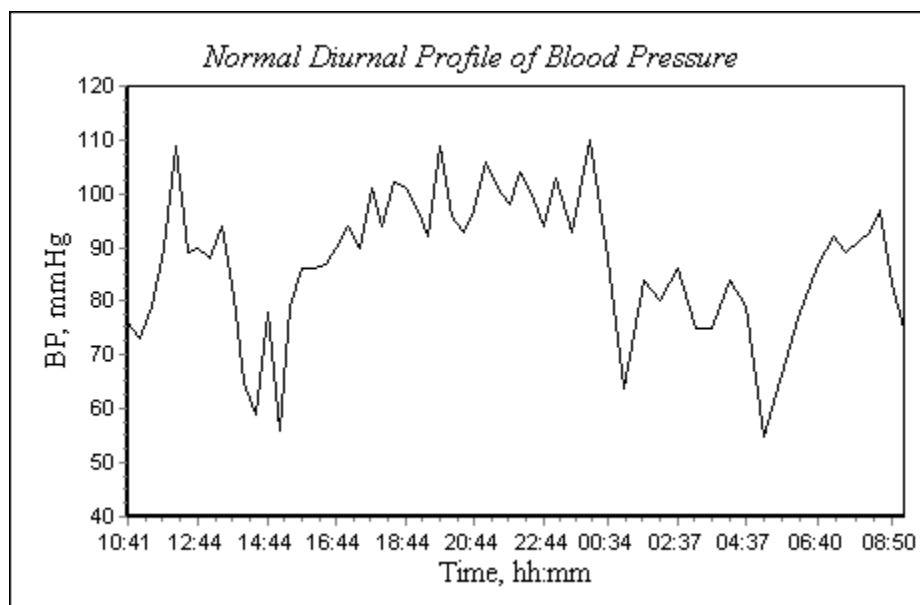


Figure 2. Normal Diurnal Profile of Diastolic Blood Pressure with Diurnal and Night Homeostatic levels in Patient with Essential Hypertension

Consider next the results of analysis of BP “homeostatic levels” — parts of diurnal BP profile with minor fluctuations relative to some stationary level (duration of fluctuations is more than 2.5 hours). Analysis of ABPM data in healthy patients showed that 4.2% (14.6%) had SBP

(DBP) day-time homeostatic levels and 6.3% (14.6%) — SBP (DBP) night-time ones. The same results were received in hypertensive patients (Table 1).

Table 1. Statistical analysis of Ambulatory Blood Pressure Monitoring data: number (percentage) of patients with Homeostatic levels of SBP and DBP in Apparently Healthy Patients and Patients with Essential Hypertension

Homeostatic levels	Apparently Healthy Patients		Patients with Essential Hypertension	
	SBP	DBP	SBP	DBP
Day-time	6 (4,2%)	21 (14,6%)	16 (6,3%)	35 (13,7%)
Night-time	9 (6,3%)	21 (14,6%)	19 (7,4%)	28 (10,9%)

## Conclusions

Our study indicates that even in healthy persons (as in hypertensive patients) diurnal BP profiles can be disturbed under effect of stress factors.

## Part 2. Mathematical Modelling of Normal Circadian Rhythms of Blood Pressure Without Homeostatic Levels in Healthy Persons and Hypertensive Patients

### Background

One of important medical problems is modelling of circadian BP rhythms in all groups of patients. Most of the authors have built their mathematical models by using a cosinor analysis ([3] etc.) or a full spectral analysis ([4], [5] etc.) of BP circadian rhythms. These methods don't consider some important BP characteristics like homeostatic levels of BP, so the models are not adequate enough to real data.

### Purpose

The purpose of this part of our article is a development of mathematical model of normal circadian BP rhythm without homeostatic levels.

### Results

Our mathematical model of circadian BP rhythm is based on statistical analysis of ABPM data:

$$C(t) = \alpha + \beta g(t),$$

$$g(t) = \begin{cases} a_1 \sin(k_1 t + b_1) + d_1, & t_0 \leq t \leq t_1^* \\ a_2 \sin(k_2 t + b_2) + d_2, & t_1^* < t \leq t_2^* \\ a_3 \sin(k_3 t + b_3) + d_3, & t_2^* < t \leq t_3^* \\ a_4 \sin(k_4 t + b_4) + d_4, & t_3^* < t \leq T \end{cases},$$

where function  $C(t)$  is circadian BP rhythm. Time  $t$  is measured in hours,  $t \in [t_0; T]$ . Parameters  $t_0$  and  $T$  are the moments of the first and the last BP measurements during experiment,  $0 \leq t_0 < T$ . Function  $g(t)$  is continuous on the interval  $[t_0; T]$ . Parameters  $t_1^*$ ,  $t_2^*$ ,  $t_3^*$  represent the moments  $\theta_1$ ,  $\theta_2$ ,  $\theta_3$ , converted from “hh:mm” time format into hours,  $t_0 < t_1^* < t_2^* < t_3^* < T$ . Parameters  $\alpha$ ,  $\beta$  are calculated on the basis of ABPM data. Parameters  $a_i$ ,  $k_i$ ,  $b_i$ ,  $d_i$ ,  $i = \overline{1,4}$ , are estimated by Least Square Method, also the function  $g(t)$  must be upward-convex on the time intervals  $[t_0; t_1^*]$ ,  $(t_1^*; t_2^*]$ ,  $(t_2^*; t_3^*]$  and  $(t_3^*; T]$ . BP jumps  $\geq 10$  mmHg were excluded (to exclude the influence of increased BP variability on model parameters).

### Conclusions

Mathematical model of normal circadian BP rhythms may be useful in estimation of the antihypertensive therapy effectiveness.

## Part 3. Mathematical Modelling of Normal Circadian Rhythms of Blood Pressure with Day-Time and Night-Time Homeostatic Levels in Healthy Persons and Hypertensive Patients

### Background

Actuality of BP research is evident because of prevalence of hypertension. In the first part of this research we have showed that some patients have BP “homeostatic levels”.

### Purpose

The purpose of the final part of this article is a development of mathematical model of normal circadian BP rhythms with homeostatic levels.

### Results

Mathematical model of circadian BP rhythm is based on statistical analysis of ABPM data and the previous model of diurnal BP profile without homeostatic levels:

$$C(t) = \alpha + \beta g(t),$$

$C(t)$  — circadian BP rhythm,  $t \in [t_0; T]$  (hours). If there is a diurnal homeostatic level on the  $[t_0; t_1^*]$ , then

$$g(t) = \begin{cases} \alpha_1 t + \beta_1, & t_0 \leq t < t_0^s \\ c_1, & t_0^s \leq t \leq t_1^s \\ \alpha_2 t + \beta_2, & t_1^s < t \leq t_1^* \end{cases}$$

The interval  $[t_0^s; t_1^s]$  is a diurnal period of BP stabilization,  $t_0 \leq t_0^s < t_1^s \leq t_1^*$ . The moments  $t_0^s$ ,  $t_1^s$  and the stationary level  $c_1$  are defined on the basis of ABPM data. Parameters  $\alpha_i$ ,  $\beta_i$ ,  $i = 1, 2$ , are calculated as:

$$\alpha_1 = \frac{c_1 - g(t_0)}{t_0^s - t_0}, \beta_1 = \frac{t_0^s g(t_0) - t_0 c_1}{t_0^s - t_0} \quad (t_0 < t_0^s);$$

$$\alpha_2 = \frac{c_1 - g(t_1^*)}{t_1^s - t_1^*}, \beta_2 = \frac{t_1^s g(t_1^*) - t_1^* c_1}{t_1^s - t_1^*} \quad (t_1^s < t_1^*).$$

If  $t_0 = t_0^s$ , then  $\alpha_1 = 0$ ,  $\beta_1 = c_1$ .

Therefore,

$$g(t) = \begin{cases} c_1, & t_0 \leq t \leq t_1^s \\ \alpha_2 t + \beta_2, & t_1^s < t \leq t_1^* \end{cases}$$

If  $t_1^s = t_1^*$ , then  $\alpha_2 = 0$ ,  $\beta_2 = c_1$ .

Hence

$$g(t) = \begin{cases} \alpha_1 t + \beta_1, & t_0 \leq t < t_0^s \\ c_1, & t_0^s \leq t \leq t_1^* \end{cases}$$

Likewise, we developed a model with BP homeostatic levels on the  $(t_1^*; t_2^*]$ ,  $(t_2^*; t_3^*]$ .

Adequacy of mathematical models (with homeostatic levels and without them) to ABPM data was checked by comparison of model and empirical distribution functions by Levy-Prokhorov metric. Some results are shown on Figures 3 and 4.

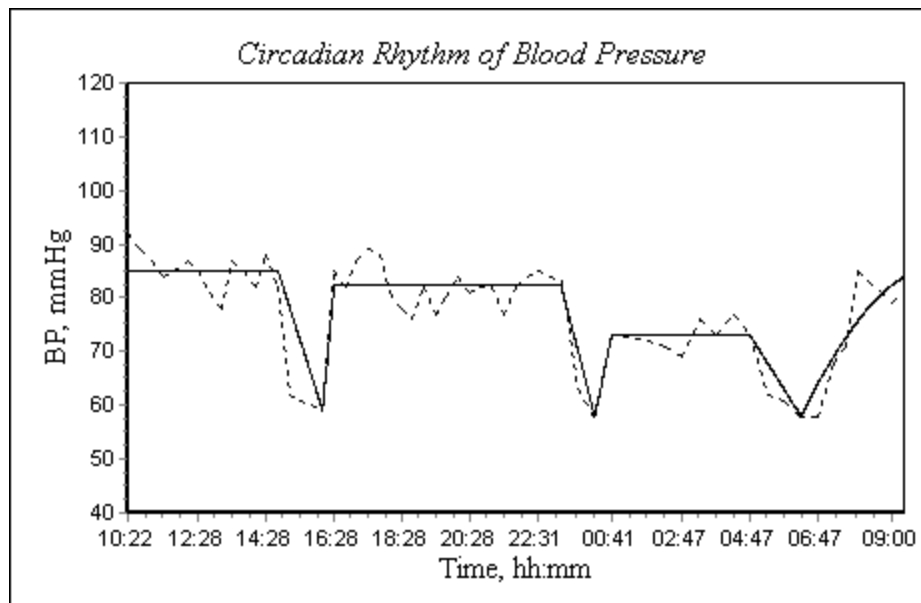


Figure 3. Computer model of Normal Diurnal Profile of Diastolic Blood Pressure with two Diurnal and one Night Homeostatic levels (solid line) and Ambulatory Blood Pressure Monitoring data without 10-point (and higher) jumps of Diastolic Blood Pressure (dotted line) in Apparently Healthy Patient

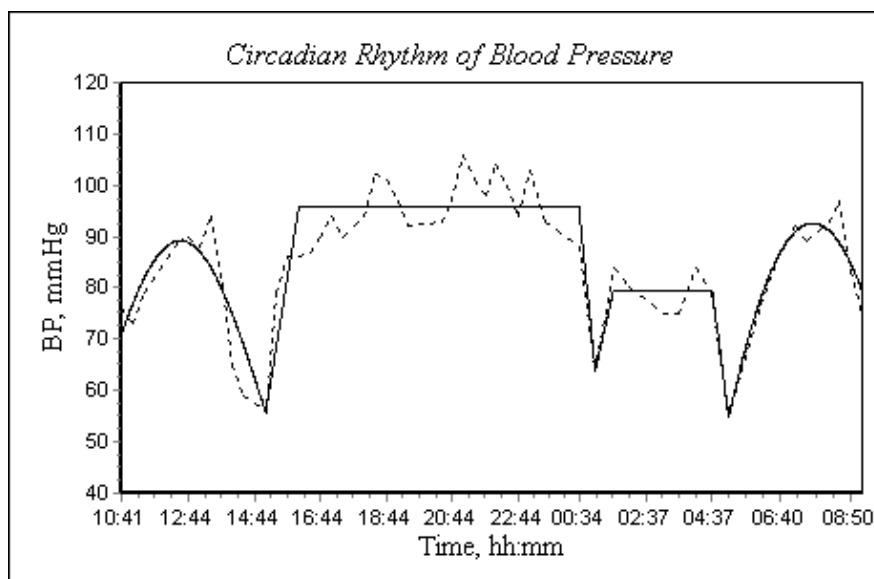


Figure 4. Computer model of Normal Diurnal Profile of Diastolic Blood Pressure with Diurnal and Night Homeostatic levels (solid line) and Ambulatory Blood Pressure Monitoring data without 10-point (and higher) jumps of Diastolic Blood Pressure (dotted line) in Patient with Essential Hypertension

### Conclusions

Mathematical model of normal circadian BP rhythms with homeostatic levels can be used to estimate the antihypertensive therapy effectiveness.

### REFERENCES

1. A simplified two-component model of blood pressure fluctuation / R. J. Brychta [and others] // American Journal of Physiology. – Heart and Circulatory Physiology. – 2007. – Vol. 292, Iss. 2. – Pp. 1193-1203. – ISSN 0363-6135 (printed), ISSN 1522-1539 (electronic).
2. Edwards, L. J., Simpson, S. L. An analysis of 24-h ambulatory blood pressure monitoring data using orthonormal polynomials in the linear mixed model / L. J. Edwards, S. L. Simpson // Blood Pressure Monitoring. – Analytical Methods and Statistical Analysis. 2014. Vol. 19, Iss. 3. Pp. 153–163. – ISSN 1359-5237 (Print), ISSN 1473-5725 (Electronic), ISSN 1359-5237 (Linking).
3. Halberg, F. Rhythms and blood pressure / F. Halberg, G. Cornelissen // Annali dell'Istituto Superiore di Sanità. – 1993. – Vol. 29, № 4. – Pp. 647–665. – ISSN 0021-2571.



4. Disruption of ultradian and circadian rhythms of blood pressure in nondipper hypertensive patients / S. Perez-Lloret [and others] // Hypertension. 2004. Vol. 44. Pp. 311–315. ISSN 1524-4563 (online).
5. Parati, G. Assessing circadian blood pressure and heart rate changes: advantages and limitations of different methods of mathematical modelling / G. Parati // Journal of hypertension. 2004. Vol. 22, № 11. Pp. 2061–2064. – ISSN 0263-6352 (printed), ISSN 1473-5598 (online).

## СТОХАСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ МНОГОКАНАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ

Санников И.А., Трошкин Д.А., Зурдеев И.З.

Ульяновский государственный университет

*Аннотация.* В данной работе рассматривается математическая и имитационная модель двухканальной СМО с адаптивно управляемым вторым каналом обслуживания. Предложенная модель позволяет изменять режим управления в случаях независимости потоков поступления заявок, детерминированного и случайного времени работы устройства обслуживания, а также в случае, когда интенсивностью обработки, зависит от длины очереди.

*Ключевые слова:* Системы массового обслуживания, управление обслуживанием, математическая модель.

Рассмотрим следующую реализацию системы массового обслуживания. Пусть устройство обслуживания (Прибор 1) начинает работу при поступлении первого требования в систему. Управление вторым устройством (Прибор 2) осуществляется через реле, которое может находиться в одном из двух состояний – включено или выключено. Если первый прибор занят обслуживанием, то за время пока реле выключено, в очереди могут накопиться заявки, которые при различных режимах управлением реле могут быть обработаны вторым прибором, что быстро уменьшает очередь. Данную СМО можно представить в виде следующей схемы:

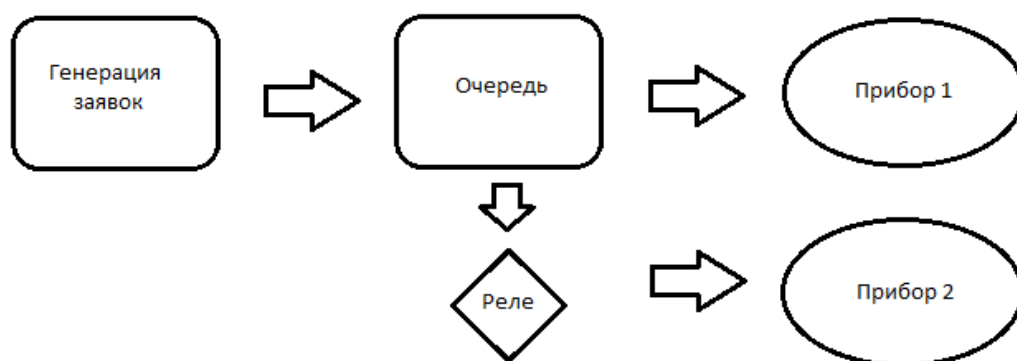


Схема 1. Схема двухканальной СМО.

Математическая модель процесса обработки заявок двухканальной СМО может быть описана следующими процессами:

$$A = (A_t^\lambda)_{t \geq 0}, \quad (1)$$

$$D^1 = (D_t^1)_{t \geq 0}, \quad (2)$$

$$D^2 = (D_t^2)_{t \geq 0}, \quad (3)$$

где  $A_t$  – это точечный процесс с компенсатором  $\lambda \cdot t$ , считающий число заявок, поступивших в СМО за время  $t$ ,  $D_t^1$  – это точечный процесс с компенсатором

$$\tilde{D}_t^1 = \int_0^t \mu_1 \cdot I(M_s > 0) ds$$

– число заявок, обслуженных первым прибором за время  $t$ ,

$$D_t^2$$

– это точечный процесс с компенсатором  $\tilde{D}_t^2 = \int_0^t \mu_2 \cdot I(z_s = 1) \cdot I(M_s > 1) ds$ , считающий

число заявок, обслуженным вторым прибором,  $z_t$  – процесс, описывающий состояние реле в момент времени  $t$ , а  $M_t$  общее количество заявок в СМО в момент времени  $t$ . В первом приближении процесс  $z_t$  принимает два значения 1 или 0 в детерминированные моменты времени  $t$  и определяется следующим образом:

$$z_t = \begin{cases} 1, & \text{если } t \in T, \\ 0, & \text{если } t \notin T, \end{cases}$$

где  $T \subset R$ .

Интервалы времени между поступлениями требований являются независимыми, одинаково распределенными по показательному закону, с постоянной интенсивностью  $\lambda > 0$  случайными величинами  $\tau_i$ ,  $i=0,1,2,\dots$ . Генерация случайных величин  $\tau_i$ , распределенных по показательному закону, осуществляется по следующему правилу:

$$\tau_i = -\frac{\ln(\xi_i)}{\lambda}, \quad (4)$$

где  $\xi_i$  – независимые равномерно распределенные на промежутке  $(0; 1]$  случайные величины.

Общее количество заявок в момент времени  $t$  можно представить виде:

$$M_t = A_t - D_t^1 - D_t^2, \quad M_0 = 0. \quad (5)$$

В качестве реле, управляющего работой второго прибора, рассмотрим процесс  $z_t$ , который принимает одно из двух возможных значения  $\{0, 1\}$  в случайные моменты времени. Тогда  $z_t$  может быть задан следующим дифференциальным уравнением (процесс типа телеграфный сигнал):

$$dz_t = (1 - z_{t-}) \cdot dN_t^1 - z_{t-} \cdot dN_t^2, \quad z_0 > 0, \quad (6)$$

где  $N_t^1$  и  $N_t^2$  – независимые точечные процессы с постоянными интенсивностями  $\lambda_1 > 0$  и  $\lambda_2 > 0$ .

Далее рассмотрим режим, в котором интенсивность обработки заявок вторым прибором изменяется в зависимости от длины очереди. Математическая модель точечного процесса, описывающего изменение количества заявок в очереди второго прибора, имеет следующий вид:

$$dz_t = (1 - z_{t-}) \cdot dN_t - z_{t-} \cdot dK_t, \quad z_0 > 0, \quad (7)$$

где точечный процесс  $N_t$  задан компенсатором с переменной интенсивностью:

$$\tilde{N}_t = \int_0^t \alpha(Q_s) ds, \quad (8)$$

где интенсивность  $\alpha(Q_s)$  задана дифференциальным уравнением:

$$d\alpha(Q_t) = \gamma \cdot (\beta - \alpha(Q_t)) d(Q_t), \quad \text{с } \alpha(Q_0) > 0, \quad (9)$$

где  $\beta, \gamma > 0$  – параметры модели, а компенсатор точечного процесса  $K_t$  равен:

$$\tilde{K}_t = \int_0^t \delta(Q_s) ds, \quad (10)$$

$$d\delta(Q_t) = -\sigma \cdot \delta(Q_t) d(Q_t), \quad \delta(Q_0) > 0, \quad (11)$$

где  $\sigma, \delta > 0$  – параметры модели. Процесс  $Q_t$  определяет длину очереди в момент времени  $t$  и описывается следующим выражением:

$$Q_t = M_t - I(M_t > 0) - I(M_t > 0) \cdot z_t, \quad Q_0 = 0. \quad (12)$$

В результате имитационного моделирования предложенной СМО разработана компьютерная программа в среде Delphi 7.0 и получены траектории процессов модели при следующие режимах функционирования:

- оба устройства работают независимо с заданными интенсивностями обслуживания;
- второе устройство работает определенное время с заданной интенсивностью (результаты моделирования представлены на рисунке 1);
- время работы второго устройства случайно (результаты моделирования представлены на рисунке 2);
- интенсивность обслуживания второго устройства зависит от длины очереди (результаты моделирования представлены на рисунке 3).



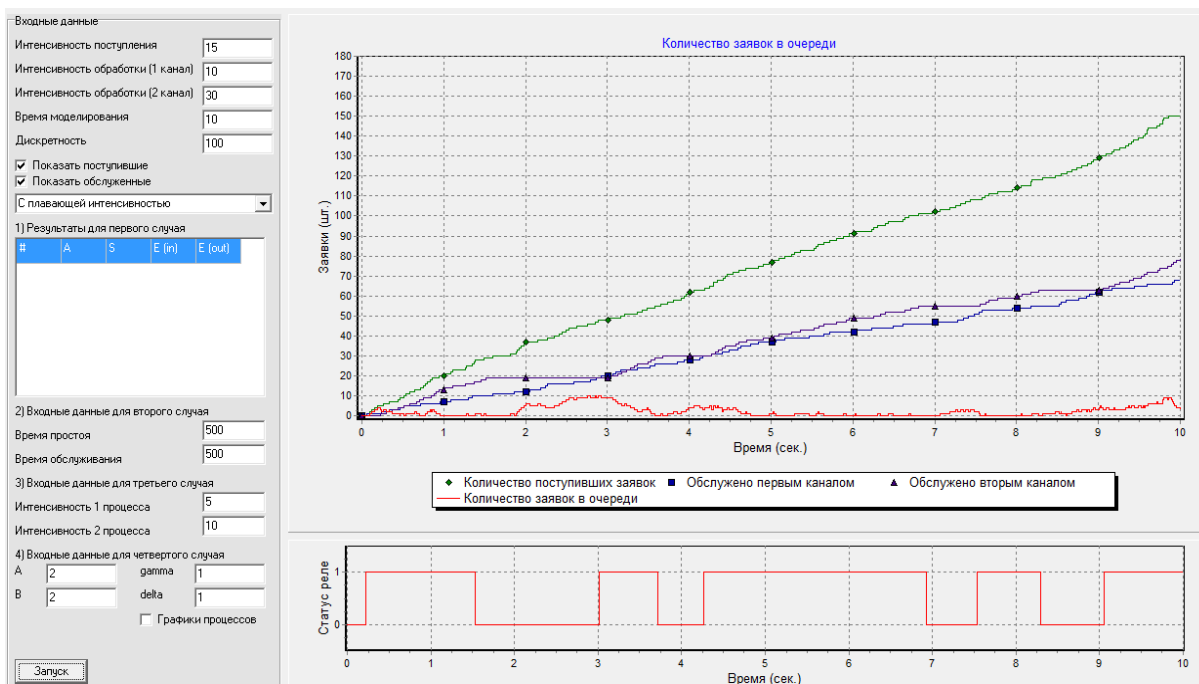


Рис. 3. Режим работы СМО с интенсивностью обслуживания второго устройства, зависящего от длины очереди.

### Список литературы

1. Кельтон В., Лоу А. Имитационное моделирование. — СПб.: ЗАО Издательский дом «Питер», 2004 г. — 847 с.: ил.
2. Клейнрок Л. Теория массового обслуживания. Пер. с англ.- М.: Машиностроение, 1979. — 432 с.

## MODELING OF STOCHASTIC MULTICHANNEL QUEUEING SYSTEM

*Sannikov I.A., Troshkin D.A., Zurdeev I.Z.*

*Ulyanovsk State University*

*Abstract.* In this paper we consider the mathematical and simulation model of the two-channel QS with adaptively controlled by the second channel of service. The proposed model allows to change the control mode in the case of independent streams of arrivals, deterministic and random length of work time of the servers, and when the service rate depends on the length of the queue.

*Keywords:* queueing system, service policy, mathematical model.

## О поиске совершенного шифра замены для заданного набора параметров

Панов Н.П.

*Ульяновский государственный университет*

*Аннотация.* Определяется следствие критерия существования совершенного шифра замены с неограниченным ключом, допускающее сокращение области поиска совершенного шифра.

*Ключевые слова:* криптография, шифр, совершенный шифр.

В первой половине 20-го века К. Шеннон определил математическую структуру теоретически стойких (совершенных) шифров. Совершенный шифр не дает криптоаналитику никакой дополнительной информации об открытом тексте на основе анализа перехваченной криптограммы, при условии неограниченности атакующего во временных и вычислительных ресурсах. Поэтому данные шифры используются для гарантированного обеспечения конфиденциальности информации.

Все неопределенные понятия и обозначения можно найти в работах [1, 2].  $l$ -ой степенью опорного шифра  $\Sigma$  назовем совокупность

$$\Sigma^l = (U^l, N_r^l, V^l, E^{(l)}, D^{(l)}).$$

Пусть  $\psi_c$  – случайный генератор ключевого потока, который для любого натурального числа  $l$  вырабатывает случайный ключевой поток  $j_1 \dots j_l \in N_r^l$ . Обозначим через  $\Sigma_H^l$  совокупность

$$\Sigma_H^l = (U^{(l)}, N_r^l, V^{(l)}, E^{(l)}, D^{(l)}, P(U^{(l)}), P(N_r^l)).$$

Шифром замены с неограниченным ключом назовем семейство

$$\Sigma_H = (\Sigma_H^l, l \in N; \psi_c).$$

Независимые и не содержащие нулевых вероятностей распределения  $P(U^{(l)})$  и  $P(N_r^l)$  индуцируют распределение вероятностей на множестве  $V^{(l)}$ :

$$P_{V^{(l)}}(\bar{v}) = \sum_{E_j(\bar{u})=\bar{v}} P_{U^{(l)}}(\bar{u}) P_{N_r^l}(\bar{j}).$$

Определим условные вероятности  $P_{U^{(l)}|V^{(l)}}(\bar{u} | \bar{v})$  и  $P_{V^{(l)}|U^{(l)}}(\bar{v} | \bar{u})$ :

$$P_{V^{(l)}|U^{(l)}}(\bar{v}|\bar{u}) = \sum_{\bar{j} \in N_r^l(\bar{u}, \bar{v})} P_{N_r^l}(\bar{j}), \quad P_{U^{(l)}|V^{(l)}}(\bar{u}|\bar{v}) = \frac{P_{U^{(l)}}(\bar{u})P_{V^{(l)}|U^{(l)}}(\bar{v}|\bar{u})}{P_{V^{(l)}}(\bar{v})},$$

где  $N_r^l(\bar{u}, \bar{v}) = \{\bar{j} \in N_r^l \mid E_{\bar{j}}(\bar{u}) = \bar{v}\}$ .

Говорят, что шифр  $\Sigma_H$  совершенный, если для любого  $l \in N$  и любых  $\bar{u} \in U^{(l)}$ ,  $\bar{v} \in V^{(l)}$  выполнено равенство  $P_{U^{(l)}|V^{(l)}}(\bar{u}|\bar{v}) = P_{U^{(l)}}(\bar{u})$ .

Рассмотрим следующую задачу построения совершенного шифра  $\Sigma_H$ . Пусть дано множество «шифрвеличин»  $U$  и множество  $N_r$  с распределением вероятностей  $P(N_r)$ . По известным  $U, N_r, P(N_r)$  требуется определить, найдутся ли такие  $V, E, D$ , для которых шифр  $\Sigma_H$  являлся бы совершенным.

**Теорема 1** [3]. Для заданных  $U, |U|=n, N_r, P(N_r)$  существует совершенный шифр  $\Sigma_H$  тогда и только тогда, когда найдется такое  $s \in N$  и  $n$  разбиений множества  $N_r$

$$N_r = K_{11} \cup K_{12} \cup \dots \cup K_{1s},$$

$$\forall i, j: 1 \leq i < j \leq s \quad K_{1i} \cap K_{1j} = \emptyset,$$

$$N_r = K_{21} \cup K_{22} \cup \dots \cup K_{2s},$$

$$\forall i, j: 1 \leq i < j \leq s \quad K_{2i} \cap K_{2j} = \emptyset,$$

...

$$N_r = K_{n1} \cup K_{n2} \cup \dots \cup K_{ns},$$

$$\forall i, j: 1 \leq i < j \leq s \quad K_{ni} \cap K_{nj} = \emptyset,$$

для которых выполнены следующие условия:

$$1) \forall i, j, 1 \leq i < j \leq n, t = 1, \dots, s, K_{it} \cap K_{jt} = \emptyset,$$



2)  $\forall i, j, 1 \leq i < j \leq n, t = 1, \dots, s$ , выполнено равенство  $\sum_{k \in K_{it}} P_{N_r}(k) = \sum_{k \in K_{jt}} P_{N_r}(k)$ .

**Следствие 1** [3]. Пусть для заданных  $U, N_r, P(N_r)$  существует совершенный шифр. Тогда для любого множества «шифрвеличин»  $\tilde{U}, |\tilde{U}| \leq U$ , и для заданных  $N_r, P(N_r)$  существует совершенный шифр  $\Sigma_H$ .

Определим аналогичное следствие для множества «шифробозначений»  $V$ . Для этого сформулируем несколько вспомогательных предложений.

Пусть разбиение множества  $K_i = K_{1i} \cup \dots \cup K_{ni}, K_i \subseteq N_r$ , в записи (1) соответствует  $i$ -ому столбцу. Определим пересечение и объединение разбиений  $K_i, K_j, i, j = 1, \dots, s$ , соотношениями (2) и (3) соответственно:

$$K_i \cap K_j = (K_{1i} \cap K_{1j}) \cup (K_{2i} \cap K_{2j}) \cup \dots \cup (K_{ni} \cap K_{nj}), \quad (2)$$

$$K_i \cup K_j = (K_{1i} \cup K_{1j}) \cup (K_{2i} \cup K_{2j}) \cup \dots \cup (K_{ni} \cup K_{nj}). \quad (3)$$

**Предложение 1.** Пусть для заданных  $U, |U| = n, N_r, P(N_r)$  и некоторого  $s, n < s \leq r$ , существует  $n$  разбиений вида (1), и выполняются условия теоремы 1. Пусть также найдутся такие  $i, j, 1 \leq i < j \leq s$ , что  $K_i \cap K_j = \emptyset$ . Тогда для  $s-1$  существует  $n$  разбиений вида (1), для которых выполняются условия теоремы 1.

**Доказательство.** Заменяем пару разбиений  $K_i, K_j$  на их объединение (3). Так как  $K_i \cap K_j = \emptyset$ , то  $(K_{li} \cup K_{lj}) \cap (K_{mi} \cup K_{mj}) = \emptyset, 1 \leq l < m \leq n$ , и, следовательно, после замены условие 1) теоремы 1 выполняется.

Так как для исходных разбиений выполняется условие 2) теоремы 1, то оно также выполняется после преобразования:

$$\sum_{k \in K_{li} \cup K_{lj}} P_{N_r}(k) = \sum_{k \in K_{mi} \cup K_{mj}} P_{N_r}(k), 1 \leq l < m \leq n.$$

■

Приведем пример, иллюстрирующий данное предложение.

**Пример 1.** Пусть даны  $U = \{u_1, u_2\}, N_8, P(N_8), s = |V| = 5$ , выполняются условия теоремы 1, и разбиения имеют вид:

$$N_8 = \{1,5\} \cup \{7\} \cup \{2,3\} \cup \{8\} \cup \{4,6\}, \quad (4)$$

$$N_8 = \{6\} \cup \{1,2\} \cup \{4\} \cup \{3,5\} \cup \{7,8\}.$$

Очевидно, условия предложения 1 выполняются, и можно заменить разбиения  $K_1$  и  $K_3$  на их объединение  $K_1 := K_1 \cup K_3 = \{1,2,3,5\} \cup \{4,6\}$ . Получим следующую пару разбиений:

$$N_8 = \{1,2,3,5\} \cup \{7\} \cup \{8\} \cup \{4,6\}, \quad (5)$$

$$N_8 = \{4,6\} \cup \{1,2\} \cup \{3,5\} \cup \{7,8\}.$$

Для (5) также выполняются условия предложения 1. Выполнив замену  $K_2 := K_2 \cup K_3 = \{7,8\} \cup \{1,2,3,5\}$ , получим разбиения:

$$N_8 = \{1,2,3,5\} \cup \{7,8\} \cup \{4,6\}, \quad (6)$$

$$N_8 = \{4,6\} \cup \{1,2,3,5\} \cup \{7,8\}.$$

Таким образом, в рассматриваемом случае для  $s = 3$  существует совершенный шифр  $\Sigma_H$ .

Для каждого множества разбиений вида (1) можно построить неориентированный граф  $G$  без петель и кратных ребер. Определим  $G$  следующим образом. Обозначим через  $K$  множество вершин  $G$ ,  $K = \{K_1, K_2, \dots, K_s\}$ ,  $T$  – множество ребер  $G$ ,  $T = \{\{K_i, K_j\} \mid K_i \cap K_j \neq \emptyset, 1 \leq i < j \leq s\}$ . Тогда  $G = (K, T)$ .

Графы разбиений (4), (5), (6) примера 1 представлены на рисунках 1.а), 1.б), 1.в) соответственно. Каждая вершина графов помечена индексом  $i$  соответствующего  $K_i$ , а ребра множествами  $K_i \cap K_j$ .

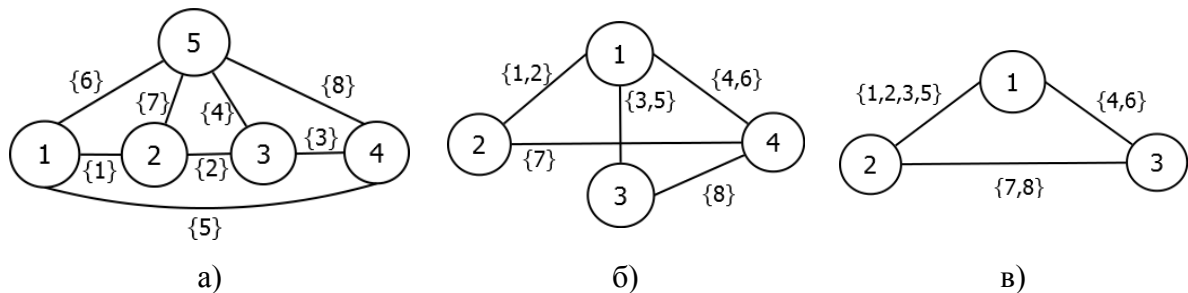


Рис.1. Графы разбиений примера 1

**Предложение 2.** Для заданных разбиений вида (1) условия предложения 1 не выполняются, если соответствующий граф  $G$  полный.

**Доказательство.** Очевидно, если  $G$  полный, то для любых  $i, j, 1 \leq i < j \leq s$ ,  $K_i \cap K_j \neq \emptyset$ , что противоречит условиям предложения 1. ■

**Предложение 3.** Для любого  $k \in N_r$  в графе  $G$  найдется  $C_n^2$  различных ребер, поэтому  $|T| \leq C_n^2 |N_r| = C_n^2 r$ , где  $C_n^2$  – биномиальный коэффициент.

**Доказательство.** В записи разбиений (1) каждый элемент  $k \in N_r$  принадлежит  $n$  различным множествам  $K_{i_1}, K_{i_2}, \dots, K_{i_n}, 1 \leq i_1 < i_2 < \dots < i_n \leq s$ , поэтому в  $G$  можно выделить полный подграф с  $n$  вершинами  $K_{i_1}, K_{i_2}, \dots, K_{i_n}$ . Так как  $k \in K_{i_l} \cap K_{i_m}, 1 \leq l < m \leq n$ , то ребра такого подграфа будут соответствовать  $k$ . Следовательно, число ребер в графе  $G$  ограничено сверху значением  $C_n^2 r$ . ■

Приведем пример разбиений, для которых достигается равенство  $|T| = C_n^2 r$ .

**Пример 2.** Пусть даны  $U, |U|=3, N_7$ , распределение вероятностей  $P(N_7)$  равномерное, и разбиения имеют вид:

$$\begin{aligned} N_7 &= \{1\} \cup \{4\} \cup \{7\} \cup \{6\} \cup \{2\} \cup \{5\} \cup \{3\}, \\ N_7 &= \{6\} \cup \{1\} \cup \{5\} \cup \{2\} \cup \{3\} \cup \{4\} \cup \{7\}, \\ N_7 &= \{5\} \cup \{7\} \cup \{2\} \cup \{4\} \cup \{1\} \cup \{3\} \cup \{6\}. \end{aligned} \quad (7)$$

Легко видеть, что разбиения (7) удовлетворяют условиям теоремы 1, при этом  $|K_i \cap K_j| = 1$  для любых  $i, j, 1 \leq i < j \leq 7$ . Граф  $G = (K, T)$  разбиений (7) полный, причем  $|K| = 7, |T| = C_7^2 = 7C_3^2 = 21$ .

Наконец, сформулируем следствие теоремы 1.

**Следствие 2.** Пусть для фиксированных  $r \geq 4, n, 2 \leq n \leq r-2$ , и некоторого  $s, n < s \leq r$ , существует совершенный шифр. При этом выполняется неравенство

$$C_n^2 r < C_s^2, \quad (8)$$

тогда для заданных  $n, r$  и

$$s_0 = \left\lceil \frac{1 + \sqrt{1 + 4n(n-1)r}}{2} \right\rceil$$

существует совершенный шифр  $\Sigma_H$ .

**Доказательство.** Так как для заданных параметров существует совершенный шифр, то по теореме 1 найдутся  $n$  разбиений вида (1) множества  $N_r$  на  $s$  подмножеств, для которых выполняются условия 1) и 2). Пусть для заданных параметров также выполняется неравенство (8), тогда по предложению 3 число ребер соответствующего графа  $G$   $|T| < C_s^2$ , то есть,  $G$  неполный. Тогда из предложений 1 и 2 следует, что для  $s - 1$  существует совершенный шифр. Аналогичное последовательное применение неравенства (8) и предложений 1 – 3 позволяет получить наибольшее значение  $s_0 < s$ , такое что  $C_n^2 r \geq C_{s_0}^2$ , причем для  $s_0$  также существует совершенный шифр  $\Sigma_H$ . Очевидно,  $s_0$  определяется как целая часть положительного решения уравнения  $s^2 - s - n(n-1)r = 0$  относительно  $s$ .

Также заметим, что ограничения  $r \geq 4, n \leq r - 2$  являются вспомогательными. Легко проверить, что для  $r < 4$  или  $n > r - 2$  не существует  $s$ , удовлетворяющих неравенству (8). ■

Таким образом, если заданные параметры удовлетворяют условиям следствия 2, то область поиска совершенного шифра достаточно ограничить значениями  $s = n, n + 1, \dots, s_0$ .

В заключение оценим отношение  $\frac{s_0(r)}{r}$  для фиксированного  $n$  и  $r \rightarrow \infty$ :

$$\lim_{r \rightarrow \infty} \frac{s_0(r)}{r} = \lim_{r \rightarrow \infty} \left( \left[ \frac{1 + \sqrt{1 + 4n(n-1)r}}{2} \right] \frac{1}{r} \right) = 0.$$

### Список литературы

1. Алферов А.П., Зубов А.Ю., Кузьмин А.С., Черемушкин А.В. Основы криптографии. М.: Гелиос АРВ. 2005. 480 с.
2. Зубов А.Ю. Криптографические методы защиты информации. Совершенные шифры. М.: Гелиос АРВ. 2005. 192 с.
3. Рацеев С.М., Панов Н.П. О построении совершенных шифров замены с неограниченным ключом // Научные ведомости БелГУ. Математика. Физика. – 2014. – 183; №7. – С.84–91.

### On the searching of the perfect cipher of substitution for the given set of parameters

*Panov N.P.*

*Abstract.* The consequence of the criterion of the existence of the perfect cipher of substitution with unlimited key is determined, which allows the reduction of the search area of the perfect cipher.

*Keywords:* cryptography, cipher, a perfect cipher.

## **Концепция математического моделирования когнитивных цифровых автоматов**

*Кожевников В.В.*

*Ульяновский государственный университет*

*Аннотация.* Концепция строится на основе матричного представления когнитивных цифровых автоматов в виде уравнения состояний сетей Петри из класса уравнений Мурата. Особенность когнитивных цифровых автоматов заключается в том, что в качестве исходной структурной схемы автомата служит описание структуры нейронной сети. Задачи построения, обучения, познания и мышления сводятся к решению уравнения состояний сетей Петри.

*Ключевые слова:* когнитивный автомат, нейронные сети, обучение, познание, мышление, сети Петри, уравнение состояний.

### **Введение.**

Концепция строится на основе матричного представления когнитивных цифровых автоматов (КЦА) в виде уравнения состояний сетей Петри (СП) из класса уравнений Мурата. Особенность КЦА заключается в том, что в качестве исходной структурной схемы автомата служит описание структуры нейронной сети. При этом логика компонентов структурной схемы изначально не определена. Для моделирования КЦА используется математический аппарат СП. На разных уровнях моделирования используются соответствующие классы СП: автоматные СП, маркированные графы, ингибиторные СП и СП с программируемой логикой (СППЛ). В отличие от ингибиторных СП логика запуска переходов СППЛ заранее не задана, и любая входная дуга перехода может быть ингибиторной, а переход может быть запрограммирован на выполнение любой логической функции. Неопределенная логика запуска переходов задается путем введения неизвестных в матрицу инцидентности сети.

В качестве исходной информации для синтеза (программирования) логики КЦА служит обучающая таблица переходов и состояний КЦА. Для решения задачи синтеза логики КЦА (обучения) используются методы исчисления инвариантов уравнения состояний маркированного графа структурной схемы автомата. При этом логика маркированного графа определяется неявно. Каждый полученный вектор покрытия переходов сети в данном случае определяет не только состав, но и логику запуска переходов.

Полученные в результате синтеза инварианты используются в качестве минимального порождающего множества решений для генерации логики КЦА (познания). В качестве механизма генерации могут быть использованы операции реляционной алгебры и более сложные реляционные исчисления.

Проекция неявно определенной логики на исходную структурную схему автомата сводится к решению уравнения состояний маркированного графа с неопределенной матрицей инцидентности. Для вычисления неизвестных матрицы инцидентности могут быть использованы стандартные методы решения СЛАУ. При этом значения неизвестных для ингибиторных дуг определяются неявно, что обеспечивает решение проблемы матричного представления решений уравнения состояний КЦА в виде матрицы инцидентности ингибиторных СП. Все множество решений объединяется в единую матрицу инцидентности ингибиторной СП.

Построение протоколов функционирования КЦА (мышления) сводится к итеративному решению уравнения состояний ингибиторных СП. Особенность процедуры построения протоколов функционирования КЦА (мышления) заключается в том, что логика КЦА на каждом шаге итерации меняется в результате непрерывности процесса синтеза и генерации логики КЦА (обучения и познания). Непрерывность процесса синтеза и генерации логики КЦА (обучения и познания) обеспечивает возможность преодоления тупиковых состояний в процессе построения протоколов функционирования КЦА (мышления).

### **1. Построение математической модели КЦА.**

Исходной информацией для построения математической модели служит описание структурной схемы КЦА. Особенность КЦА заключается в том, что в качестве структурной схемы автомата служит описание структуры нейронной сети, где в качестве компонентов структуры КЦА служат сомы нейронов, а линий соединения между компонентами аксоны. При этом логика компонентов изначально не определена и формируется в процессе программирования синапсов или соединений между дендритами и аксонами нейронов.

Структурная схема КЦА представляется в виде маркированного графа путем интерпретации входов и выходов схемы и структурных компонентов позициями маркированного графа, а самих компонентов и линий соединений составными и простыми переходами соответственно. Множество входов и выходов структурной схемы интерпретируется как множество входных и выходных позиций сети. Множество входов и выходов компонентов схемы интерпретируется как множество внутренних позиций сети.

Логическая единица интерпретируется как фишка в позиции сети, а ее отсутствие - как логический ноль. Перемещение сигналов интерпретируется как движение фишек в сети. Графическая форма представления структурной схема КЦА позволяет перейти от описания структурной схемы к ее математическому представлению в виде матрицы инцидентности  $A$ . Представление КЦА в виде двудольного ориентированного графа или матрицы инцидентности позволяет задать логические схемы статически. Динамику в модель вносит движение фишек, регулируемое правилами запуска переходов и смены разметки сети.

Построение комплексной математической модели КЦА выполняется на базе фундаментального уравнения состояний СП из класса уравнений Мурата:

$$\Delta \mu = A \cdot x \quad (1)$$

где  $\Delta \mu = \mu - \mu_0$ ,  $\mu_0$  – вектор начальной разметки сети,  $\mu$  – вектор конечной разметки сети,  $A$  - матрица инцидентности множества позиций –  $P$  и множества переходов –  $T$  сети, где  $a_{ij} = \{0, -1, 1\}$  для ординарных сетей (рассматривается класс ординарных сетей, хотя все утверждения справедливы и в общем случае),  $x$  – вектор покрытия переходов сети (вектор счёта последовательности срабатываний переходов) или отображение Париха для последовательности срабатываний переходов, который определяет только состав и не определяет последовательность срабатываний переходов. Множество векторов покрытия переходов  $x$  образует покрытие сети –  $S$ , где  $x \in S$  при  $x_i = \{0,1\}$ .

Известно, что для маркированных графов вектор  $\Delta \mu(P^0) = 0$ , где  $P^0$  – множество внутренних позиций сети. Данное свойство маркированных графов сохраняется в сетевой модели и может быть использовано для определения вектора  $\Delta \mu$  равным нулю на множестве внутренних позиций сетевой модели при решении уравнения (1). Моделирование условного разрыва обратных связей для последовательных схем осуществляется путем исключения соответствующих позиций  $P^q$  из состава внутренних позиций сети  $P^0$ .

Состояние сети определяется как достижимое, если для него существует решение, удовлетворяющее условию:  $\Delta \mu(P^q) \neq 0$ , и как устойчивое, если для него существует решение, удовлетворяющее условию:  $\Delta \mu(P^q) = 0$ . Текущее и устойчивое состояния формируются в процессе построения протоколов функционирования автомата.

Входные и выходные воздействия в сетевой модели задаются на множестве  $P - P^0 = P^- + P^+ + P^q$ , где  $P^-$  – множество входных позиций сети,  $P^+$  – множество выходных позиций сети. Входная комбинация сигналов на входах автомата интерпретируется как вектор



начальной разметки входных позиций сети  $\mu_0(\mathbf{P}^-)$ . Начальное и конечное внутренние состояния автомата определяются вектором начальной разметки  $\mu_0(\mathbf{P}^d)$  и вектором конечной разметки  $\mu(\mathbf{P}^d)$  на множестве внутренних позиций сети входящих в состав обратных связей. Выходная комбинация сигналов на выходах автомата интерпретируется как вектор конечной разметки выходных позиций сети  $\mu(\mathbf{P}^+)$ . Множество  $\Delta\mu(\mathbf{P} - \mathbf{P}^0) \ni \Delta M(\mathbf{P} - \mathbf{P}^0)$  интерпретируется как исходная таблица переходов (переключений) состояний для синтеза логики (обучения) КЦА.

Цикл срабатывания (переключения) структурного автомата или дискретный интервал времени, в течение которого входные сигналы с учетом текущего внутреннего состояния автомата достигают выходов и переводят автомат в новое состояние, интерпретируется как вектор покрытия переходов сети  $\mathbf{x}$ . Для маркированных графов структурной схемы автомата  $\mathbf{x} = \mathbf{1}$ . Для производной ингибиторной СП логической схемы автомата  $\mathbf{x} \leq \mathbf{1}$ . Ограничение вектора покрытия переходов сети  $\mathbf{x}$  обеспечивает безопасность (ограниченность) сетевой модели.

## 2. Синтез логики КЦА

Для синтеза (программирования) логики КЦА могут быть использованы методы исчисления инвариантов СП. Как известно, уравнение (1) имеет решение  $\mathbf{x}$  тогда и только тогда, когда вектор  $\Delta\mu$  ортогонален любому решению  $\mathbf{y}$  соответствующего однородного уравнения:

$$\mathbf{A}^T \cdot \mathbf{y} = \mathbf{0} \quad (2)$$

где  $\mathbf{A}^T$  – транспонированная матрица инцидентности сети,  $\mathbf{y} \in \mathbf{R}^x$  – вектор покрытия позиций сети при  $y_j = \{0,1\}$ ,  $\mathbf{R}^x$  – покрытие позиций сети для заданного вектора  $\Delta\mu$ .

Следует отметить, что уравнение (2) справедливо только для подкласса однородных СП. Для решения однородного уравнения (2) может быть использован метод направленного перебора комбинаций столбцов матрицы  $\mathbf{A}^T$ . Процедура генерации вектора покрытия позиций  $\mathbf{y}$  начинается с генерации вектора минимальной длины и до тех пор, пока не будет получено покрытие  $\mathbf{R}^x$ , удовлетворяющее условию:

$$\Delta\mu \cdot \mathbf{R}^x = \mathbf{0} \quad (3)$$

Для решения однородного уравнения (2) могут быть использованы и стандартные методы решения однородных СЛАУ с учетом целочисленности. Процедура генерации вектора покрытия позиций  $\mathbf{y}$  в данном случае начинается с генерации возможных комбинаций значений невыраженных неизвестных.

Свойство ортогональности СП составляет основу метода синтеза (программирования) логики КЦА и позволяет определить каждый вектор  $\Delta\mu$  в системе

уравнений (1) и (3) равным нулю на множестве внутренних позиций сети  $P_{R^*}^0$ , входящих в состав соответствующего покрытия  $R^x$ :  $\Delta\mu(P_{R^*}^0) = 0$

Для решения однородного на множестве позиций  $P_{R^*}^0$  уравнения (1) могут быть использованы стандартные методы решения однородных СЛАУ с учетом целочисленности при  $\Delta\mu(P - P^0) = A \cdot x$  и  $\Delta\mu(P_{R^*}^0) = 0$ . Уравнение (1) в данном случае может иметь только одно решение.

Условие (3) является необходимым при решении системы уравнений (1) с неявно определяемой логикой и служит в качестве критерия достижимости. При этом каждый вектор покрытия сети  $x \in S$ , в данном случае, определяет не только состав, но и логику запуска соответствующих переходов сети, а покрытие  $S$  - логику функционирования сети. Доопределение вектора  $\Delta\mu$  для каждого полученного вектора  $x$  на множестве  $P^0$  выполняется путем простого умножения вектора  $x$  на матрицу инцидентности  $A$ .

Проекция неявно определенной входной логики составных переходов на исходную структурную схему автомата сводится к решению уравнения (1) с неопределенной матрицей инцидентности:

$$\Delta\mu = A^{\alpha}(P, T) \cdot x \quad (4)$$

при  $\Delta\mu(p_j^0) = -1$   $\Delta\mu(p_j^0) = 0$  или  $\mu_0 = A^{-\alpha}(P, T) \cdot x$  при  $\mu_0(P^0) = 0$ , где  $A^{\alpha} = A^{+\alpha} - A^{-\alpha}$  - неопределенная матрица инцидентности, для которой  $a_{ij} = \{0, 1, -1, -\alpha\}$ . Введение соответствующих неизвестных, в матрицу инцидентности  $A$  уравнения (1) осуществляется для входных дуг составных переходов, входящих в состав вектора  $x$  в соответствии с выражением:

$$a_{ij} = -1 \rightarrow a_{ij} = -\alpha, \text{ где } \alpha = \{0, 1\}.$$

Значения неизвестных для ингибиторных дуг определяются неявно и равны нулю, что обеспечивает решение проблемы матричного представления ингибиторных СП. Для вычисления неизвестных матрицы инцидентности могут быть использованы стандартные методы решения СЛАУ с учетом целочисленности. Для каждого вектора  $x$  вычисляется соответствующая матрица  $A^x$ .

Множество полученных проекций  $A^x$  составляют объединенную матрицу неоднородной ингибиторной СП или логической схемы КЦА:

$$A^I = \bigcup A^x, \quad (5)$$

### 3. Генерация логики КЦА

В качестве исходной информации для генерации логики КЦА служит множество покрытий  $R^x \in R$ . Для генерации логики могут быть использованы операции реляционной алгебры и более сложные реляционные исчисления над множествами  $R^x$ , начиная с комбинаций по два, по три множества и т.д.

Для каждого вновь полученного множества  $R^x$  вычисляются соответственно с уравнением (3) - вектор  $\Delta\mu(P - P^0)$ , уравнением (1) - вектор  $x$  и уравнением (4) - матрица  $A^x$ , которая объединяется с матрицей  $A^1$  в соответствии с выражением (5). Вычисление вектора начальной разметки сети  $\mu_0$  и вектора конечной разметки сети  $\mu$  на множестве позиций, входящих в состав обратных связей, выполняется в результате решения уравнений:  $\mu_0(P^0) = A^-(P^0, T)x$  и  $\mu(P^0) = A^+(P^0, T)x$ . Возможность вычисления вектора начальной разметки сети  $\mu_0$  и вектора конечной разметки сети  $\mu$  на множестве позиций, входящих в состав обратных связей, обеспечивает решение проблемы недействительных решений матричного анализа СП.

### 4. Построение протоколов функционирования КЦА

В сетевой модели задача построения протоколов функционирования КЦА сводится к вычислению последовательности векторов запуска переходов и текущей разметки сети, начиная с заданной начальной разметки сети  $\mu_0$  и до тех пор, пока сеть не перейдет в устойчивое или тупиковое состояние. При этом начальная разметка  $\mu_0$  постоянно изменяется в процессе построения протоколов функционирования. Возможность достижимости устойчивых или тупиковых состояний зависит от длительности и последовательности начальных разметок сети.

Соответствующая последовательность векторов запуска переходов и векторов текущей разметки может быть получена путём итеративного решения уравнения состояний:

$$\mu_k = \mu_0 + A^{+1} \cdot u_k \quad (6)$$

где для каждого вектора запуска переходов  $u_k$  выполняется следующее условие:

$$\mu_{k-1}(P_{u_k}^-) - A^{-1} \cdot u_k = 0 \quad (7)$$

где  $\mu_k$  – вектор текущей разметки сети,  $\mu_0$  – вектор начальной разметки сети,  $u_k$  – вектор запуска переходов в сети,  $P_{u_k}^-$  – множество входных позиций переходов, входящих в состав вектора  $u_k$ .

Уравнение (6) определяет правило смены разметки СП для моделирования потока данных. Условие (7) служит в качестве правила запуска переходов СП.

Длительность сигналов моделируется как сохранение разметки соответствующих позиций сети в течение одной или более итераций. При одинаковом времени задержки всех компонентов время срабатывания переходов принимается равным дискретному интервалу времени. Соответственно, время достижимости интерпретируется как количество итераций.

### **Заключение.**

Логика компонентов исходной структуры сети в процессе синтеза (обучения) и генерации (познания) логики на каждом шаге итерации изменяется, т.е. таблицы истинности компонентов сети не имеют фиксированного размера и, соответственно, фиксированной логической функции. Процесс формирования логики компонентов ограничен только количеством входов компонентов или полным перебором возможных комбинаций сигналов на входах каждого компонента. При условии достаточно большого количества входов каждого компонента процесс формирования логики компонентов и сети в целом практически бесконечен, что в свою очередь определяет бесконечность процесса построения протоколов функционирования КЦА (мышления). Непрерывность процесса синтеза и генерации логики КЦА (обучения и познания) обеспечивает возможность преодоления устойчивых или тупиковых состояний в процессе построения протоколов функционирования КЦА (мышления).

### **Список литературы**

1. Кожевников В.В. Концепция теории сетей с неопределенной логикой // Труды международной научно-технической конференции “Непрерывно-логические и нейронные сети и модели”, 1995, с. 65 –70.
2. Кожевников В.В. Метод синтеза логики выполнения ингибиторных сетей Петри // Труды международной конференции “Континуальные логико-алгебраические и нейросетевые методы в науке и технике”, 2000, с. 55–60.
3. Кожевников В.В. Концепция сетей Петри с программируемой логикой // Ученые записки УлГУ, Серия: Математика и информационные технологии, вып.1 (6), 2014 , с. 150–155.

### **The concept of cognitive digital automata mathematical modeling**

*Kozhevnikov V.V.*

Ulyanovsk State University

**Abstract.** The concept is based on the matrix representation of cognitive digital automata in the form of the Murata class Petri nets state equations. Feature of the cognitive digital automata consists in that as a starting block diagram describing the structure of the automata serves as a

neural network. The task of building, learning, cognition and thinking are reduced to the solution of Petri nets state equations.

**Keywords:** cognitive automata, neural networks, learning, cognition, thinking, Petri nets, the equation of state.

## **Прикладная программа для автоматического составления рабочих программ учебных курсов**

*Прохорова Е.Ф.*

*Ульяновский государственный университет*

*Аннотация.* Статья посвящена решению актуальной задачи автоматизации составления рабочих программ учебных курсов, преподаваемых в высших учебных заведениях. Результатом работы является прикладная программа, содержащая базу данных со всей необходимой информацией, модули генерации рабочих программ и автоматического составления отчёта в формате Latex, который затем преобразуется в готовый текстовый документ.

*Ключевые слова:* рабочая программа, учебная дисциплина, автоматизация составления рабочих программ, база данных, шаблон отчёта, Latex, MySQL.

### **Введение.**

Сотрудники и преподаватели Ульяновского государственного университета во время прохождения процедуры аккредитации 2015 г. столкнулись с актуальной проблемой быстрого и качественного создания рабочих программ учебных дисциплин на уровне требований стандартов ФГОС ВПО.

Цель данной работы – проанализировать проблемы автоматизации составления рабочих программ учебных курсов и разработать прикладную программу для автоматизированной генерации рабочих программ по заданным шаблонам. Основная цель разработки такой программы – это сокращение длительности процесса составления и многократного редактирования рабочих программ.

Для достижения поставленной цели в работе решены следующие задачи:

- 1) рассмотрены существующие практики внедрения автоматизированных информационных систем в образование;
- 2) проведён анализ применения новых информационных технологий в управлении учебным процессом;
- 3) определена роль и место рабочих программ в системе образования;
- 4) разработан алгоритм автоматизации создания рабочих программ с учётом структурных и количественных параметров.

В современных условиях необходимо совершенствовать качество подготовки специалистов на основе практической направленности квалифицированных требований с

учётом конъюнктуры рынка труда. Это предопределяет необходимость перехода вузов к новым стандартам образования, что в свою очередь влечёт за собой изменения в оформлении и составлении новых рабочих программ.

Рабочая программа дисциплины является одним из основных и важных документов общей образовательной программы по соответствующему направлению высшего учебного заведения. Поэтому в настоящее время для успешной деятельности вузов необходима комплексная автоматизация всех аспектов его деятельности. Целесообразно упростить этот трудоёмкий и долговременный процесс, используя автоматизированную систему генерации рабочих программ.

Актуальность данной темы обусловлена тем, что в настоящее время существует множество различных систем по автоматизации учебного процесса вуза, но, к сожалению, ни одна из них не предусматривает автоматического создания рабочих программ учебных курсов [1].

Такая прикладная программа позволит создавать рабочие программы единого образца по всем учебным дисциплинам, снизить количество ошибок при их создании и значительно сэкономить время сотрудников и преподавателей кафедр высшего учебного заведения. Программа должна включать базу данных с необходимой информацией и средства генерации рабочих программ и выходного файла отчёта в удобном формате LaTeX.

Новизна результатов заключается в построении модели данных, в полной мере отражающей сложную структуру и разделы рабочей программы. Генерация рабочих программ будет осуществляться в формат LaTeX, так как главным преимуществом LaTeX'a является абсолютно одинаковый внешний вид готовых страниц во всех операционных системах и непревзойденное до сих пор качество полиграфических текстов и математических формул. Кроме того, этот пакет бесплатный, он имеет удобный пользовательский интерфейс и богатый функционал. Создание и заполнение рабочей программы выполняется с помощью заготовленного шаблона документа. Шаблон представляет собой макет документа, в котором находятся специальные поименованные поля «переменные», таблицы, заголовки и т. д. [2].

Использование средств автоматизации в работе на сегодняшний день позволит создавать условия для рационального использования рабочего времени сотрудников кафедры, обеспечить быстрый доступ к необходимой информации, а также её надежное хранение и дальнейшее использование.

Разработанный программный продукт пройдет апробацию в ФГБОУ ВПО «Ульяновский государственный университет» на кафедре информационных технологий

факультета математики, информационных и авиационных технологий. В дальнейшем, при положительном результате, планируется его внедрение на всех факультетах УлГУ.

## **1. Выбор инструментальных и программных средств**

### **1.1. Выбор системы управления базами данных.**

Существует большой выбор систем управления реляционными базами данных (СУБД) среди обширного семейства этой категории программных продуктов. Среди них можно выделить локальные СУБД и сетевые. Выбор диктуется областью их применения и характером использования. В рассматриваемом случае предполагается, что установку, администрирование и сопровождение базы данных будет осуществлять один пользователь – администратор базы данных или оператор ЭВМ. Доступ к базе может получить любой пользователь, но без права её обновления.

Очевидно, что наиболее простой подход при выборе СУБД основан на оценке того, в какой мере существующие системы удовлетворяют основным требованиям создаваемого программного продукта. Более сложным и дорогостоящим вариантом является создание испытательного проекта на основе нескольких СУБД и последующий выбор наиболее подходящего из полученных вариантов. Но и в этом случае необходимо ограничивать круг возможных систем, опираясь на некие критерии отбора. Вообще говоря, перечень требований к СУБД, используемых при создании того или иного программного продукта, может изменяться в зависимости от поставленных целей.

В настоящее время самой популярной системой управления базами данных является MySQL – это самая распространенная полноценная серверная СУБД. MySQL очень функциональная, свободно распространяемая СУБД, которая успешно работает с различными сайтами и веб приложениями. Обучиться использованию этой СУБД довольно просто, так как в Интернете доступно большое количество информации[3].

Сравнивая СУБД MySQL с другими базами данных, следует выбирать, какой фактор является определяющим при разработке программного продукта. Принимая во внимание эти соображения, СУБД MySQL обладает многими преимуществами[4].

Кратко перечислим основные из них: быстроедействие, простота использования, цена, поддержка языка запросов, возможности сервера, развитая система защиты от несанкционированного доступа, переносимость.

Все эти преимущества делают СУБД MySQL идеальным кандидатом для разработки программного приложения с базой данных. СУБД может хранить огромное количество записей в своих таблицах. Этим обеспечивается возможность создания крупных проектов. Немаловажным показателем является также простая и эффективная



система безопасности MySQL. Ну и, конечно, бесспорным плюсом данной системы является то, что она распространяется совершенно бесплатно, используя лицензию GNU[5].

## 1.2. Выбор языка программирования.

Для реализации программного проекта был выбран язык C# и интегрированная среда разработки Microsoft Visual Studio 2013, которая несомненно считается лучшей среди профессионалов средой создания программ.

Язык C# напрямую связан с широко применяемыми и наиболее популярными во всем мире языками программирования C, C++ и Java. Сегодня практически все профессиональные программисты знают эти языки, поэтому переход к базирующемуся на них C# происходит без особых трудностей. Язык C# строится на объектной модели, которая была определена в C++, а синтаксис, многие ключевые слова и операторы он унаследовал от языка C.

Язык C# обладает многими современными свойствами языков программирования, которые подробно рассматриваются в книге [6]. Одни из наиболее важных нововведений относятся к встроенной поддержке компонентов программного обеспечения. То есть фактически C# создан как компонентно-ориентированный язык, включающий, например, элементы (такие как свойства, методы и события), непосредственно поддерживающие составные части компонентов программного обеспечения. Самая важная характеристика C# – это способность работать в многоязыковом окружении.

## 2. Разработка базы данных проекта

### 2.1. Описание БД

База данных спроектирована с помощью программы MySQL Workbench [7].

Структура базы данных состоит из 10 таблиц (рис. 1).

- faculty – факультет;
- kafedra – кафедра;
- direction – направление (или специальность);
- disciplina – дисциплина;
- competence – компетенция;
- cd – связь между таблицами: дисциплина и компетенция;
- semester – семестр;
- teacher – преподаватель;
- tk – связь между таблицами: преподаватель и кафедра;
- gp – рабочая программа.

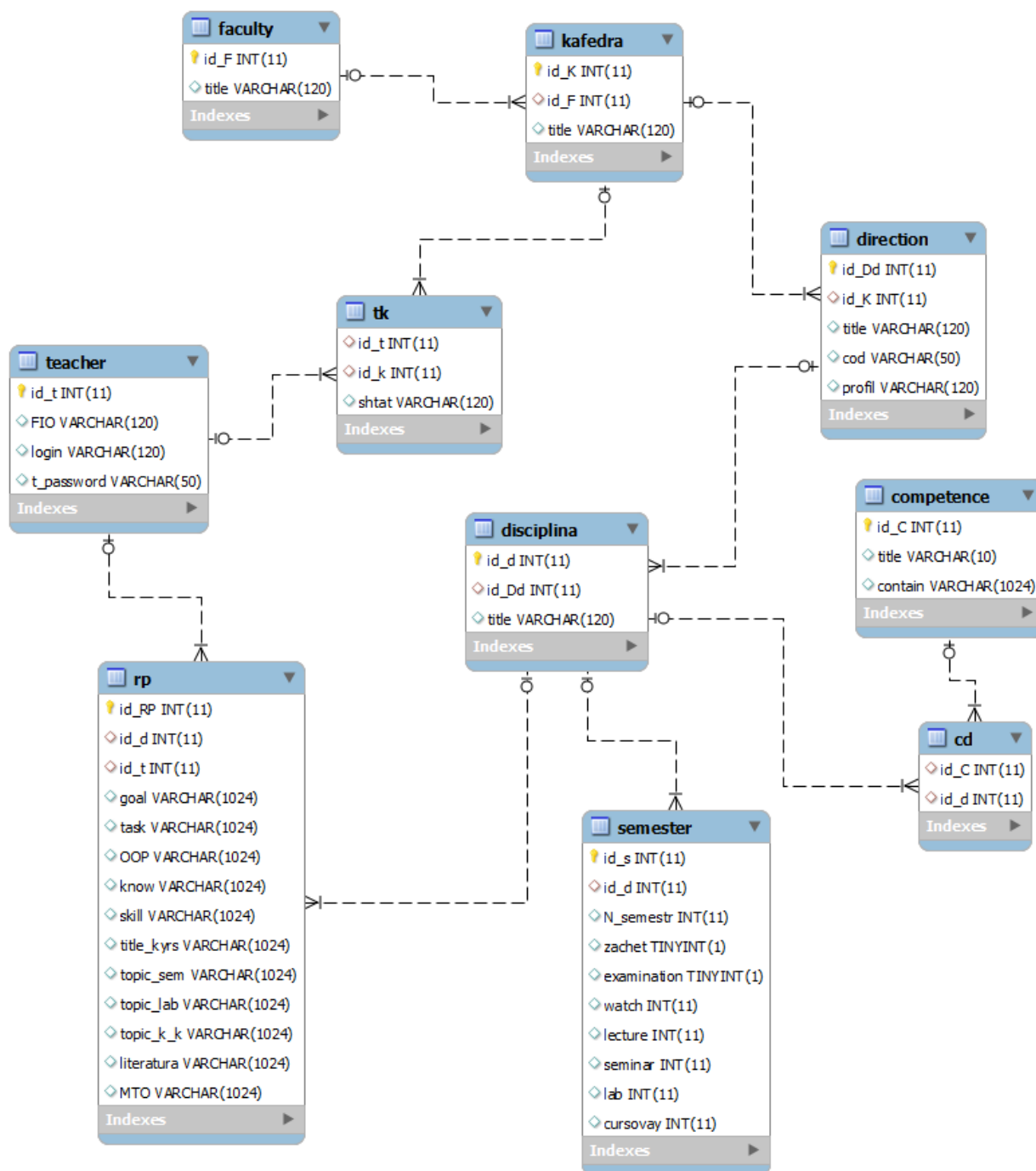


Рис. 1. EER – диаграмма

**faculty:**

В данной таблице хранятся сведения о факультетах университета. Она состоит из двух полей:

- ✓ id\_F – идентификатор факультета (первичный ключ),
- ✓ title – наименование факультета.

**kafedra:**

Таблица хранит в себе информацию о кафедрах факультета. Состоит из трёх полей:

- ✓ id\_K – идентификатор кафедры (первичный ключ),
- ✓ id\_F – идентификатор факультета, получаем из таблицы faculty (внешний ключ),
- ✓ title – наименование кафедры.

**direction:**

Таблица хранит в себе информацию о направлениях (или специальностях) кафедры. Состоит из пяти полей:

- ✓ id\_Dd – идентификатор направления (первичный ключ),
- ✓ id\_K – идентификатор кафедры, получаем из таблицы kafedra (внешний ключ),
- ✓ title – наименование направления,
- ✓ cod – код направления,
- ✓ profil – профиль направления.

**disciplina:**

Таблица хранит в себе информацию о дисциплинах, входящих в учебный план направления (специальности). Состоит из трёх полей:

- ✓ id\_d – идентификатор дисциплины (первичный ключ),
- ✓ id\_Dd – идентификатор направления, получаем из таблицы direction (внешний ключ),
- ✓ title – наименование дисциплины.

**competence:**

Таблица хранит в себе информацию о компетенциях, которые привязаны к той или иной дисциплине. Состоит из трёх полей:

- ✓ id\_C – идентификатор компетенции (первичный ключ),
- ✓ title – наименование компетенции,
- ✓ contain – содержание компетенции.

**cd:**

Таблица хранит в себе информацию о взаимосвязи таблиц: дисциплина и компетенция. Состоит из двух полей:

- ✓ id\_C – идентификатор компетенции, получаем из таблицы competence(внешний ключ),
- ✓ id\_d – идентификатор дисциплины, получаем из таблицы disciplina (внешний ключ).

**semester:**

Таблица хранит в себе информацию о компетенциях, которые привязаны к той или иной дисциплине. Состоит из десяти полей:

- ✓ id\_s – идентификатор семестра (первичный ключ),
- ✓ id\_d – идентификатор дисциплины, получаем из таблицы disciplina (внешний ключ),
- ✓ N\_semestr – номер семестра,
- ✓ zachet – форма контроля зачет,
- ✓ examination - форма контроля экзамен,
- ✓ watch – всего часов по дисциплине,
- ✓ lecture – часы лекции,
- ✓ seminar – часы семинара,
- ✓ lab – часы лабораторных работ,
- ✓ cursovay – часы курсовой работы.

**teacher:**

Таблица хранит в себе информацию о преподавателях, которые составляют рабочие программы. Состоит из четырёх полей:

- ✓ id\_t – идентификатор преподавателя (первичный ключ),
- ✓ FIO – фамилия, имя и отчество преподавателя,
- ✓ login – логин преподавателя,
- ✓ t\_password – пароль преподавателя.

**tk:**

Таблица хранит в себе информацию о взаимосвязи таблиц: преподаватель и кафедра. Состоит из трёх полей:

- ✓ id\_t – идентификатор преподавателя, получаем из таблицы teacher (внешний ключ),
- ✓ id\_K – идентификатор кафедры, получаем из таблицы kafedra (внешний ключ),
- ✓ shtat – принадлежность преподавателя к кафедре.

**rp:**

Таблица хранит в себе информацию о рабочих программах, которые составляют преподаватели. Состоит из четырнадцати полей:

- ✓ id\_RP – идентификатор рабочей программы (первичный ключ),
- ✓ id\_d – идентификатор дисциплины, получаем из таблицы disciplina (внешний ключ),
- ✓ id\_t – идентификатор преподавателя, получаем из таблицы teacher (внешний ключ),

- ✓ goal– цели изучения дисциплины,
- ✓ task – задачи изучения дисциплины,
- ✓ OOP – место дисциплины в структуре ООП,
- ✓ know – должны знать в результате изучения дисциплины,
- ✓ skill – должны уметь в результате изучения дисциплины,
- ✓ title\_kyrs – содержание курса дисциплины,
- ✓ topic\_sem – темы семинарских занятий,
- ✓ topic\_lab – темы лабораторных работ,
- ✓ topic\_k\_k – примерная тематика курсовых и контрольных работ,
- ✓ literature – учебно – методическое и информационное обеспечение дисциплины,
- ✓ МТО– материально – техническое обеспечение дисциплины.

## 2.2. Описание предметной области

Предметная область: создание рабочих программ учебных курсов.

Сотрудники кафедр, т. е. преподаватели, осуществляют создание рабочих программ учебных курсов, включенных в их нагрузку. Каждая рабочая программа имеет сложную структуру и состоит из следующих разделов:

- цели и задачи изучаемой дисциплины,
- место дисциплины в структуре ООП,
- требования к уровню освоения дисциплины,
- объём дисциплины,
- содержание курса дисциплины,
- темы семинарских занятий,
- темы лабораторных работ,
- примерная тематика курсовых и контрольных работ,
- учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины,
- материально-техническое обеспечение дисциплины.

Также имеется список преподавателей, в котором каждый преподаватель имеет идентификационный номер, ФИО, логин и пароль. Все преподаватели имеют «привязку» к какой-либо кафедре, а кафедра в свою очередь связана с факультетом. Кафедра и факультет имеют идентификационный номер и наименование.

Каждая кафедра осуществляет подготовку специалистов по различным направлениям. Направления имеют идентификационный номер, наименование, код и профиль.

Учебный план по направлению подготовки (специальности) определяет организацию и содержание подготовки студентов, и разрабатывается в соответствии с требованиями ФГОС ВПО. Предусматривается также перечень и последовательность всех изучаемых дисциплин ООП и трудоёмкость каждой из них (в зачётных единицах и академических часах). Последовательность изучения дисциплин основана на их преемственности и определяется логическими связями и зависимостями между ними, которые, в свою очередь, опираются на перечень компетенций (или их компонентов).

Назначение базы данных – обеспечение подготовки, хранения и просмотра необходимой информации для создания рабочих программ учебных курсов.

### **Заключение.**

Задача использования информационных технологий для обеспечения организации учебного процесса в настоящее время является актуальной. Все используемые ранее системы по автоматизации учебного процесса вуза не предусматривают автоматического создания рабочих программ дисциплин учебного процесса. Поэтому создание автоматизированной системы генерации рабочих программ стало одной из важных задач, требующих неотложного решения. Такая система позволяет создавать условия для рационального использования рабочего времени сотрудников кафедры и обеспечить быстрый доступ к необходимой информации.

В процессе решения задач, связанных с автоматической генерацией рабочих программ, была разработана база данных «Рабочие программы учебных курсов», которая в той или иной степени удовлетворяет потребностям автоматической генерации рабочих программ.

Дальнейшая работа будет направлена на создание и программную реализацию алгоритмов обработки шаблонов рабочих программ и автоматической генерации выходного файла с рабочей программой в формате LaTeX.

### **Список литературы**

1. Записки методиста [Электронный ресурс]. – [2010]. – Режим доступа: [http://monick.mypage.ru/o-tehnologijah/asu\\_avtomatizirovannie\\_sistemi\\_upravleniya\\_obrazovaniem\\_zap.html](http://monick.mypage.ru/o-tehnologijah/asu_avtomatizirovannie_sistemi_upravleniya_obrazovaniem_zap.html)
2. Королева И.Ю. Автоматизация процесса разработки рабочих программ по дисциплинам, преподаваемым в вузах / Королева И. Ю., Влазнева Д. Г. // Журнал научных публикаций аспирантов и докторантов. – 2012. – № 5. – С. 115-116.
3. Ульман Л., MySQL: руководство по изучению языка: ДМК Пресс, 2004. – 354 с.
4. Дюбуа П. MySQL: Пер. с англ.: Уч. Пос. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2001. – 816 с.: ил. – Парал. тит. англ.

5. Введение в базы данных. Что такое MySQL? [Электронный ресурс]. – [2011]. – Режим доступа: <http://siteblogger.ru/uroki-mysql/vvedenie-v-bazy-dannyx-что-такое-mysql.html>
6. Шилдт Г., С# Учебный Курс. – П.: Питер, 2003. – 471 с.
7. Руководство по проектированию реляционных баз данных [Электронный ресурс]. – [2013]. – Режим доступа: <http://habrahabr.ru/post/193136/>

## **Software for Automatic Creation of Study Courses Syllabi**

*Prokhorova E.F.*

Ulyanovsk State University

**Abstract.** The article is devoted to solving the urgent problem of automatic creation of syllabi for study courses taught at universities. The result is the software that contains a database with all necessary information, modules to generate academic programs and automatically prepare the report in the Latex format, which is then converted into the final hard copy document.

**Keywords:** study course, syllabus, software, database, report template, Latex, MySQL.

## **О построении программ для вычислительного эксперимента<sup>2</sup>**

*Угаров В.В.*

*Ульяновский государственный университет*

*Аннотация.* В данной статье рассматриваются некоторые аспекты проектирования компьютерных программ для научных исследований, отличающиеся высокой вариативностью, необходимой для проведения вычислительных экспериментов. Описан опыт разработки программного комплекса.

*Ключевые слова:* Комплекс программ, вычислительный эксперимент, конфигурация программ, качество академических программ, вариативность программ.

Для выполнения научных исследований, связанных с оценкой эффективности проектно-ориентированного подхода при обучении студентов в Ульяновском государственном университете по дисциплинам информационного цикла, в частности программированию, информатике и вычислительной математике, возникла необходимость в разработке программ для автоматической обработки экспериментальных данных [1]. В ходе исследований анализировались созданные студентами во время учебного процесса программные продукты, назовем их академические программные продукты (АПП). Анализ АПП проводился на основе нескольких методик, успешно используемых в мировой практике, например метрика Холстеда, методика Мак Кейба и ряд других. Учитывая, что определение параметров качества АПП по данным методикам связано со значительным объёмом статистических вычислений, было принято решение о создании специализированного программного комплекса для выполнения этих вычислений.

Во время научных исследований приходится часто менять методику оценки качества АПП, применять различные статистические алгоритмы и способы обработки данных.

Поэтому особенностью разработки программ или программных комплексов для вычислительного эксперимента является не только совершенствование отдельных частей программ на пути их большего соответствия заданию, но и развитие программы в основном за счет добавления новых вариантных частей.

---

<sup>2</sup> Работа выполнена при частичной поддержке гранта РФФИ, проект № 14-07-00665



Данный программный комплекс по своему назначению относится в большей степени к программам, предназначенным для выполнения вычислительных процессов во время проведения научных исследований. Поэтому главной отличительной особенностью комплекса является высокая вариантность конфигурации программы, обусловленная требованием частой изменчивости текста программы во время проведения научных исследований. Программный текст постоянно подвергается изменениям и расширениям. Это вызвано необходимостью добавления в программный комплекс новых модулей, позволяющих вычислять новые, дополнительные параметры качества по сравнению с предыдущим набором параметров. Необходимость частого изменения текста программ обработки данных обусловлена также итерационным характером научного исследования. При этом очень важно при изменении программ не вносить в изменяемый текст дополнительных ошибок. Для минимизации количества ошибок в текст программ комплекса заранее, еще на стадии проектирования, заложены средства, позволяющие добавлять новые модули с минимальным изменением основного текста программ.

В результате разработанный программный комплекс под названием "DAAP-1.3" представляет собой совокупность программных модулей, предназначенный для автоматического определения параметров качества программных продуктов, а именно: модуль получения статистических характеристик показателей качества – MS-1, модуль определения критерия Пирсона – MP-2, модуль реализации однофакторного дисперсионного анализа – MDA-3, модуль для выполнения служебных функций MC-4.

Первый модуль MS-1 в среде Delphi версии 7.0 фирмы Borland Inc., модули MP-2, MDA-3 реализованы в среде языка программирования Visual Basic for Application версии MS Excel 2003, служебный модуль MC-4 реализован на основе функций MS Excel 2003. Программный комплекс функционирует под управлением операционной системы MS Windows – 7.

Модуль статистики MS-1 вычисляет статистические характеристики выборочных значений из генеральной совокупности случайных величин. Остальные модули выполнены на языке программирования Visual Basic for Application, используемого в среде MS Excel 2003.

При разработке программного комплекса использовался перечислительный механизм задания конфигурации из набора модулей, что позволяет достаточно просто реализовать требуемую конфигурацию [2].

Построение программного комплекса по модульному принципу позволило повысить вариантность комплекса, то есть замену модулей комплекса с наименьшими затратами, в то же время не изменяя другие модули. Связь модулей друг с другом

осуществляется передачей данных через файловые структуры, а также используя динамические структуры данных в виде списков с последовательным и произвольным доступом. Данные в файлах расположены согласно специально разработанным форматам. В результате передача данных от одного модуля к другому выполняется внешним образом по отношению к модулям. Это позволяет обрабатывать данные одним модулем независимо от других модулей.

Такой метод построения конфигурации программного комплекса называется цепочечным. Предполагается, что в текущей конфигурации программного комплекса модули выстраиваются в цепочку для поочередного выполнения процессов обработки данных.

Так, например, модуль определения характеристик качества получает данные для обработки из программных файлов АПП, а результаты записывает в файл "MetrFile.txt". В свою очередь модуль статистики получает данные из файла "MetrFile.txt", а результаты статистической обработки записывает в файл формата электронных таблиц "xls". Модуль анализа данных собирает информацию из файлов электронных таблиц формата "xls" и формирует отчет также в файлах формата "xls". Таким образом, замена одного модуля обработки данных на другой не требует каких-либо изменений в других модулях. Это резко снижает вероятность создания новых ошибок при изменении программ. Кроме того, это позволяет иметь взаимозаменяемые наборы сменных модулей обработки, реализующих различные алгоритмы, как это показано на рис. 1.

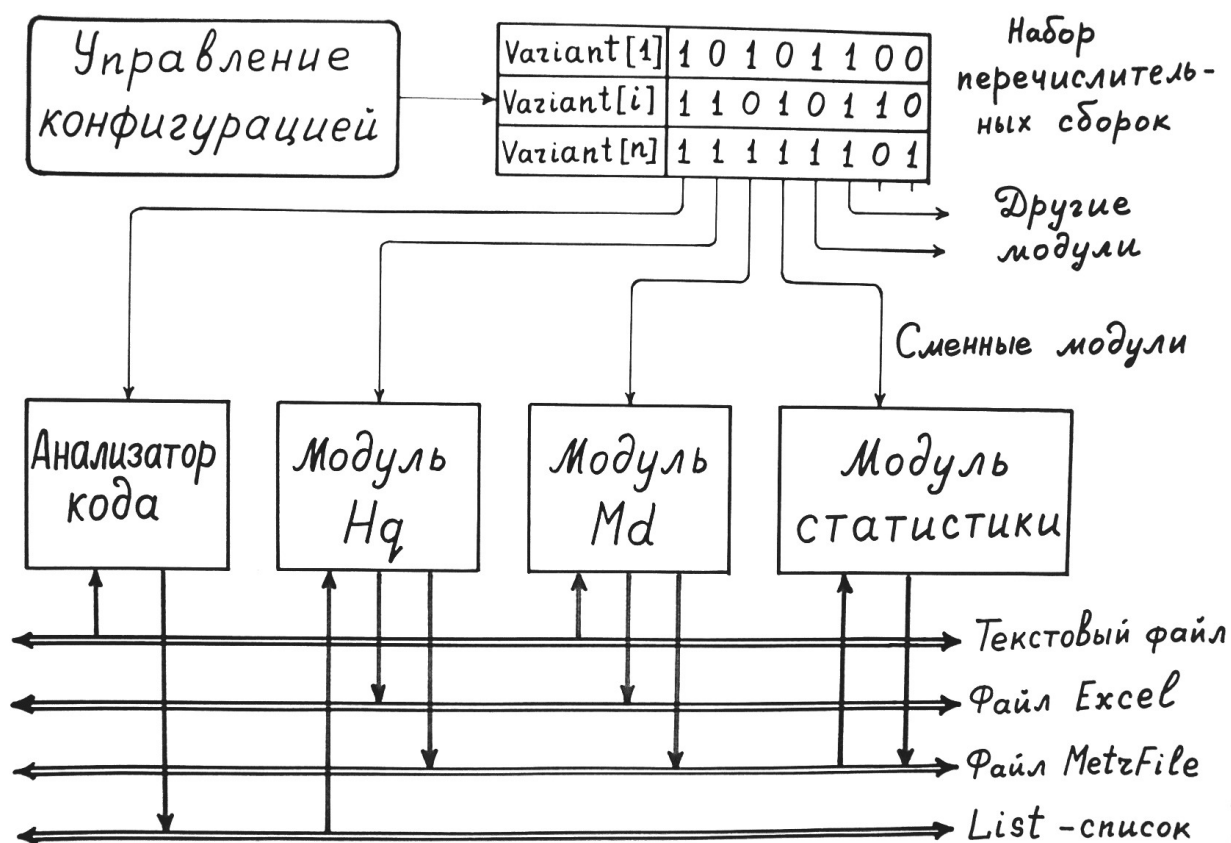


Рис. 1. Схема взаимодействия модулей программного комплекса.

Созданный на этой основе программный комплекс "DAAP-1.3" был успешно применён во время исследований учебного процесса, позволил резко сократить трудозатраты преподавателей информационных дисциплин при оценке качества подготовки студентов на основе компьютерного анализа академических программных продуктов.

#### Список литературы

1. Семушин И.В., Цыганова Ю.В., Угаров В.В., Афанасова А.И. Опыт проектно-ориентированного обучения в университетах Ульяновска // Труды международной научно-технической конференции "Перспективные информационные технологии (ПИТ-2014)", Самара, 30 июня-4 июля 2014 года, Изд-во Самарского научного центра РАН, с. 436-438.
2. Майерс Г. Искусство тестирования программ / Пер. с англ. под ред. Б. А. Позина. – М.: Финансы и статистика, 1982. – 176 с.

## **On the Construction of Programs for Computational Experiment**

*Ugarov V.V.*

Ulyanovsk State University

*Abstract.* In this article some aspects of projection of computer programs for scientific researches differing in the high variability necessary for carrying out computing experiments are considered. Experience of development of a program complex is described.

*Keywords:* Complex of programs, computing experiment, configuration of programs, quality of the academic programs, variability of programs.

## **Использование библиотеки CLIPSJNI для создания веб-интерфейсов для экспертных систем**

*Фирулин А.М.*

*Аннотация.* В данной статье описано использование библиотеки CLIPSJNI для создания веб-ориентированных экспертных систем на языке программирования Java. В частности описан алгоритм работы экспертной системы, представлены примеры вызова методов классов библиотеки CLIPSJNI.

*Ключевые слова:* экспертная система, веб-интерфейс, технология CLIPS, пользовательская сессия, экземпляр среды.

### **Введение.**

Продукт CLIPS (C-language Integrated Production System) появившийся в 1984 году как среда для разработки экспертных систем для проектов NASA является довольно популярным средством и на сегодняшний день. Подтверждением этому может служить то, что в последние годы было создано достаточно много библиотек, позволяющих интегрировать его в проекты, реализованные на различных языках программирования и для различных программных платформ. Например, существуют версии для мобильных приложений на базе операционной системы Android: [CLIPS4Android](#)[3] и [DROID-CLIPS](#)[4], для мобильных приложений на базе операционной системы IOS: CLIPSiOS[7], для приложений использующих технологию .NET: CLIPS.NET[2], для приложений написанных на языке программирования Java: CLIPSJNI[5] (CLIPS Java Native Interface ) и многое другое[1].

Цель данной статьи показать возможность создания многопользовательской экспертной системы с веб-интерфейсом на основе технологии CLIPS .

Данная тема является довольно новой т.к. оболочку экспертных систем CLIPS используют в основном в однопользовательских приложениях для рабочего стола и поэтому мало где рассматривают её как одно из средств построения веб-ориентированных экспертных систем.

### **Основная часть**

В одном из проектов реализуемом автором данной статьи была поставлена задача, построить веб-интерфейс для экспертной системы, базирующейся на оболочке CLIPS. Данный интерфейс реализован с использованием различных технологий и языков программирования, среди которых технология Java Servlet и язык программирования Java[8].

В ходе разработки возникли следующие вопросы:

1. Каким образом интегрировать CLIPS в систему?
2. Как сделать CLIPS многопользовательской?

Решением первого вопроса послужило использование в проекте библиотек CLIPSJNI, которые дают возможность использовать правила написанные на языке COOL в программах, написанных на языке Java.

Стоит отметить, что совсем недавно на официальном сайте проекта CLIPS появилась специализированная библиотека для разработки сетевых приложений: CLIPSCGI (CLIPS Common Gateway Interface ) [6], но она не была использована в разработанном интерфейсе т.к. для её работы необходимо использовать язык программирования Perl, а также по той причине, что к моменту появления этой библиотеки уже было найдено и частично реализовано решение представленное в данной статье.

В основу решения второй проблемы легли возможность CLIPS иметь несколько экземпляров сред программы на одном компьютере и поддержка пользовательских сессий в технологии Java Servlet.

На рисунках 1 и 2 изображён алгоритм функционирования интерфейса с учетом только тех компонентов, в которых задействованы классы и функции библиотеки CLIPSJNI.

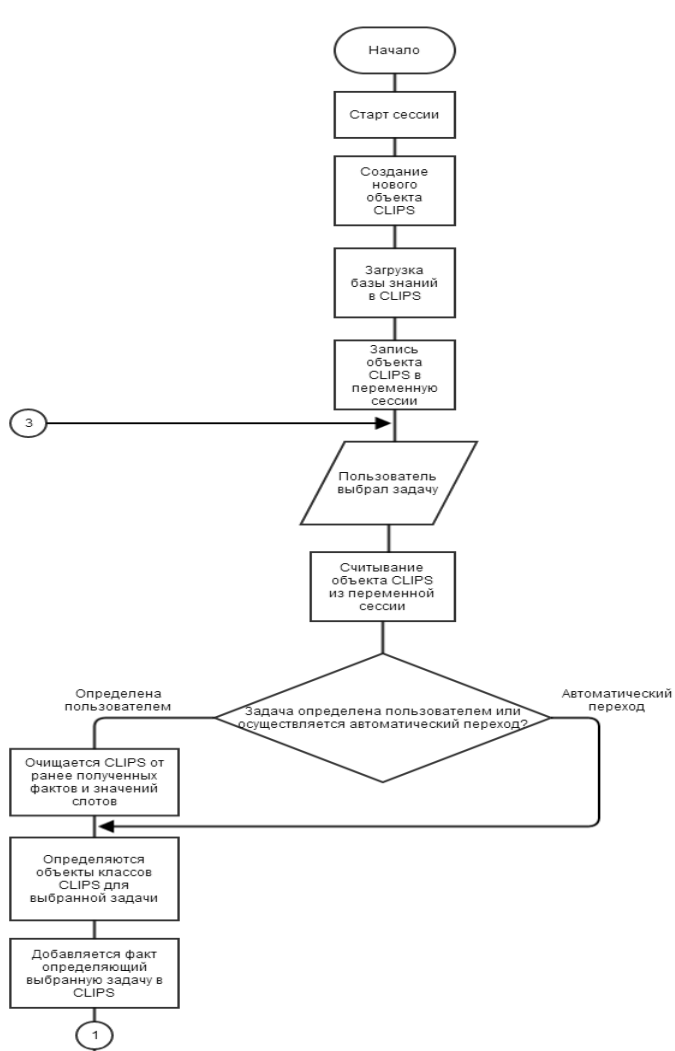


Рис. 1. Алгоритм функционирования (часть 1)

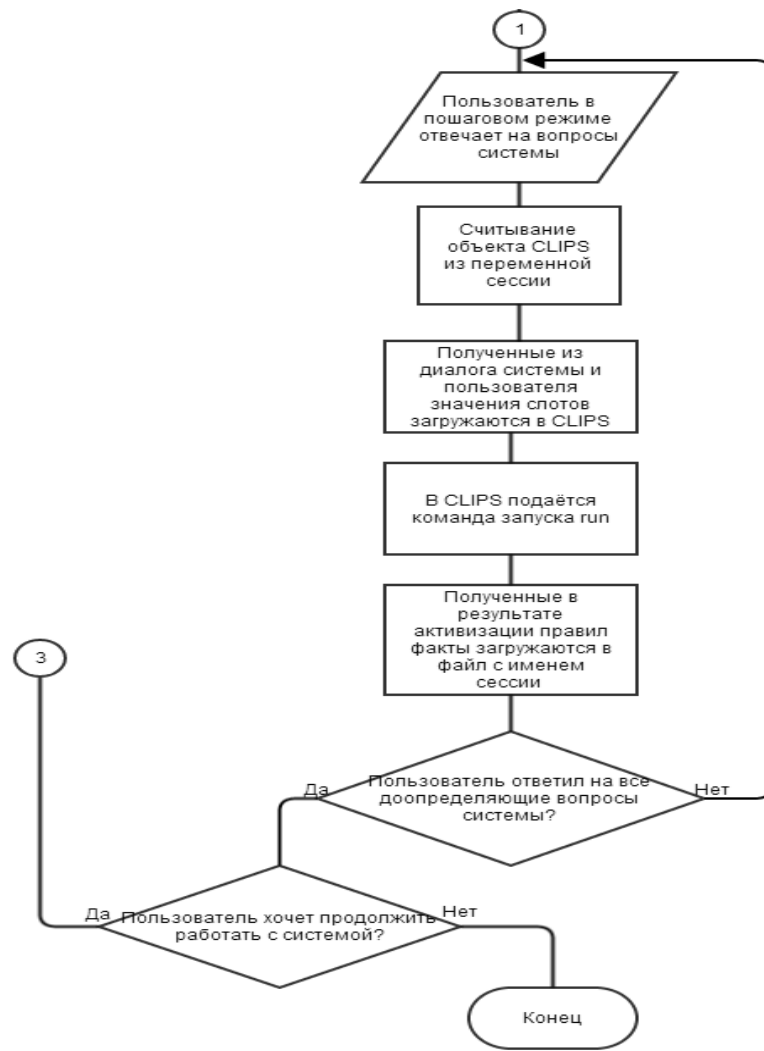


Рис. 2. Алгоритм функционирования (часть 2)

Весь алгоритм можно разделить на две части: инициализация и работа экспертной системы.

**Инициализация:**

1. При старте пользовательской сессии создаётся новый объект /экземпляр среды CLIPS:

**Пример:**

```
Environment clp=new Environment();
```

Таким образом, каждый пользователь работает в своём экземпляре программы.

2. Далее происходит загрузка базы знаний экспертной системы. Эту задачу можно решить двумя способами с помощью метода eval или метода load. В первом случае параметром будет являться команда CLIPS, а во втором путь к файлу базы знаний и его название.

**Пример:**

```
clp.eval("(load \"D:/CLPISFiles/Prod.bat\")");
```

```
clp.load("D:/CLPISFiles/Prod.bat");
```

Компонент база знаний предназначен обеспечения функционирования экспертной системы, содержит правила, сформулированные экспертом / когнитологом, описание объектов предметной области, описание текущей ситуации (решаемой задачи).

Данный компонент состоит из следующих элементов:

1. Файл Class.bat – содержит классы, предназначенные для описания терминов предметной области на языке COOL. Данные классы описываются с помощью оператора *defclass*. Синтаксис оператора следующий:

```
(defclass Название класса; объявление класса  
(is-a USER); объявление класса наследника класса USER  
(role concrete); роль класса - конкретный  
(slot Название_слота (type Tun))  
...)
```

2. Файл Prod.bat - содержит описание правил предметной области на языке COOL (логики решения задачи), реализованных в виде продукций, которые описываются с помощью оператора *defrule*. Синтаксис оператора следующий:

```
(defrule Название_правила_P  
(declare (salience Приоритет)); установка приоритета правила согласно уровню  
в дереве решений  
?o_i <- (object (Имя_j_слота_i_объекта ?oi_j)); присваивание локальным  
переменным значений слотов объекта или объектов, используемых в условии
```



*(факт\_n); наличие в системе факта или фактов, генерируемых правилами, находящимися выше по ветви дерева вывода*

*(not факт\_P ); проверка отсутствия в системе факта, связанного с текущим правилом*

*(test ( условие ))*

=>

*(assert (факт\_P)); добавление в систему факта, связанного с этим правилом)*

3. Global.bat – глобальные переменные предметной области.

3. Последним шагом в инициализации является запись созданного ранее объекта CLIPS в сессию пользователя, чтобы его можно было вновь использовать в других серверных классах Java.

**Пример:**

```
mysession.setAttribute("myCLIPS", clp );
```

**Работа экспертной системы:**

1. Когда пользователь выбрал задачу, происходит считывание из пользовательской сессии ранее созданного объекта CLIPS, в котором уже содержится база знаний.

**Пример:**

```
Environment clp=(Environment) mysession.getAttribute("myCLIPS");
```

Определяются объекты классов экспертной системы для выбранной задачи. Данные объекты описываются на языке COOL с помощью оператора *make-instance*.

**Пример:**

```
clp.eval("make-instance ObjectName of ClassName");
```

Объекты предметной области необходимы для того, что бы различать два однотипных предмета в одной задаче. Например, две машины при ДТП.

2. На следующем шаге, во время диалога с пользователем происходит определение значений слотов. В языке COOL для этого используется оператор *send*.

**Пример:**

```
clp.eval("send [ObjectName] put-SlotName SlotValue");
```

Слоты можно охарактеризовать, как атрибуты присущие задаче. В ходе диалога с пользователем происходит определение данных атрибутов, а затем на их основе будет получено решение.

3. Осуществляется запуск экспертной системы, что бы на основе полученных данных получить факты/решения, которые затем сохраняются в файл с именем

идентификатора пользовательской сессии для того, что бы в дальнейшем их можно было использовать для генерации ответа.

**Пример:**

```
clp.run();  
clp.eval(("save-facts" +mysession.getId()+".clp"));
```

Операции, связанные инициализацией базы знаний должны вызываться один раз при запуске пользователем экспертной системы. Операции, связанные с работой экспертной системы происходят каждый раз, когда была запущена новая задача в ходе диалога с системой.

Вышеописанный способ позволяет строить структуру пользовательского веб-интерфейса так, что она состоит из визуального представления в виде html странички, в которую с помощью технологии AJAX добавляются необходимые данные, полученные от серверных классов Java напрямую не взаимодействующих между собой.

На рисунке 3 изображена структура взаимодействия серверных классов Java с библиотекой CLIPSJNI (сплошная линия) и между собой (пунктирная линия).

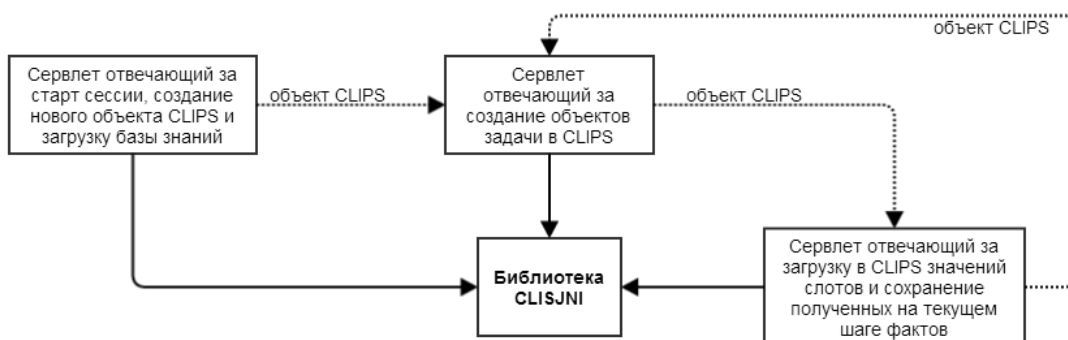


Рис. 3. Структура использования библиотеки CLIPSJNI

Стрелка на пунктирной линии определяет последовательность использования программной среды CLIPS в сервлетах. Для доступа к объекту среды используются методы работы с пользовательскими сессиями языка программирования Java.

**Заключение.**

В данной статье было показано, каким образом можно создавать многопользовательские экспертные системы на базе оболочки CLIPS, применяя библиотеку CLIPSJNI.

**Список литературы**

1. CLIPS Related Web Locations // sourceforge.net URL: <http://clipsrules.sourceforge.net/OtherWeb.html> (дата обращения: 08.04.2015).

2. CLIPS.NET // CodePlex URL: <http://clips.codeplex.com/> (дата обращения: 08.04.2015).
3. CLIPS for Android // github.com URL: <https://github.com/gomezgoiri/CLIPS4Android> (дата обращения: 08.04.2015).
4. A port and expansion of ISA-CLIPS to Android // github.com URL: <https://github.com/gomezgoiri/CLIPS4Android> (дата обращения: 08.04.2015).
5. CLIPS Rule Based Programming Language // <http://sourceforge.net> URL: <http://sourceforge.net/p/clipsrules/news/2015/03/clips-java-native-interface-beta-v03/> (дата обращения: 08.04.2015).
6. CLIPSCGI Version 0.1 Beta // <http://clipsrules.sourceforge.net/CLIPSCGIBeta.html> (дата обращения: 14.05.2015).
7. CLIPSiOS Version 0.1 Beta// <http://clipsrules.sourceforge.net/CLIPSiOS.html> (дата обращения: 14.05.2015).
8. Фирулин А.М. Создание веб-интерфейса для экспертной системы / А.М. Фирулин // Проблемы и перспективы технических наук. -2015. -С. 208-212;

## **On Using the Library CLIPSJNI for Creation of the Web Interfaces for Expert Systems**

*Firulin A.M.*

Ulyanovsk State University

*Abstract.* This article describes how to use the library CLIPSJNI to create web-based expert systems in the programming language Java. In particular, the algorithm of the expert system is described and the examples of calling methods of the class of library CLIPSJNI are presented.

*Keywords:* expert system, a Web-based interface technology CLIPS, user session, a copy of the environment.

## Разработка веб-ориентированного интерфейса конечного пользователя для экспертной системы

*Фирулин А.М.*

*Аннотация.* Данная статья посвящена вопросу создания веб-интерфейса, который позволит повысить эффективность работы пользователей с экспертной системой. Здесь перечислены основные требования, предъявляемые к интерфейсам экспертных систем и способы их достижения, описан алгоритм разработанного программного средства и структура системы.

*Ключевые слова:* Экспертная система, веб-интерфейс, вопросно-ответный интерфейс, когнитолог, диалог с пользователем

### **Введение.**

Экспертные системы являются одной из первых коммерчески успешных технологий в области искусственного интеллекта, которая до сих пор активно используется на практике.

В современности разработка и использование экспертных систем актуальны. Они находят применение в **космической сфере**: NASA использует ЭС для управления режимом работы 16 маневровых двигателей космического корабля многоразового использования [7]; **энергетике**: UnionGasLtd. (Ontario), одна из крупнейших в Северной Америке по транспортировке, хранению и распределению природного газа, использует ЭС для управления четырьмя линиями системы передачи газа общей длиной около 800 миль [7]; **телекоммуникациях**: международная организация INTELSAT, являющаяся крупнейшей в мире в области телекоммуникации, использует две ЭС для управления и диагностики состояния 19 спутников связи; **химической промышленности**: DowChemical, американская химическая компания, вторая в мире по объёму продаж после BASF, использует комплексную экспертную систему для всех участков производства[6]; **банковской сфере**: банк AmericanExpress сократил свои ежегодные потери на \$27 000 000 в год за счет ЭС, которая определяет целесообразность выдачи или отказа в кредите той или иной фирме [7]; **армии**: ЭС входит в состав североамериканской системы раннего предупреждения о воздушном нападении NORAD[7] и многих других областях человеческой деятельности.

Также подтверждением актуальности создания экспертных систем могут служить множество научных статей [3,11,8,5,4].

Современность требует от программного обеспечения общедоступности/мобильности, простоты обращения и обслуживания, а также, по причине наличия широкого спектра используемых потребителем операционных систем и различных гаджетов, кроссплатформенности. Современная экспертная система также должна удовлетворять перечисленным требованиям.

Цель статьи повысить эффективность работы конечного пользователя с экспертной системой, а именно создать общедоступный/мобильный, кроссплатформенный пользовательский интерфейс.

Данная тема является довольно новой, т.к. при построении ЭС основной акцент в реализации делается на базу знаний и машину вывода, мало где рассматривается построение пользовательского интерфейса с учетом постоянно изменяющихся требований к интерфейсам информационных систем, появлением новых аппаратно-программных платформ для различных устройств (КПК, смартфоны, планшетные компьютеры).

### **Интерфейсы экспертных систем**

Особенностью интерфейсов экспертных систем является то, что взаимодействие с пользователем происходит приближенно к реальному общению, человек ведёт диалог с системой, отвечая на её вопросы. Иногда данный диалог сопровождается использованием, каких либо графических образов. В идеале пользователь и экспертная система должны обмениваться информацией на естественном языке.

Существуют и такие экспертные системы, которые самостоятельно собирают необходимые для поиска решения данные, например для этого могут использоваться различные датчики, а пользователю предоставляют лишь готовый ответ, например таковыми являются системы FALKON[1] и PSD[2] (PortableDiagnosticSystem).

В таблице [

Таблица 1] приведены общие требования и способы их достижения в разных реализациях экспертных систем.

Таблица 1. Общие требования к интерфейсам экспертных систем[9]

<b>Требование</b>	<b>Способы удовлетворения</b>
1)Обработка входных данных, полученных в ручном режиме или от прочих устройств (например,	<b>Ручной ввод:</b> 1)Организация текстовых полей ввода данных в интерфейсе 2)Организация меню для выбора задач, а также возможность формирования наборов входных данных из заранее определённых в интерфейсе компонентов 3)Использование в интерфейсе графических примитивов и

<p>датчиков) в автоматическом режиме формирование ответа</p>	<p>в различных цветовых ассоциаций для определения набора входных параметров</p> <p><b>Автоматический ввод:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1)Использование датчиков, фото и видео камер, сканеров, микрофонов для получения входных данных</li> <li>2)Получение данных в автоматическом режиме из баз данных и им подобных источников</li> <li>3)Реакция на работу аппаратных или программных средств</li> </ol> <p><b>Вывод данных:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1)Вывод ответа на монитор: <ol style="list-style-type: none"> <li>1.1)в текстовом и/или графическом (схемы, графики) виде</li> <li>1.2) в виде набора гиперссылок на различный контент</li> </ol> </li> <li>2)Вывод ответа в файл определённого формата</li> </ol>
<p>2)Поддержка диалога между пользователем и системой</p>	<p><b>Ввод параметров:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) Интерфейс реализуется так, что бы каждая последующая выдаваемая пользователю форма ввода данных зависела от того, как он заполнил предыдущую форму (в зависимости от промежуточных решений), до тех пор, пока не будет получен конечный ответ.</li> <li>2) Интерфейс реализуется так, что для поставленной задачи одновременно выдаются все необходимые формы ввода для пользователя, на основе которых будет найден конечный ответ</li> </ol> <p><b>Вывод ответа:</b> Консультация должна завершаться ясным утверждением, выдаваемым системой, и объяснением последовательности вывода, приведшей к этому утверждению.</p>
<p>3)Распознавание ситуации непонимания между пользователем и системой</p>	<p><b>Постановка задачи и вывод решения:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) Если вопрос к системе задан в неверной форме, интерфейс должен генерировать соответствующее сообщение об ошибке.</li> <li>2) В интерфейсе может быть реализовано специальное меню со всевозможными задачами, которые могут быть поставлены перед экспертной системой. Такой подход автоматически исключает возможность неправильной постановки вопроса.</li> <li>3) Если вопрос и все параметры, соответствующие ему, были указаны верно, но решение не может быть получено, то должна</li> </ol>

	<p>быть реализована генерация сообщения об отсутствии решения.</p> <p><b>Определение параметров задачи:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) Если пользователь не правильно ввёл данные, то интерфейс должен генерировать соответствующее сообщение.</li> <li>2) Проверка на удовлетворение входных данных необходимому формату проводится при их вводе.</li> </ol> <p><b>Ожидание ответа от системы:</b> Если между командой на поиск решением и выдачей этого решения проходит много времени (несколько секунд), то в интерфейс должен предупреждать пользователя об этом.</p>
<p>4)Обеспечение "дружественности" по отношению к пользователю.</p>	<p>Помимо выполнения требований 2 и 3 «дружественный» интерфейс должен также:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) Иметь интуитивно понятное меню</li> <li>2) Обеспечивать различные подсказки для пользователя. Например, сообщать о следующем необходимом действии, выдавать комментарии о назначении кнопок, пунктов меню, выделять неверно введенные данные и т.д.</li> <li>3) Иметь не сложную структуру, в которой легко разобраться</li> <li>4) Иметь возможность вызова справки</li> <li>5) Иметь возможность сохранения результатов и т.д.</li> </ol>

Разработанный интерфейс может быть использован в различных предметных областях и при необходимости дополнен модулями специфичными для конкретных задач, например возможностью построения графиков или использованием дополнительных не реализованных на данный момент источников информации.

Интерфейс должен взаимодействовать с другими модулями экспертной системы, которые могут иметь разную реализацию, поэтому в результате анализа различных инструментов для построения экспертных систем было решено, что он будет разработан для оболочки экспертных систем «Когнитолог».

**«Когнитолог»** — это комплекс информационных средств для разработки интеллектуальных систем, использующих базы знаний, с вопросно-ответным интерфейсом и ведения баз знаний в области поддержки принятия решений.

#### **Алгоритм функционирования интерфейса пользователя ЭС**

Согласно разработанному алгоритму после того, как пользователь выберет задачу из списка ему необходимо ответить на доопределяющие вопросы (именно так происходит диалог системы с пользователем), на основании которых будет получено решение.

Особенность в том, что диалог происходит в пошаговом режиме и последующие доопределяющие вопросы зависят от ответов на предыдущие. На каждом шаге пользователь получает промежуточные ответы.

Ответы выдаются в виде ссылок на более подробное их описание, к которому также прилагается дополнительный контент (аудио, видео, изображения, документы и т.п.).

Ещё одной особенностью является то, что пользователь может дать оценку полученным решениям и оставить комментарий. Так когнитолог будет максимально учитывать потребности пользователей и оперативно реагировать на изменяющиеся требования решаемой задачи.

Всю служебную информацию (меню, диалоги, подзадачи) интерфейс получает из базы данных программного комплекса.

Особенность в том, что диалог происходит в пошаговом режиме и последующие доопределяющие вопросы зависят от ответов на предыдущие. На каждом шаге пользователь получает промежуточные ответы.

Ответы выдаются в виде ссылок на более подробное их описание, к которому также прилагается дополнительный контент (аудио, видео, изображения, документы и т.п.).

Ещё одной особенностью является то, что пользователь может дать оценку полученным решениям и оставить комментарий. Так когнитолог будет максимально учитывать потребности пользователей и оперативно реагировать на изменяющиеся требования решаемой задачи.

Всю служебную информацию (меню, диалоги, подзадачи) интерфейс получает из базы данных программного комплекса «Когнитолог».

На рисунке 1. представлена схема алгоритма функционирования экспертной системы.



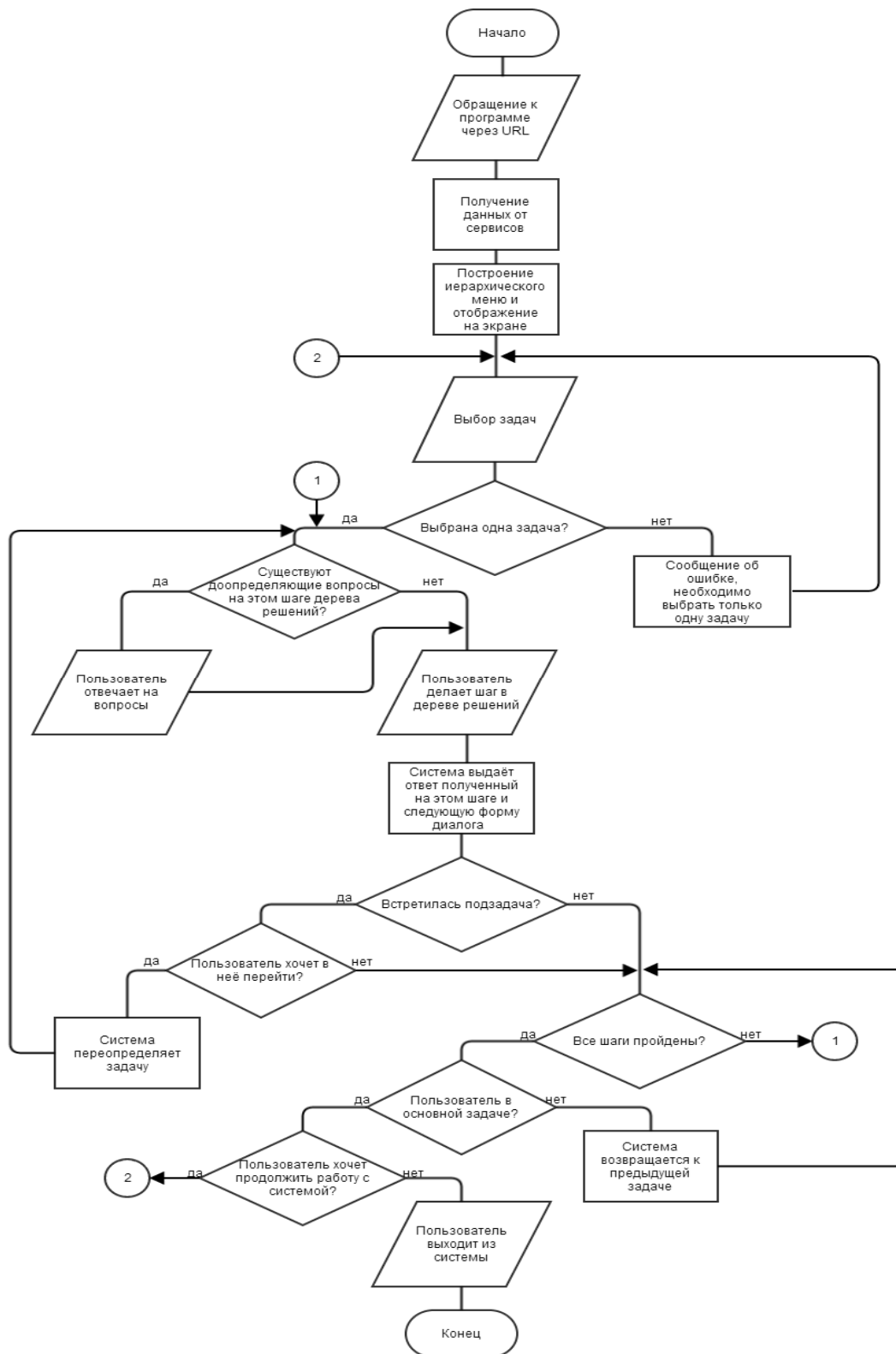


Рис. 4. Схема функционирования экспертной системы: главная страниц.

Чтобы лучше понять алгоритм функционирования рассмотрим структуру разрабатываемого интерфейса экспертной системы.

На рисунке 2. изображён прототип главной страницы экспертной системы.

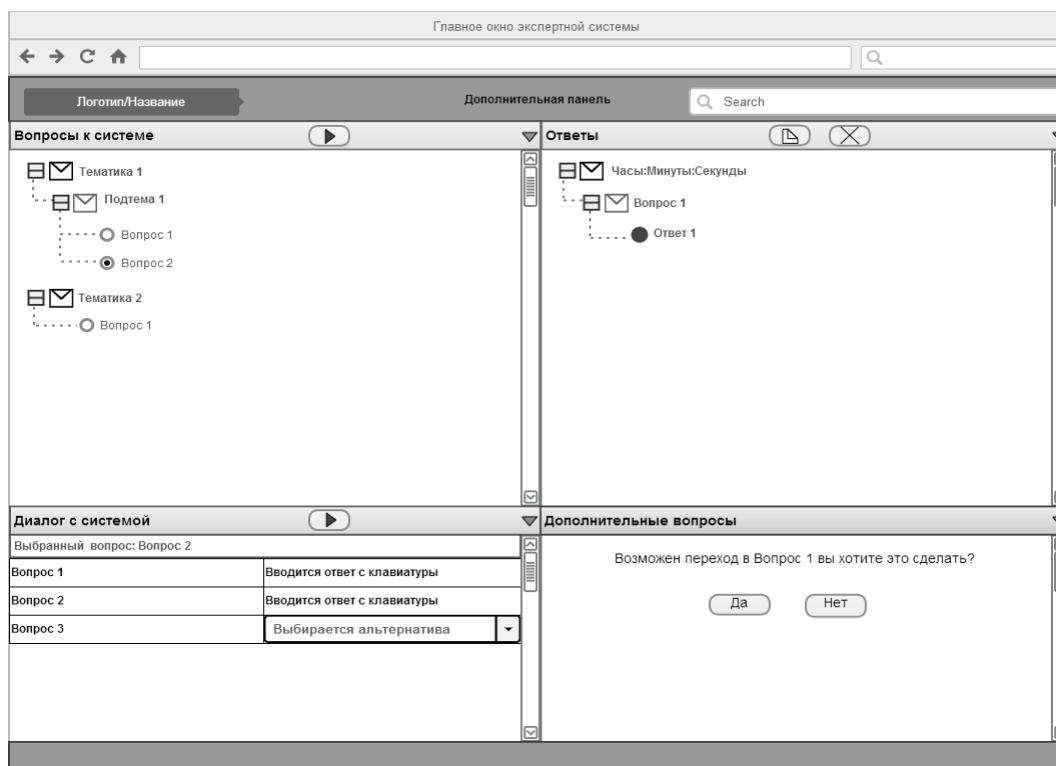


Рис. 5. Описание структуры пользовательского интерфейса (главная страница экспертной системы)

По рисунку видно, что весь интерфейс будет состоять из пяти основных частей: верхняя/дополнительная панель и четыре рабочие области.

**Верхняя/дополнительная панель** не является обязательным компонентом. Она предназначена для размещения логотипов, заголовков, а также элементов (строка поиска, дополнительное меню, реклама), не предусмотренных для реализации в данной работе.

**Рабочая область «Вопросы к системе»** предназначена для вывода меню экспертной системы, в котором содержатся все возможные задачи, заложенные в её базе знаний. Данное меню представляет собой древовидный список, где все вопросы отсортированы по категориям/тематикам.

**Рабочая область «Диалог с системой»** предназначена для того, что бы пользователь мог вести диалог с экспертной системой и соответственно, получать именно тот ответ на поставленный вопрос, который нужен именно ему.

В данную область выводится список вопросов системы к пользователю. Он может выбрать ответ из предложенных, или же ввести самостоятельно в специальное текстовое поле с клавиатуры.

**Рабочая область «Дополнительные вопросы»** необходима для того, чтобы пользователь мог включить в запрос к системе дополнительные подзадачи.

**Рабочая область «Ответы»** предназначена для вывода ответов. Ответы представлены в виде древовидного иерархического списка, где высшую позицию занимает обозначение точного времени получения результата, вторую позицию занимает вопрос, к которому принадлежит данный результат, а последнюю позицию занимает сам ответ или несколько ответов.

На рисунке 3 изображён прототип страницы описания решения. Данная страница открывается при клике на ссылку, являющуюся одним из ответов на запрос к экспертной системе и находящейся в рабочей области «Ответы», которая уже была описана ранее.

Данная страница состоит из трёх основных элементов: верхняя панель двух рабочих областей.

**Верхняя панель** служит для вывода двух сообщений. Первое обозначает вопрос, решение которого и содержит данная страница, второе обозначает степень уверенности эксперта в данном решении.

Степень уверенности необходима при наличии нескольких вариантов ответа для одного вопроса. Чем выше данный показатель, тем большим приоритетом обладает данный ответ.

**Рабочая область «Решение»** предназначена для вывода текста с описанием решения, а также для вывода дополнительного контента, доступ к которому осуществляется из «специального меню».

**Рабочая область «Дополнительный контент»** содержит в себе меню «аккордеон», которое обеспечивает доступ к дополнительному контенту, прилагаемому к решению задачи.

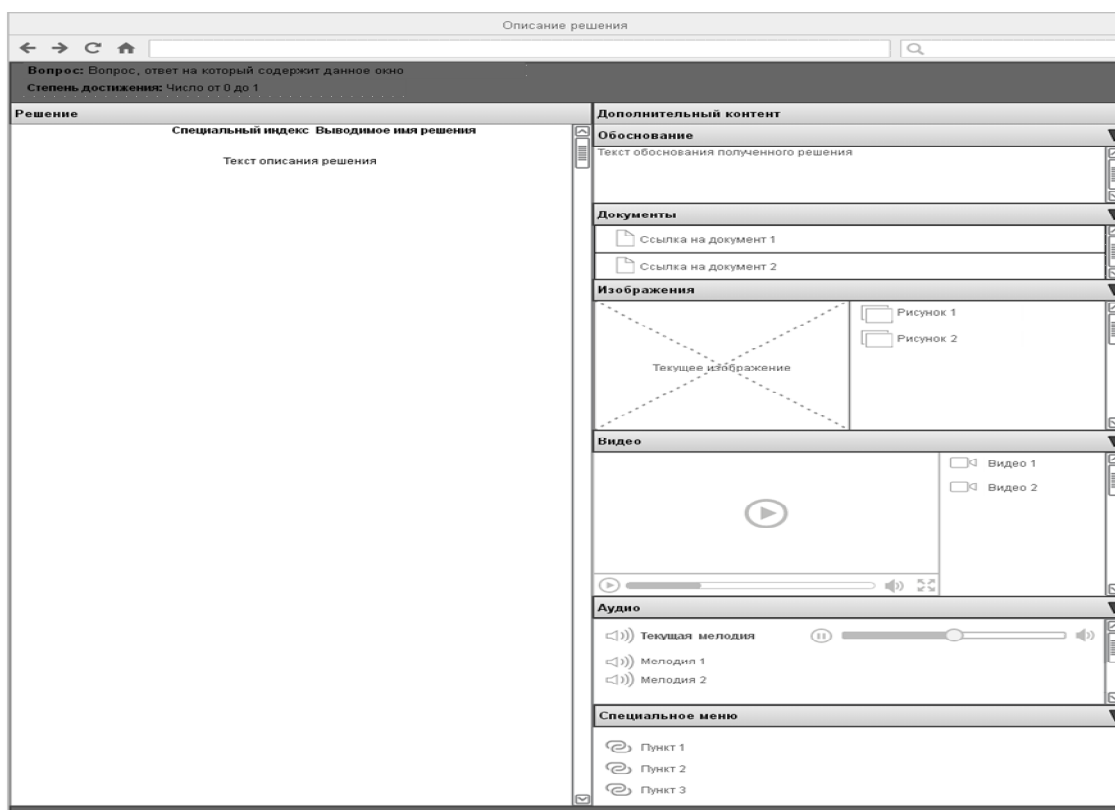


Рис. 6. Окно описание результата

## Описание структуры баз данных

«Информационная база комплекса ведения сценариев типовых задач процесса принятия решений на базе экспертной оболочки Clips» предназначен для хранения информации о базе знаний для экспертной системы и дополнительной информации, позволяющей ведение базы знаний на приближенном к естественному языку, и служебных данных, необходимых для функционирования компонентов «Интерфейс когнитолога» и «Экспертная система» комплекса.

В интерфейсе используются следующие таблицы:

1. таблица «Термины» (Termin) содержит описание терминов предметной области;
2. таблица «Категории» (Categ) содержит информацию о категориях функций-целей;
3. таблица «Альтернативы» (Alter) содержит данные об альтернативах решения функций-целей;
4. таблица «Классы» (Class) содержит описание классов базы знаний;
5. таблица «Слоты» (Slot) содержит описание слотов классов базы знаний;
6. таблица «Значения слотов» (Value) содержит описание возможных

значений слотов классов;

7. таблица «Задачи» (Fun) содержит данные о задачах;

8. таблица «Условия» (Left) содержит данные об условиях выполнения альтернатив;

9. таблица «Вопросы» (Question) содержит данные об уточняющих вопросах к пользователю;

10. таблица «Документ» (Document) содержит данные о путях к документам доступным из экспертной системы

11. таблица «Связь» (alter\_and\_doc) предназначена для привязки документов к альтернативам

12. таблица «Тип документа» (Doc\_Type) содержит список различных типов документов.

13. таблица «Уровень условий» (LayersOfArrows) является вспомогательной и содержит данные о путях решения задач по шагам.

На рисунке 4 представлена логическая схема базы данных.

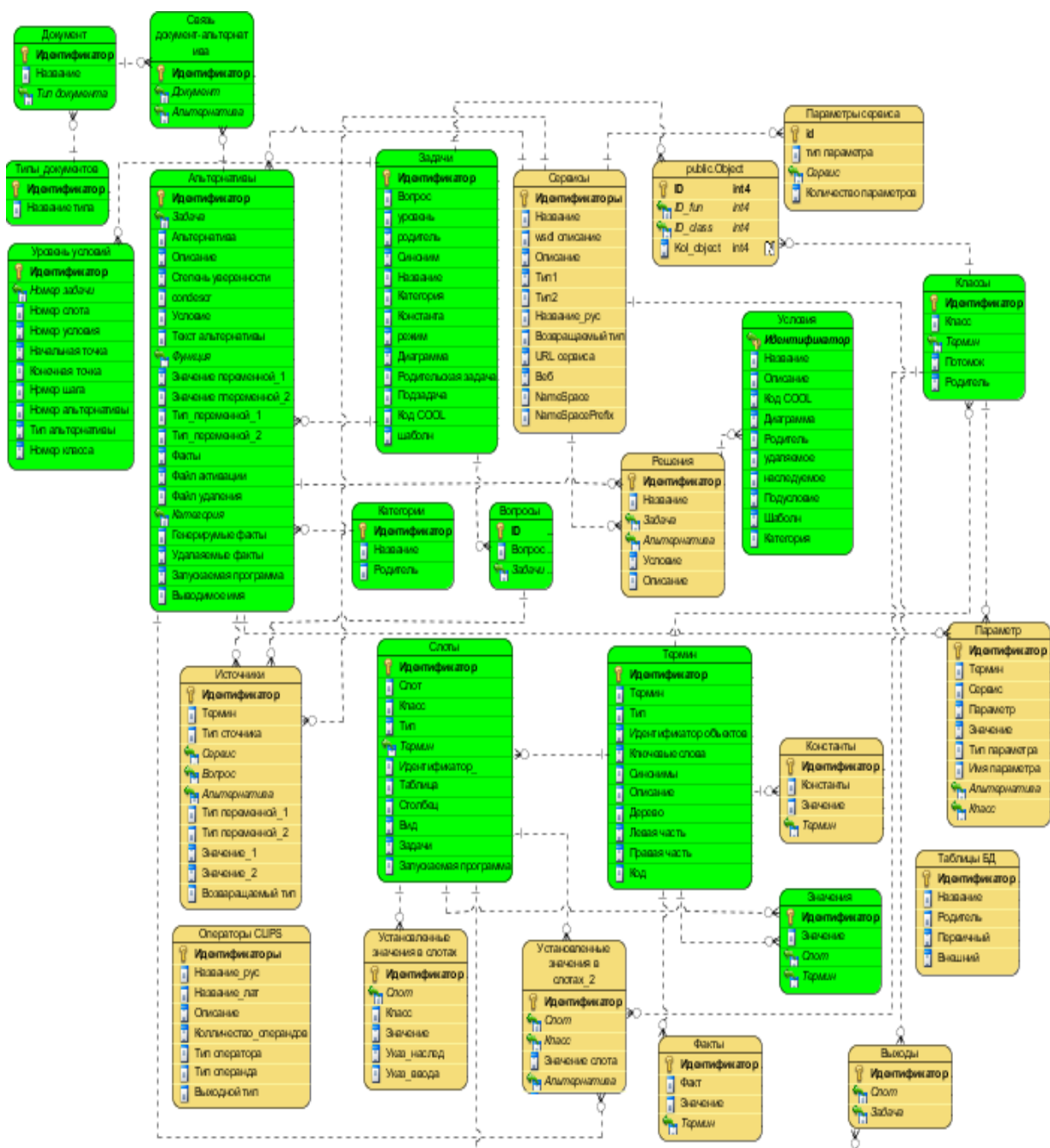


Рис. 7. Логическая схема таблиц баз данных

### Структура программного комплекса «Когнитолог»

С учетом разработанного интерфейса программный комплекс состоит из следующих элементов (Рис. 5):

- 1) Интерфейс когнитолога предназначен для формирования базы знаний экспертной системы.
- 2) Интерфейс оператора в обновлённой версии речь, о которой и идёт в данной статье, размещается на веб-сервере и предоставляется пользователю через браузер по протоколу http. На этом же сервере размещается база знаний экспертной системы.

3) Сервер приложений предназначен для размещения веб-сервисов позволяющих интерфейсу оператора взаимодействовать с базой данных экспертной системы.

4) СУБД предназначена для хранения всех возможных данных и элементов использующихся в интерфейсах когнитолога и оператора.

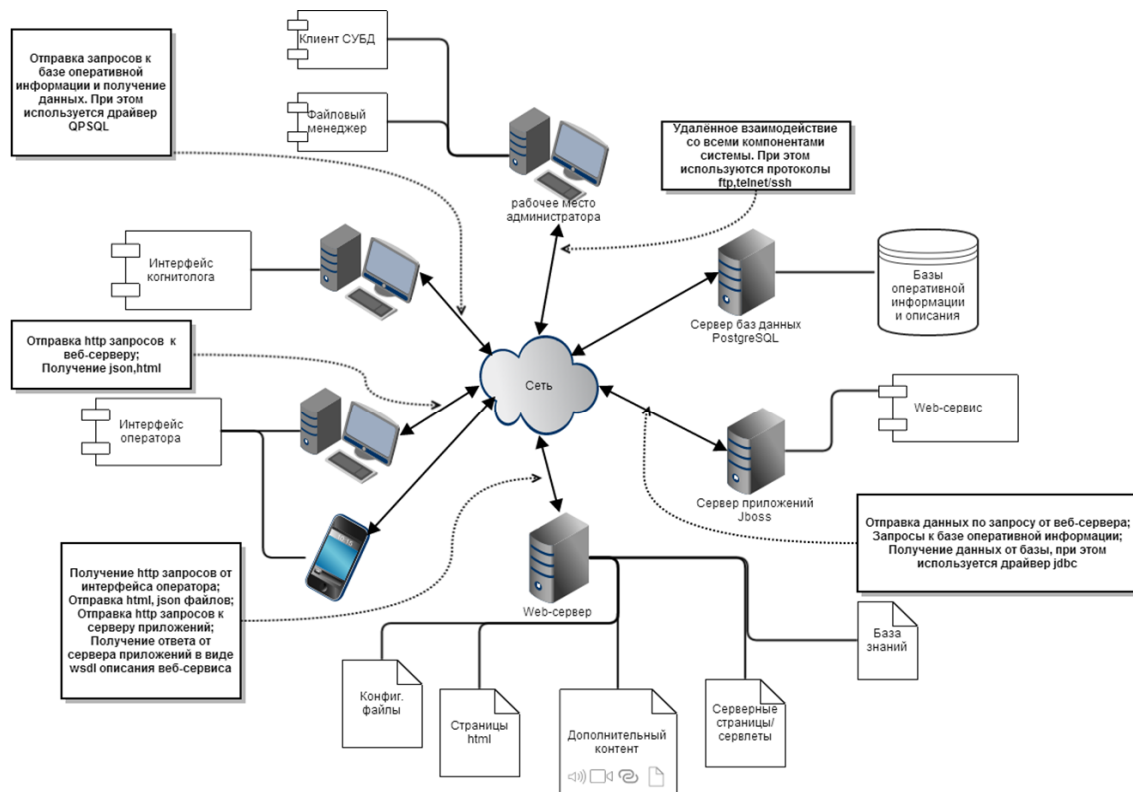


Рис. 8. Структура программного комплекса "Когнитолог"

## Вывод

Цель данной работы была достигнута, создан проект интерфейса оператора экспертной системы, который:

- 1) был реализован в виде веб-приложения и доступен через браузер;
- 2) позволяет отображать информацию мультимедийного характера;
- 3) позволяет осуществить доступ к сопровождающим ответ;
- 4) работает под управлением не только ОС Windows и Linux, а также и под ОС Android, IOS, WindowsPhone, Mac OS , одним словом везде, где есть браузер;
- 5) не требует инсталляции и настройки для конечного пользователя, достаточно лишь перейти по ссылке.

Планируется дальнейшее развитие интерфейса, в частности в планах на реализацию:

- 1) обеспечение возможности обратной связи с пользователем;
- 2) реализация возможности регистрации пользователей и получение дополнительных параметров из их личного профиля;
- 3) расширение функционала при оценке полученных решений для пользователей, имеющих статус эксперта.

### Список литературы

- 1 Chester, D., Lamb, D., and Dhurjati, P. Rule-based computer alarm analysis in chemical process plants. Proceedings of the Seventh Annual Conference on Computer Technology, MICRO-DELCON 84, IEEE, pp. 22—29, March 1984.
- 2 Fox, M. S. Techniques for sensor-based diagnosis. Proceedings IJCAI-83, pp. 158—163, 1983.
- 3 Васильев О.М. Представление и обнаружение знаний в экспертных системах для задач распознавания образов / О.М. Васильев, Д.П. Ветров, Д.А. Кропотов // Журнал вычислительной математики и математической физики. – 2008. - №8. – С. 1428-1454;
- 4 Гаглюев Э.П. Актуальность экспертных систем и их значение / Э.П. Гаглюев // Естественные и технические науки.-2011. – С. 596-599
- 5 Гончарова С.Г. Экспертная система для поддержки принятия решений при проектировании систем управления / С.Г. Гончарова, И.Ф. Месягутов, Г.Н. Ахметшина // Автоматизированный технологии и производства. – 2014. -№6 – С. 58-62
- 6 Завод без внештатных ситуаций // press-release.ru URL: <http://www.press-release.ru/branches/hitech/4ad6df0e71973/?print=yes> (дата обращения: 09.03.2015 21:15).
- 7 Интеллектуальные системы в сфере государственного управления // Международный журнал Программные продукты и системы URL: <http://www.swsys.ru/index.php?page=article&id=1078> (дата обращения: 09.03.2015 21:26).
- 8 Костина Н.В. Экспертная система REGION для оценки изменений состояния социо-эколого-экономических систем волжского бассейна / Н.В. Костина // Поволжский экологический журнал. – 2014. -№1. – С. 110-114;
- 9 Написание экспертной системы на языке Turbo-Prolog // tarefer.ru URL: <http://works.tarefer.ru/69/100142/index.html> (дата обращения: 9.11.2014).
- 10 Оболочки экспертных систем // tpl-it URL: <http://tpl-it.wikispaces.com/Оболочки+экспертных+систем> (дата обращения: 29.10.2014).
- 11 Солод С.А. Применение экспертных систем в системе управления охраной труда на предприятии / С.А. Солод // Чрезвычайные ситуации: промышленная и экологическая безопасность. – 2014. -№2. – С. 87-94;



12 Среда программирования // tpl-it URL: [tpl-it.wikispaces.com/Среда+программирования](http://tpl-it.wikispaces.com/Среда+программирования) (дата обращения: 29.10.2014).

13 Языки создания Экспертных систем // tpl-it URL: <http://tpl-it.wikispaces.com/Языки+создания+Экспертных+систем> (дата обращения: 29.10.2014).

## **Developing a Web-based end-user interface for expert system**

*Firulin A.M.*

Ulyanovsk State University

*Abstract.* This article is devoted to the creation of a web-based interface that allows users to increase the efficiency of the expert system. The basic requirements for interfaces of the expert systems and the means of achieving them are listed, the algorithm of developed software tools and system structure are described.

*Keywords:* expert system, a Web-based interface, question-answer interface, cognitive science, dialogue with the user.

## Система оценки стиля программирования

*Чичев А.А., Новиков А.М., Чекал Е.Г.*

*Ульяновский государственный университет*

*Аннотация.* В статье приводится описание разработанной в УлГУ кросс-платформенной системы оценки стиля программирования для языка программирования С, которая реализует оригинальные методики оценки стиля программирования и интегрирована с системой управления версиями Git и СУБД MySQL.

*Ключевые слова:* программирование, стиль программы, качество программы, читабельность, обучение программированию, управление проектами, групповая разработка.

Развитие методов и инструментов анализа программ в настоящее время является одним из перспективных направлений, решающих проблему повышения качества программного обеспечения (ПО).

В наиболее известных моделях качества ПО [2], таких как: ГОСТ Р ИСО/МЭК 9126-93 [3], Бозма, МакКола, FURPS/FURPS+, Гецци и др. - определяются показатели и примитивы качества ПО. К ним относятся:

- функциональные возможности (примитивы: пригодность, правильность, способность к взаимодействию, согласованность, защищенность);
- надежность (примитивы: стабильность, устойчивость к ошибке, восстанавливаемость);
- практичность (примитивы: понятность, обучаемость, простота использования);
- эффективность (примитивы: характер изменения во времени, характер изменения ресурсов);
- сопровождаемость (примитивы: анализируемость, изменяемость, устойчивость, тестируемость);
- мобильность (примитивы: адаптируемость, простота внедрения, соответствие, взаимозаменяемость).

Для оценки показателей качества ПО применяются различные методы статического и динамического анализа программ [1].

Одной из важных, ввиду коллективности разработки и длительности жизни ИТ-проектов, характеристик качества ПО является стиль программирования, под которым понимается набор правил и соглашений, используемых при написании исходного кода на

некотором языке программирования. Стиль программирования непосредственно влияет на практичность и сопровождаемость, и опосредованно на остальные показатели качества ПО.

Необходимость разработки автоматизированных средств оценки стиля программирования вызвана высокой трудоемкостью процесса оценки, целесообразностью постоянного индивидуального мониторинга качества стиля программирования разработчиков. Несомненно, использование таких инструментальных средств в учебном процессе повысит эффективность обучения программированию.

В настоящее время существуют системы оценки качества программного обеспечения как свободно распространяемые, так и коммерческие (например для языков C/C++ - это Cppcheck, Vera++, C and C++ Code Counter (CCCC), CodeSonar, PVS-Studio и др.). Указанные средства предназначены для нахождения ошибок в программном коде профессиональных программистов и проверке соответствия форматирования кода определенным стандартам. В меньшей степени в статических анализаторах уделено внимание расчету оценок показателей качества (метрик) программного кода.

В системах обучения программированию (например, «Автоматизированная система обучения программированию» кафедры АСОИУ КНИТУ-КАИ им. А.Н.Туполева и др.) присутствуют некоторые методики оценок стиля программирования.

Недостатками подобных инструментальных средств являются произвольность выбора метрик программного кода и невозможность длительного мониторинга качества стиля программ в течение жизненного цикла ИТ-проектов либо в процессе обучения программированию.

Для построения объективного представления о программном коде целесообразно использовать связанный набор групп метрик, которые будут отражать целостное представление о стиле программного кода, например следующие группы метрик, определяющие:

- сложность программного кода;
- связность программного кода;
- структурированность программного кода;
- объемные характеристики программного кода.

После вычисления каждой метрики в группе необходимо объединить эти показатели и получить единый результат для каждой группы.

Учитывая, что современная профессиональная разработка программного обеспечения немыслима без систем управления версиями (и поэтому в учебном процессе УлГУ студенты с ней знакомятся и используют) разработана система оценки стиля

программирования на языке C, интегрированная с системой управления версиями Git. Для обеспечения длительного мониторинга и анализа истории изменения характеристик программного кода осуществляется хранение необходимых данных в базе данных под управлением СУБД MySQL.

В набор метрик статического анализа, реализованных в системе, входят метрики оценивающие:

- сложность графо-ориентированных модулей программ (Джилба),
- сложность потока управления программы (Мак-Кейба),
- измеримые свойства алгоритмов (Холстеда),
- структурированность и читабельность исходного программного кода.

Эти метрики удовлетворяют подавляющему большинству требований, предъявляемых к показателям: общность применимости, адекватность рассматриваемому свойству, существенность оценки, состоятельность, количественное выражение, воспроизводимость измерений, малая трудоемкость вычислений, возможность автоматизации.

Оценки структурированности и читабельности исходного программного кода рассчитываются в системе следующим образом [4].

Оценка **структурированности программы** определяется как произведение меры модульности программы  $\mu$  и меры структурности кодирования программы  $\beta$  :

$$\alpha = \mu \beta.$$

Если программа имеет оценку  $\alpha \ll 1$ , то её структурированность хорошая. Если  $\alpha < 1$ , то её структурированность удовлетворительная, иначе - неудовлетворительная.

Здесь **мера модульности  $\mu$  программы** определяется как разность между 1 и суммой двух отношений, где первое есть отношение абсолютной разницы средней длины процедуры/функции  $l_{cp}$  и константы «нормальной длины процедуры» к 100, а второе представляет собой отношение длины  $l_{pr.max}$  самой большой процедуры/функции к удвоенному произведению общей длины  $l_{общ}$  программы (общему количеству исполняемых операторов в программе):

$$\mu = 1 - \left( \frac{|l_{cp} - 50|}{100} + \frac{l_{pr.max}}{2 \cdot l_{общ}} \right),$$

где  $l_{cp}$  определяется как отношение суммы длин всех процедур  $l_i$ , включая блок *main*, к количеству  $N$  всех процедур/функций, включая блок *main*:

$$l_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^N l_i}{N}$$

При отрицательных значениях  $\mu$  разбиение программы на модули неудовлетворительно.

Оценка **меры структурности кодирования программы**  $\beta$  равна частному от деления суммы координат вектора  $X$  на удвоенную норму вектора  $X$ :

$$\beta = \frac{\sum_{i=1}^L x_i}{2 * \| X \|}.$$

Вектор  $X$  представляет собой набор штрафных баллов за невыполнение  $L$  - правил структурного программирования [4].

Если  $\beta > 1$ , тогда оценка структурности кодирования неудовлетворительная.

Оценка **читабельности исходного текста программы**  $\gamma$  определяется как частное от деления суммы координат вектора  $Y$  на удвоенную норму вектора  $Y$ :

$$\gamma = \frac{\sum_{i=1}^K y_i}{2 * \| Y \|}.$$

Вектор  $Y$  представляет собой набор штрафных баллов за невыполнение  $k$  - правил читабельности [4].

Если  $\gamma \leq 1$ , то оценка читабельности исходного текста программы удовлетворительная, иначе неудовлетворительная.

**Система оценки стиля программирования** предоставляет следующие возможности:

- расчет метрик исходного программного кода;
- хранение истории результатов расчета метрик;
- вывод истории расчета метрик в виде графиков;
- просмотр программного кода и результатов расчета метрик;
- вывод замечаний по качеству программного кода;
- анализ изменения качества программного кода проекта под управлением системы управления версиями индивидуально для каждого проекта и/или разработчика.

DFD-диаграмма системы оценки стиля программного кода показана на рис. 1.

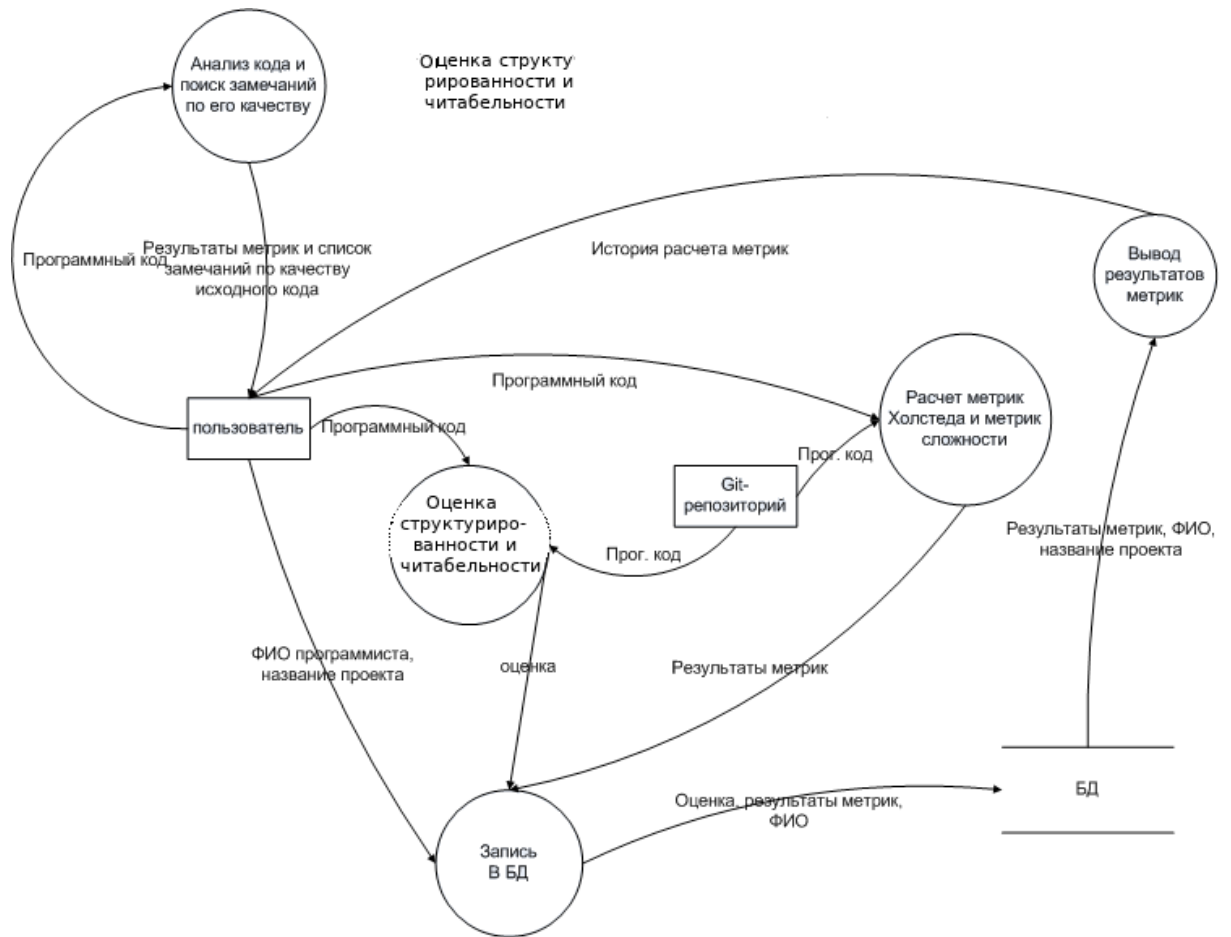


Рис.1 . DFD-диаграмма системы оценки стиля

Архитектура системы представлена на диаграмме развертывания (рис.2).



Рис.2. Архитектура системы оценки стиля программирования

Для расчета метрик указывается путь к интересующему проекту в текстовом поле в верхней части окна или выбирается каталог с проектом в диалоговом окне, которое откроется после нажатия кнопки «Открыть...». По нажатию кнопки «Оценить» система произведет расчет метрик и выведет результаты на экран (рис. 3).

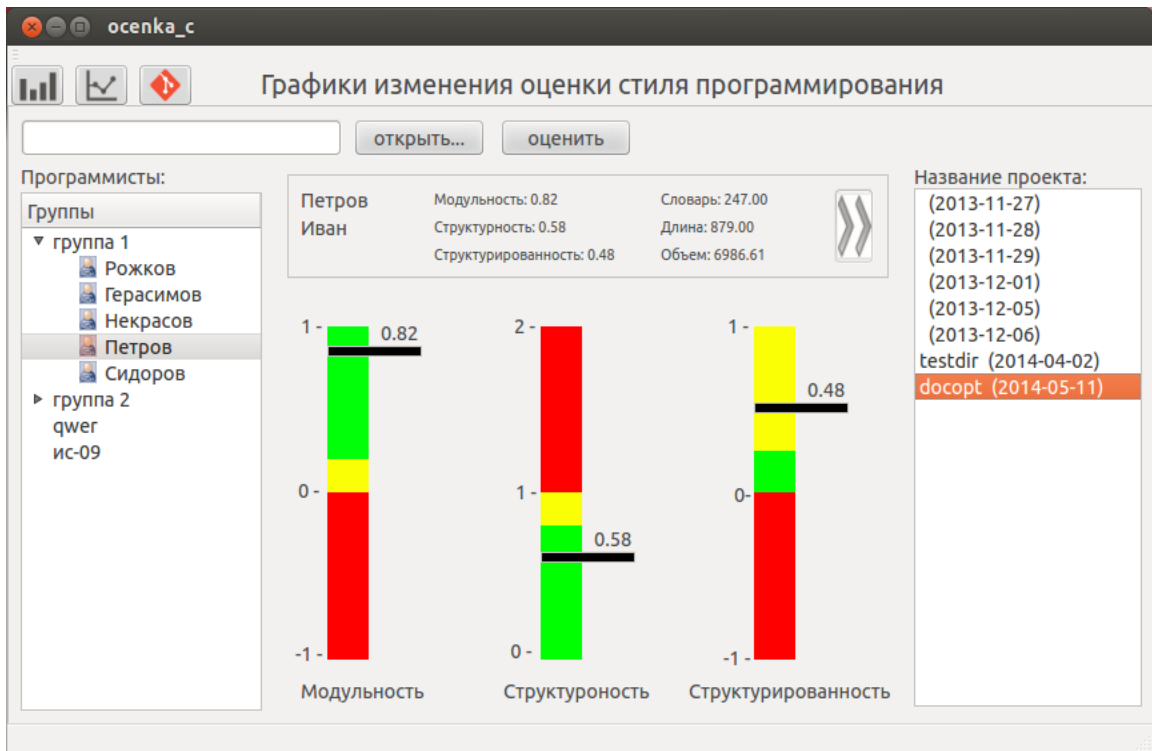



Рис.3. Показ оценок и запись результатов в БД

После расчета метрик полученные результаты сохраняются в БД. Для этого выбирается разработчик или добавляется новый. Добавление разработчика производится через контекстное меню, которое появляется после нажатия правой кнопкой мыши по одной из групп разработчиков. После выбора разработчика сохранение происходит по нажатию на кнопку .

Просматриваются сохраненные результаты метрик в виде графиков в рабочей области «Графики изменения оценок кода» (рис. 4).

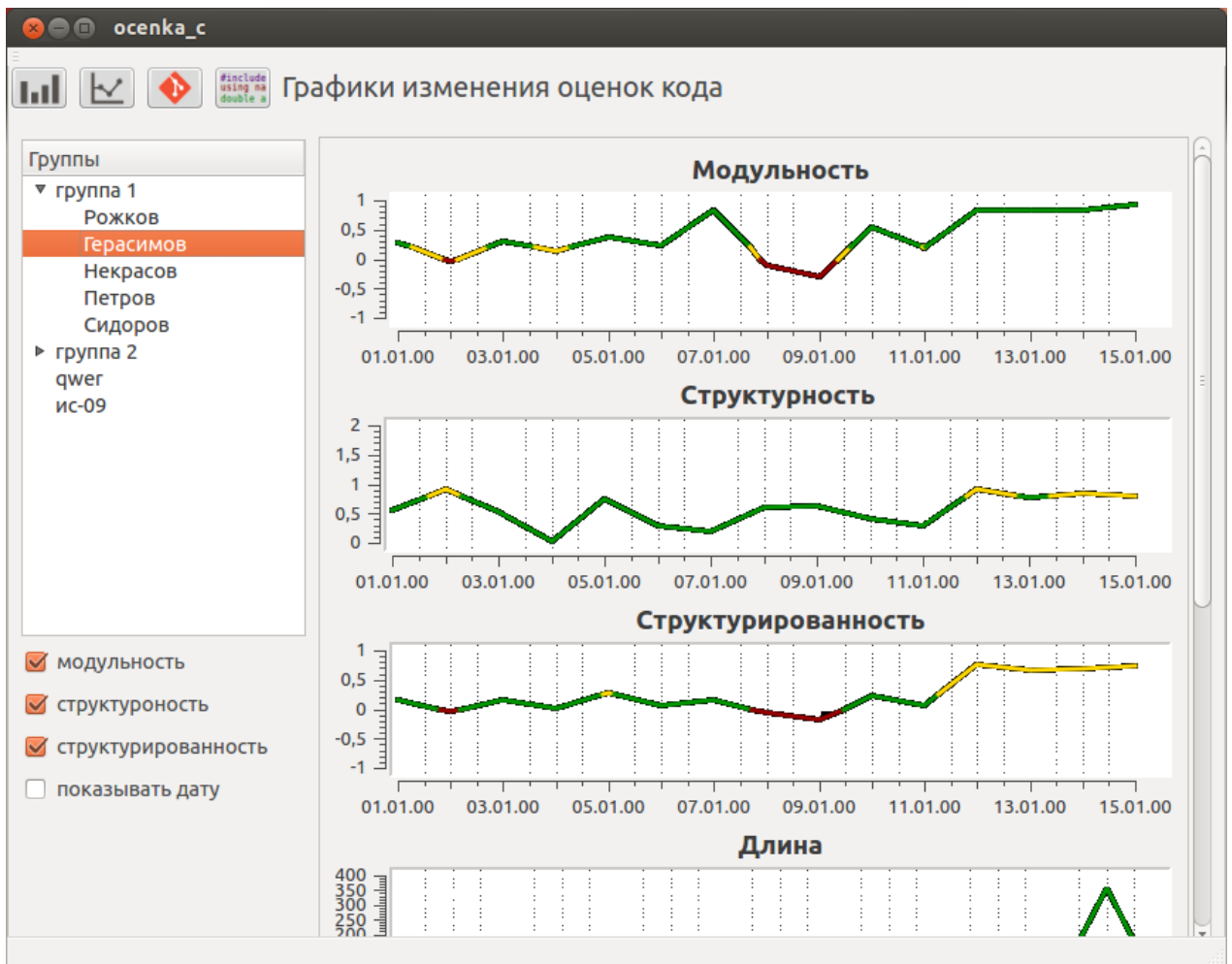



Рис.4. Просмотр результатов оценки кода

Система управления версиями хранит состояния разрабатываемого проекта в различные моменты времени. Рассчитав метрики для каждого такого состояния можно получить наглядное представление того, как изменялись характеристики программного кода на всем протяжении разработки проекта. Система предоставляет такую возможность в рабочей области «Управление версиями» (рис. 5). Для перехода в область необходимо нажать на кнопку . Далее нужно указать URL-адрес или полный путь к Git-репозиторию проекта под управлением системы управления версиями Git и нажать кнопку «Оценить». При этом будут построены графики изменения таких показателей как структурность, модульность, сложность и др.



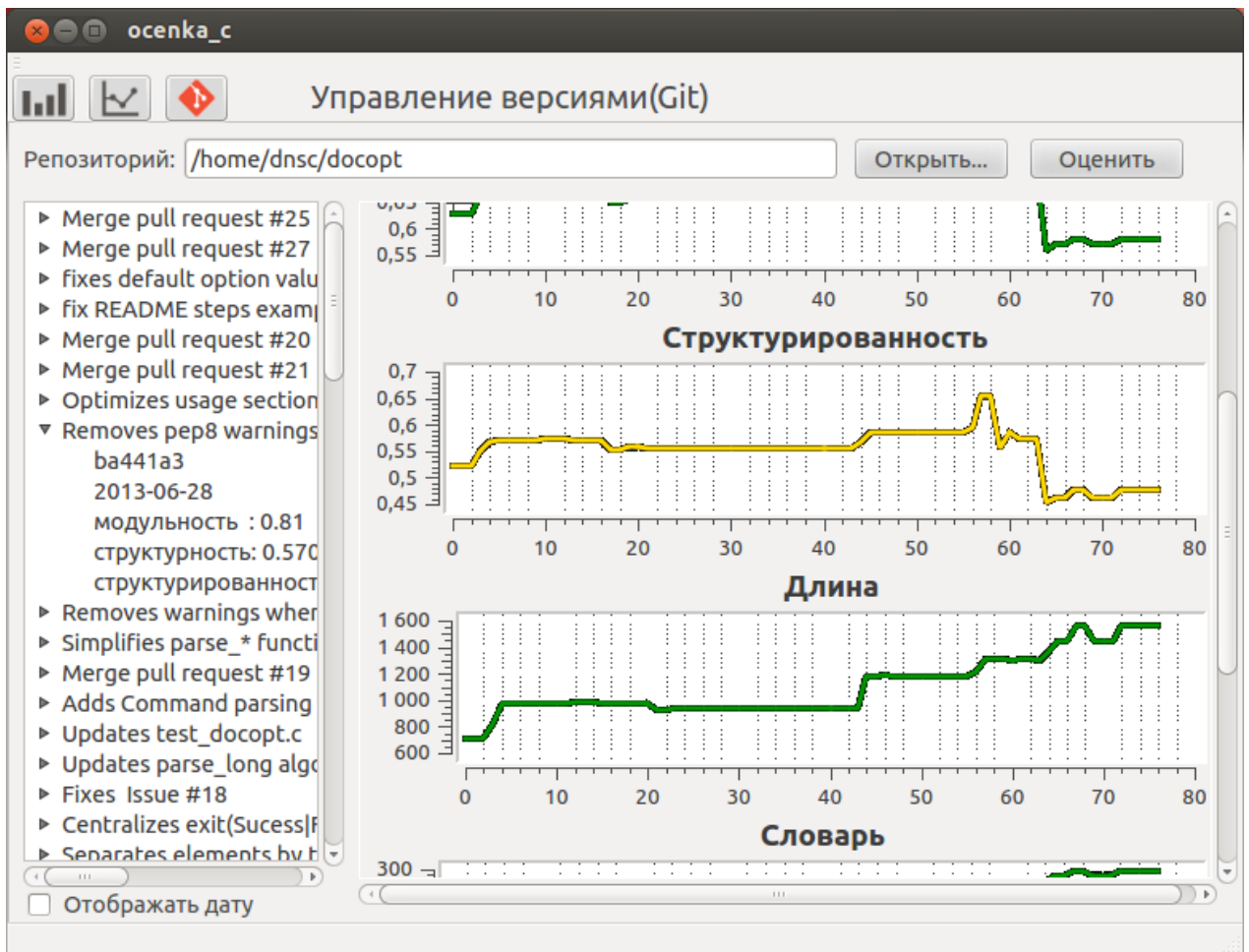




Рис. 5. Анализ проекта под управлением Git

Переход в эту область осуществляется по нажатию на кнопку . Для просмотра истории отдельного разработчика необходимо кликнуть на соответствующем имени в левой части окна.

Для просмотра программного кода, его метрик и замечаний по качеству необходимо перейти в соответствующую рабочую область нажатием на кнопку  (рис. 6). В появившемся окне после ввода пути к проекту отобразится программный код. В нижней части окна выводятся результаты расчета метрик и замечания по качеству кода.

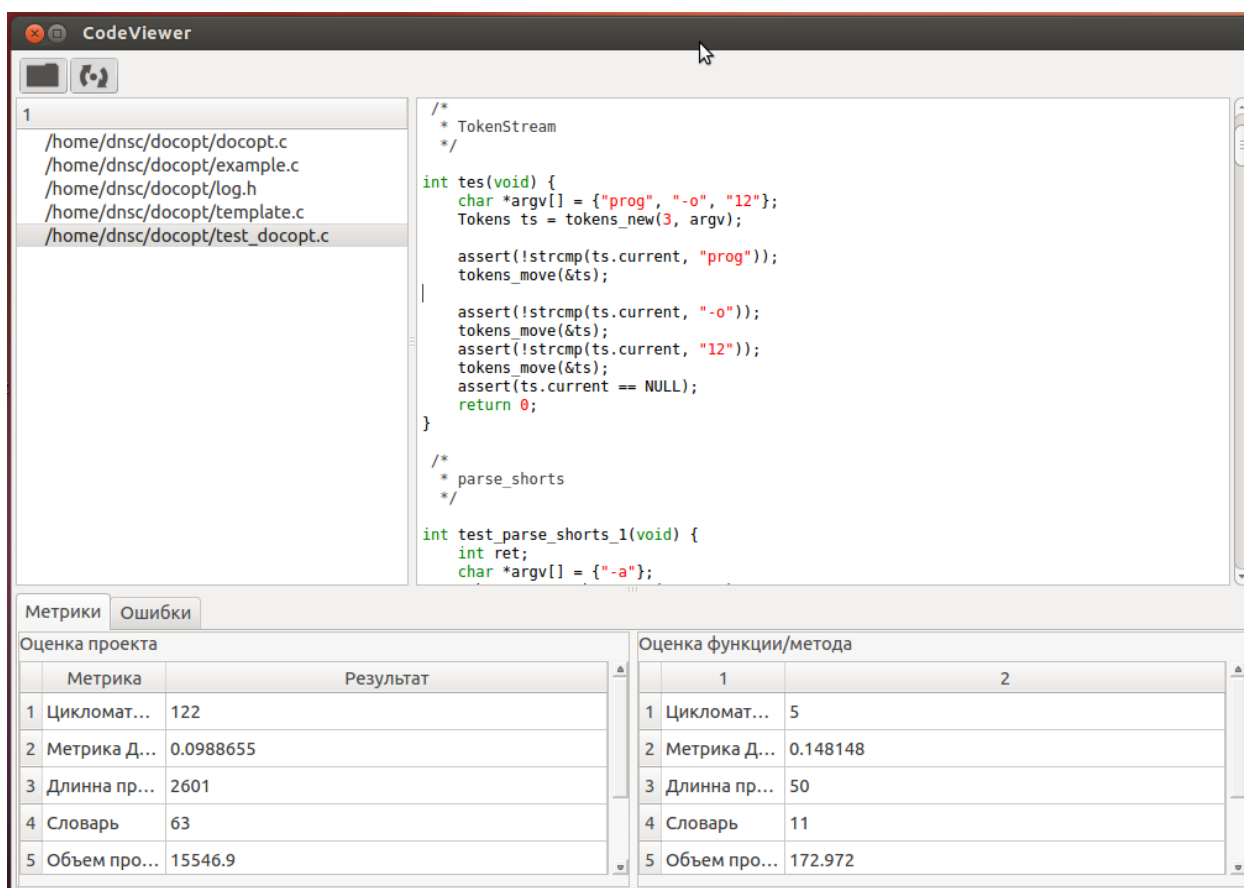


Рис. 6. Просмотр рассчитанных значений метрик

Для удобства восприятия ключевые слова, литералы и комментарии в программном коде выделяются цветом. В нижней части окна во вкладке «Метрики» показаны результаты расчета метрик для всего проекта (слева) и для отдельной функции (справа). Для просмотра значений метрик для отдельной функции необходимо кликнуть на её определении в программном коде.

Во вкладке «Ошибки» выводятся замечания по качеству программного кода (рис. 7). Для перехода к проблемному участку необходимо дважды кликнуть на сообщении с замечанием.

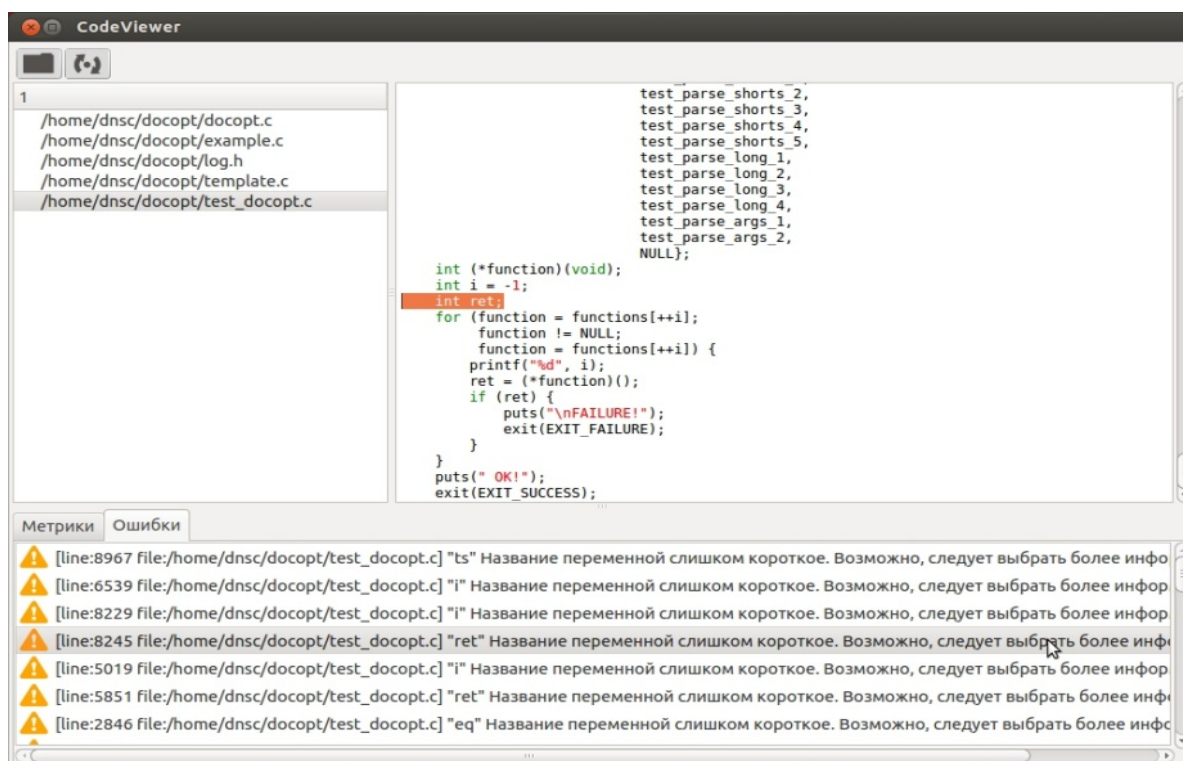


Рис. 7. Просмотр замечаний к исходному коду

Разработанная система оценки стиля программирования может дополняться иными методиками оценки исходного кода.

Реализована система на языке C++. Использовались свободно-распространяемые средства: интегрированная среда разработки IDE Qt Creator, СУБД MySQL, система управления версиями Git. Система кросс-платформенная, может функционировать под ОС Linux и ОС Windows.

Созданные инструментальные и методические средства оценки стиля программирования позволят осуществить мониторинг и контроль стиля как профессиональных разработчиков, так и начинающих программистов, так как взаимопонимание и взаимозаменяемость являются необходимым фактором коллективной разработки и сопровождения программных средств.

Система может найти применение при управлении разработкой программных средств и в процессе обучения программированию.

## Список литературы

1. Аветисян А.И. Автореферат диссертации на соискание ученой степени д.ф.-м.н. «Современные методы статического и динамического анализа программ для решения приоритетных проблем программной инженерии» по специальности 05.13.11 – математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и

компьютерных сетей. - М.: ФГБУН Институт системного программирования РАН, 2011. - 36 с.

2. Жарко Е.Ф. Сравнение моделей качества программного обеспечения: аналитический подход // XII Всероссийское совещание по проблемам управления ВСПУ-2014. - 2014. - С. 4585-4594.

3. ГОСТ Р ИСО/МЭК 9126-3. Информационная технология. Оценка программной продукции. Характеристики качества и руководства по их применению. М.: ИПК Издательство стандартов, 2004. - 13 с.

4. Чичев А.А., Чекал Е.Г. Стилиевые конфликты в обучении программированию // Сборник трудов XI международной конференции "Информационные технологии в образовании". Ч. 2, Москва, 2001.-М.:МИФИ, 2001. - С. 151-154.

## **Assessment System of Programming Style**

*Chichev A.A., Novikov A.M., Checal E.G.*

Ulyanovsk State University

*Abstract.* The article describes the developed at UISU cross-platform system for the evaluation of programming style for C programming language, which implements an original methodology for the assessment of programming style and integrated with the version control system Git and MySQL DBMS.

*Keywords:* programming, style program, quality of the program, readability, teaching programming, project management, team development.

## Повышение эффективности разнесенного приема сигналов на основе использования непараметрического анализатора помеховой обстановки

Украинцев Ю.Д., Гончаров А.В.

*Ульяновский государственный университет*

*Аннотация.* Представлена структурная схема разнесенного приема сигналов, использующая непараметрический анализатор, обеспечивающий текущую оценку статистических характеристик принимаемого каждой ветвью разнесения сигнала. При этом оценка соотношения сигнал/помеха в каждой ветви разнесения осуществляется на основе байесовского подхода. В работе известная схема разнесенного приема дополняется непараметрическим анализатором, реализующая метод «наивного» метода Байеса, которая основана на Парзеновской процедуре восстановления текущей плотности распределения вероятности (ПРВ) мгновенных значений принимаемого сигнала. Приведена сравнительная оценка качества приема сигналов при отсутствии и наличии предлагаемого анализатора.

*Ключевые слова:* разнесенный прием сигналов, структурная схема, анализатор помеховой обстановки, вероятность ошибочного приема, парзеновская процедура восстановления ПРВ.

### **Введение.**

В настоящее время на линиях тропосферной связи широко применяются методы додетекторного объединения ветвей разнесенного приема. При этом используется как частотное, так и пространственное разнесение [1, 2, 3,12].

При этом результирующий сигнал имеет вид:

$$U_{\text{ср}}(t) = \sum_{i=1}^M k_i U_i(t), \quad (1)$$

где:  $U_i(t) = \alpha_i S(t) + n_i(t)$  – принимаемая совокупность сигналов и помех  $i$ -ой ветви разнесенного приема;  $\alpha_i$  – коэффициент передачи, зависящий от условий распространения сигнала на рабочей частоте;  $n_i(t)$  – помеха в  $i$ -ой ветви разнесения;  $k_i$  – весовые коэффициенты, величина которых зависят от соотношения сигнал/помеха в конкретной ветви разнесения и метода объединения ветвей разнесения. Например, при реализации принципа автовыбора огибающая принимаемого сигнала на выходе схемы представляет собой случайную кривую  $U_{\text{ср}}(t) = \max U_i(t)$ , что и представлено на рис.1 [1].

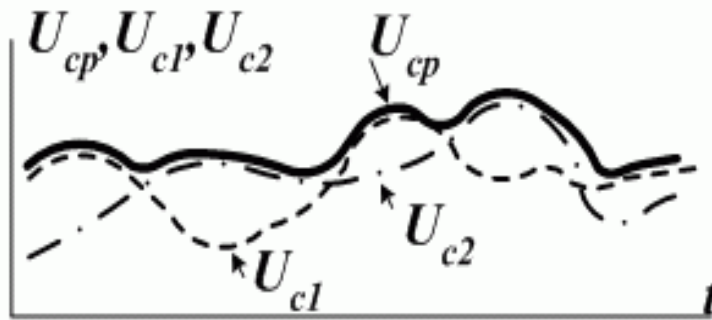


Рис. 1.

Структурная схема приемника сдвоенного сложения пространственно-разнесенных сигналов представлена на рис. 2 [1].

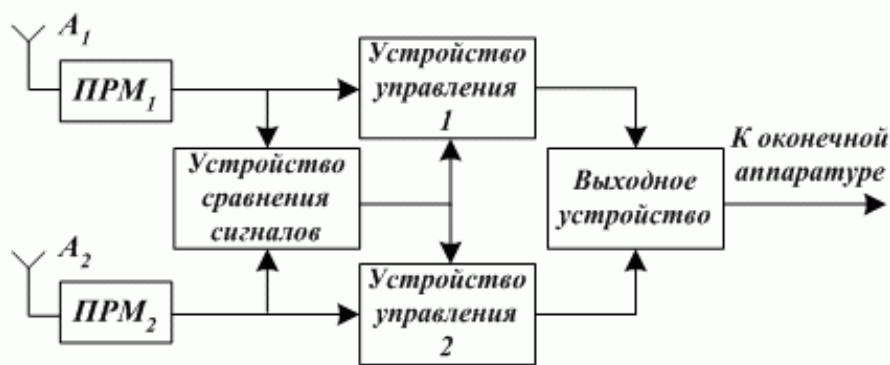


Рис. 2.

В работе [1] представлены графики вероятности ошибочного приема при различном количестве ветвей разнесения сигналов. Две кривые этих графиков представлены на совмещенном графике рис.4. На этом графике представлены вероятности ошибочного приема при однократном (кривая  $N_0=1$ ) и двукратном разнесении (кривая  $N_0=2$ ). Из графика рис.4 (кривые  $N_0=1$  и  $N_0=2$ ) видно, что при превышении сигнала над помехой в 10 раз вероятность ошибочного приема при одинарном и сдвоенном приеме соответственно составляет  $10^{-1}$  и  $8 \times 10^{-2}$ . Для современных телекоммуникационных сетей такие значения вероятности ошибки чрезвычайно малы. Это приводит к необходимости применения дополнительных мероприятий по увеличению качества приема сигналов на линиях тропосферной связи. Дальнейшее увеличение ветвей разнесения, приводя к улучшению качества приема, ведет к увеличению массо-габаритных показателей и значительному удорожанию аппаратуры.

#### Постановка задачи.

Для повышения помехоустойчивости на линиях современной тропосферной связи предлагается использовать адаптивно-непараметрический классификатор, основанный на текущем восстановлении плотности распределения (ПРВ) мгновенных значений огибающей принимаемого сигнала в каждой ветви разнесения. Алгоритм работы

восстановления ПРВ основан на непараметрической оценке ПРВ Парзена – Розенблатта, анализ которого проведен в работах [10, 11]. При этом в ходе сеанса связи определяются наиболее вероятные значения сигнала (мода) при отсутствии и наличии помех, устанавливается в соответствии с реальной обстановкой на линии связи порог решающей схемы, а затем на основе сдвига мод принимается решение о вероятности ошибочного приема.

#### Решение задачи.

Оценка ПРВ основывается на рекуррентной парзеновской процедуре [10]:

$$W_N(X) = W_{N-1}(X) + \frac{1}{N} \left( W_{N-1}(X) + \frac{1}{h_N} K(y) \right),$$

где  $N$  – объем выборки достаточной статистики;  $h_N$  – ширина аппроксимирующей функции;  $K(y)$  – аппроксимирующая функция.

Обоснование параметров оценки ПРВ представлено в работах [7, 8, 9]. На основе полученных значений ПРВ принимаемого сигнала определяется значение ее моды в соответствии с выражением:

$$M(i, T) = \max_{(X)} W_N(X),$$

где  $i$  – интервал набора достаточной статистики;  $T$  – время, необходимое для набора статистики на заданном интервале.

Значения моды в каждой ветви разнесенного приема позволяют определить весовой коэффициент  $\alpha_k(i, T)$  в каждой ветви разнесенного приема на основе соотношения сигнал/помеха, то есть:

$$\alpha_k(i, T) = M_k(i, T) / M_{\text{сум}}(i, T),$$

где  $M_{\text{сум}}(i, T) = \sum_{k=1}^N M_k(i, T)$ .

Значения  $\alpha_k(i, T)$ ,  $k = \overline{1, N}$  поступают в блок контроля усиления, где производится их цифро-аналоговое преобразование. Полученное управляющее напряжение используется для управления усилителями с переменным коэффициентом усиления. За счет этого обеспечивается оптимальное, линейное сложение, либо автовыбор ветвей разнесенного приема. Представленный алгоритм работы сложения ветвей разнесенного приема реализуется с помощью укрупненной схемы, представленной на рис. 3.

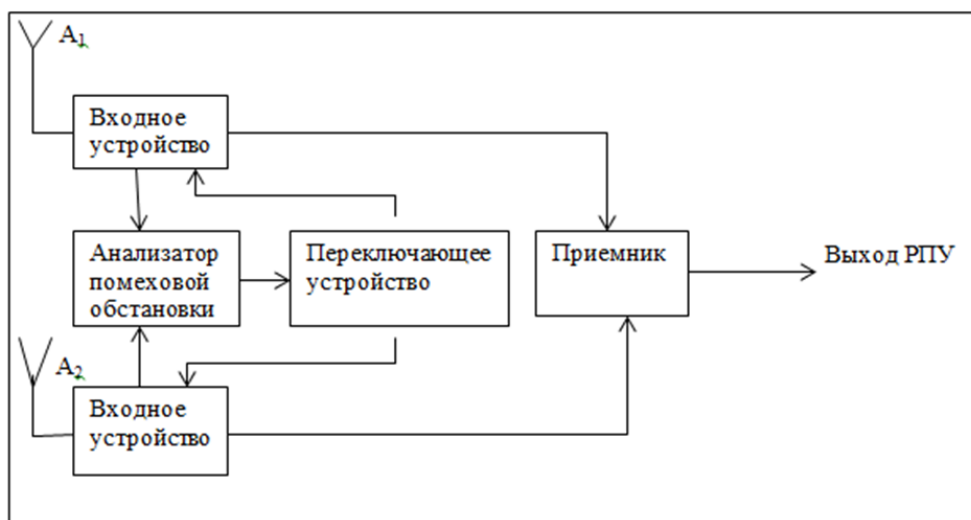


Рис. 3

### Результаты решения задачи.

Анализ работы приведенного алгоритма сложения разнесенных сигналов проведен методом имитационного моделирования. Результаты моделирования для наглядности представлены на совмещенном графике (рис.4) вероятности ошибочного приема разнесенных сигналов, при отсутствии и наличии предлагаемого в работе анализатора.

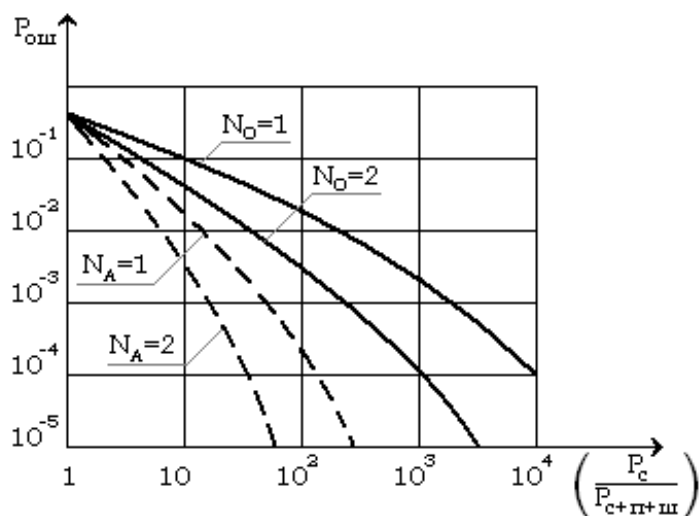


Рис.4

На совмещенном графике представлены кривые вероятности сдвоенного приема сигналов классическим способом (две кривые  $N_0$ , и две кривые  $N_A$ , соответственно при отсутствии и наличии анализатора помеховой обстановки). Из графика видно, что включение в известную [1] схему непараметрического анализатора помеховой обстановки приводит к увеличению качества работы схемы, соизмеримому с включением дополнительных ветвей приема. Так, например, при превышении сигнала над помехой в



10 раз вероятность ошибочного приема составляет  $2 \times 10^{-2}$  при одинарном приеме и  $4 \times 10^{-3}$  при двояном приеме.

#### **Заключение.**

1. Современные быстродействующие микропроцессорные вычислительные системы позволяют обрабатывать объемы достаточной статистики (100 независимых отсчетов мгновенных значений принимаемого сигнала) в реальном масштабе времени.
2. В свою очередь, это позволяет, не увеличивая массо-габаритные показатели современных беспроводных систем связи, повысить их эффективность работы в условиях непараметрической неопределенности относительно сигналов и помех.
3. Целесообразно продолжить работы по оценке качества определения адаптивного порога решающей схемы методами «наивного» метода Байеса.

#### **Список литературы**

1. Васильев К.К., Глушков В.А., Дормидонтов А.В., Нестеренко А.Г. Теория электрической связи; под общей редакцией К.К. Васильева. – Ульяновск: УлГТУ, 2008. – 452 с.
2. Гусятинский И.А., Немировский А.С. и др. Дальняя тропосферная радиосвязь. – М.: Связь, 1968. – 246 с.
3. Немировский М.С., Шорин О.А., Бабин А.И., Сартаков А.Л. Беспроводные технологии от последней мили до последнего дюйма: Учебное пособие. – М.: Эко - Тренз, 2010. – 400 с.
4. Орлов А. И., Прикладная статистика. – М.: Экзамен, 2004. – 250 с.
5. Репин В.Г. Обнаружение сигнала с неизвестными моментами появления и исчезновения // Пробл. передачи информ. – 1991. – Т. 27, № 1. – С. 61-72.
6. Смирнов Н. В. Асимптотическая мощность некоторых непараметрических критериев // Труды Всесоюзного совещания по математической статистике. Ереван, 1960.
7. Украинцев Ю.Д., Украинцев К.Ю. Сравнительный анализ парзеновских (непараметрических) процедур восстановления ПРВ. В сб. «Современные проблемы создания и эксплуатации радиотехнических систем». Труды шестой научно – практической конференции (с участием СНГ). Ульяновск, УлГТУ, 2009. – С. 233-236.
8. Украинцев К. Ю. Селиверстов М.В. Методика определения порога решающей схемы адаптивно-непараметрического классификатора помеховой ситуации. В сб. «Современные проблемы создания и эксплуатации радиотехнических систем: Труды седьмой

всероссийской научно-практической конференции (с участием стран СНГ), г. Ульяновск, 22-23 сентября 2011 г.- Ульяновск, УлГТУ, 2011. – 246 с.

9. Украинцев Ю. Д. Украинцев К. Ю. Обоснование параметров непараметрической процедуры восстановления априорно неопределенной плотности распределения вероятностей // Ученые записки ульяновского государственного университета. Сер. Математика и информационные технологии. Вып1 (3) / Под ред. А.А. Смагина. - Ульяновск: УлГУ, 2012. – 286 с.

10. Parzen, On estimation of a probability density function and mode // Ann. Math. Statist. 1962. 33, 3. С. 1065-1076.

11. Rosenblatt M. Remarks on some nonparametric estimates of a density function // Ann. Math. Statist. 1956. 27,3. С. 832-837.

12. [www.itu.int](http://www.itu.int) Рекомендация МСЭ-RF.752-2

## **On Improving the efficiency of the spaced received signals based on the use of non-parametric analyzer of jamming situation**

Ukraintsev YU.D., Goncharov A.V.

*Ulyanovsk State University*

*Abstract.* The block diagram of the diversity reception of signals is presented with use of non-parametric analyzer that provides the current estimate of the statistical characteristics of each branch of the diversity of the received signal. The estimate of signal / noise ratio in each branch of diversity is based on the Bayesian approach. In the paper the well-known scheme of diversity reception is complemented by non-parametric analyzer that implements the method of "naive" Bayesian, which is based on the current recovery procedure Parzen probability density function (PDF) of the instantaneous values of the received signal. The comparative evaluation of the quality of the signals receiving is presented in the absence or presence of the proposed analyzer.

*Keywords:* diversity reception of signals, a block diagram analyzer interference situation, the probability of erroneous reception, Parzen recovery procedure of PDF.

## **Один из подходов к ослаблению электромагнитного поля радиочастот, негативно влияющих на живые организмы**

Украинцев Ю.Д., Гончаров А.В.

*Ульяновский государственный университет*

*Аннотация.* Предложен подход к оценке влияния индуктивных помех различных диапазонов волн на живые организмы. Показано, что любое радиоизлучающее средство, наряду с сигналом, излучающимся на определенной рабочей частоте, излучает ряд комбинационных частот (помех), возникающих на нелинейных элементах радиопередающего средства. Эти помехи особенно сильны по уровню в поле ближней зоны, в момент формирования главного лепестка диаграммы направленности. Наиболее эффективным методом борьбы с этими комбинационными помехами в ближней зоне являются организационно-технические меры, связанные с обоснованием места установки антенных устройств базовых станций. Обоснованный выбор мест установки антенных устройств, предложенный в работе, позволит без дополнительных финансовых затрат повысить экологическую защищенность населения от вредного воздействия радиоизлучающих средств.

*Ключевые слова:* экологическая защита от радиоизлучений, диаграмма направленности антенн, электромагнитное поле ближней и дальней зоны, высота подвеса антенн.

### **1. Постановка задачи**

Современный этап развития мировой цивилизации характеризуется переходом индустриального общества к информационному [8]. Данная фаза развития человечества предполагает новые формы социальной и экономической деятельности, обеспечивающих получение новых знаний.

Материальной (инфраструктурой) основой построения информационного общества является современная информационно-телекоммуникационная сеть, базирующаяся на транспортных потоках, образованных системами спутниковой, радиорелейной и оптоволоконных линий связи, являющихся источниками электромагнитных излучений.

Современный жизненный темп требует от любого гражданина повышенной мобильности и независимости от привязки к телекоммуникационной структуре. Это и предопределяет бурное развитие средств, мобильной связи, предоставляющие различные сервисные услуги: телефония, Интернет, видеосвязь, которая вносит дополнительный загрязняющий электромагнитный фон.

На значительных территориях, особенно вблизи прохождения воздушных линий электропередач высокого и сверхвысокого напряжения, радио- и телецентров, радиолокационных установок, базовых станций сотовой связи напряженность электрических и магнитных полей возросла от двух до пяти порядков, создавая реальную опасность для людей, животного и растительного мира [7]. Целенаправленное использование электромагнитной (ЭМ) энергии в самых разнообразных областях человеческой деятельности привело к тому, что к существующему естественному геомагнитному фону — электрическому и магнитному полям Земли, атмосферному электричеству, радиоизлучению Солнца и Галактики добавилось электромагнитное поле искусственного происхождения. Его уровень значительно превышает уровень естественного электромагнитного фона [4,6]. Энергоресурс мира удваивается каждые десять лет, а удельный вес переменных электромагнитного поля (ЭМП) в электроэнергетике за это время возрастает еще в три раза. При этом наибольшие уровни облучения людей и воздействия на окружающую среду наблюдаются в районе размещения радио- и теле- передающих центров с высотой антенной опоры не более 180 м, базовых станций сотовой связи.

Перед специалистами в области, особенно беспроводной связи, остро стоит проблема снижения уровня загрязнения электромагнитного фона при обеспечении востребованными высококачественными телекоммуникационными услугами населения планеты [2,3]. Данная проблема может быть решена на основе уменьшения нежелательных излучений, формируемых радиоэлектронными средствами. Рассмотрим причины, вызывающие ухудшения электромагнитной обстановки.

## **2. Решение задачи**

Мощность излучения базовых станции сотовой связи зависит от применяемого стандарта, от размера обслуживаемой соты и места установки (метро, аэропорты, торговые центры, городские микрорайоны). В среднем эта величина находится в диапазоне от 5 Вт до 20 Вт. Причем, на базовой станции может стоять до 20 передатчиков. Количество базовых станций в крупных городах достигает нескольких тысяч. У каждого оператора связи (например, в Москве четыре крупных оператора мобильной связи) свои базовые станции. И эти передатчики, в отличие от вашего мобильного телефона работают непрерывно и практически всегда на полную мощность (по крайней мере, с раннего утра до полуночи).

Рассмотрим основные причины, ухудшающие электромагнитную обстановку. К ним можно отнести [1, 4, 5]:

1. Возрастание общего числа одновременно работающих радиоэлектронных средств.

2. Ограниченность и загруженность используемого диапазона частот. Перегрузка отдельных участков диапазона и многократность. В настоящее время РЭС могут работать в диапазоне от 10 Гц до 400 ГГц. Наиболее интенсивно загружен диапазон от 3 кГц до 15 ГГц, в котором отдельные участки сильно перегружены (например: 100-150 МГц; 200-400 МГц; 1-1,5 ГГц; 2,5-3 ГГц, 8-12 ГГц).
3. Увеличение мощности передатчиков.
4. Несовершенство выходных каскадов радиопередающих устройств, излучающих не только основные, но и внеполосные помехи различного происхождения.
5. Несовершенство антенных устройств, передатчиков.
6. Широкое внедрение электронных средств автоматического управления, контроля диагностики на основе аналоговой и цифровой техники (микропроцессоров), которые становятся источниками непреднамеренных помех.

Любое радиопередающее средство кроме основного излучения формирует и негативные излучения. Классификация излучений представлена в таблице 1.

Таблица 1

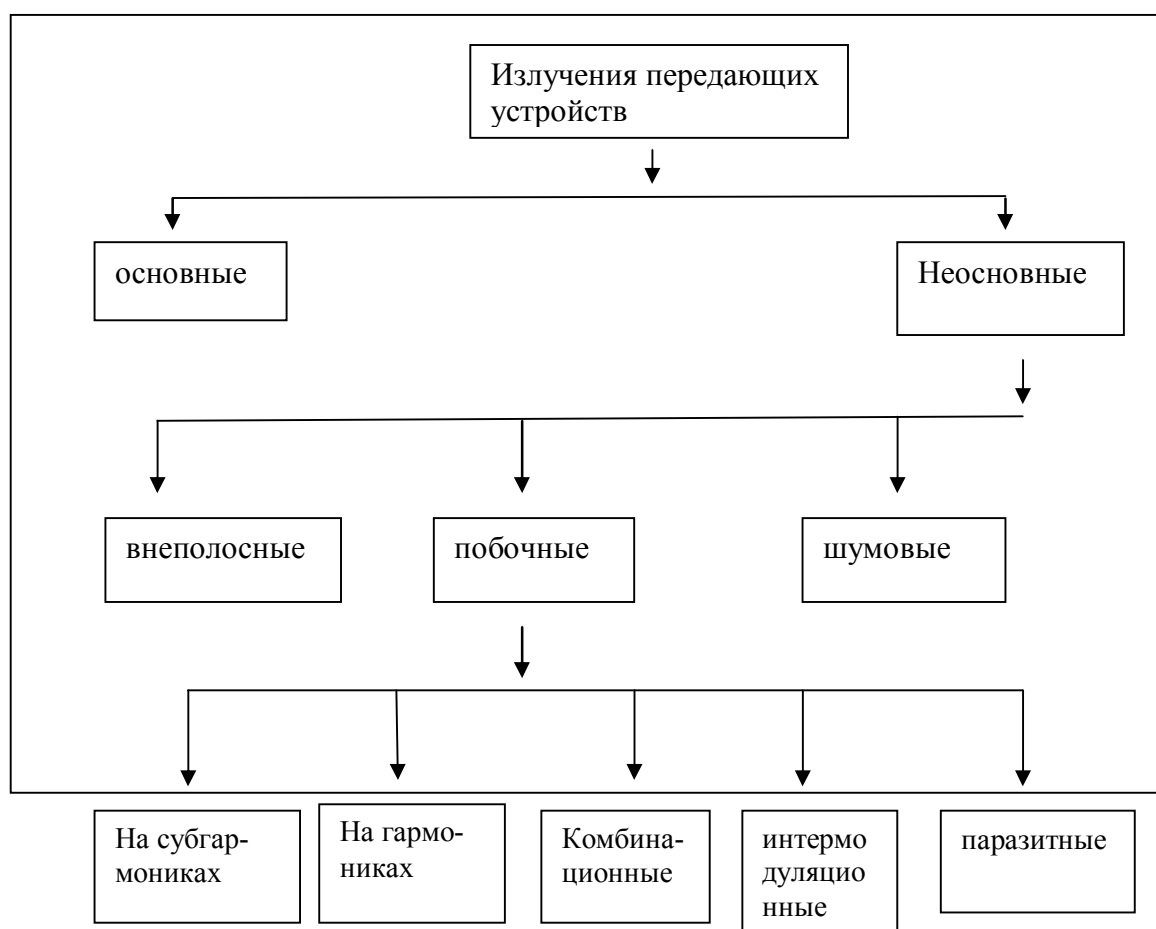


Таблица 1. Классификация помех, формируемых радиоизлучающими средствами.

Каждая из частот (основная и неосновная) определенным образом действует на организм человека даже за счет резонансных явлений. Известно [2,5], что нагрузкой выходного каскада любого радиоизлучающего средства является элементарный излучатель (антенна), длина которого равна четверти длины излучаемой волны. На приемной стороне излученный сигнал принимается такой же антенной. Если представить в качестве такого элементарного излучателя рост человека, то можно легко определить его резонансную частоту в соответствии с выражением:

$$f_{[\text{МГц}]} = \frac{300}{4h_{[\text{м}]}} , \text{ где: } h_{[\text{м}]} - \text{рост человека}$$

$f_{[\text{МГц}]}$  - резонансная частота

Например, при росте человека  $h=1,74\text{м}$  резонансная частота  $f_{[\text{МГц}]}$ , на которой он является четвертьволновым отрезком, составляет примерно 43,21 МГц. Это свидетельствует о том, что в такт с этой частотой может колебаться наш позвоночный столб, что в конечном итоге может привести к радикулиту. Естественно, что интенсивность колебания будет определяться энергетической составляющей сигнала, который вызывает колебание позвоночного столба. Следует отметить, что вторая гармоника этой частоты, равна 86,42 МГц, а четвертая - 172,84 МГц также могут вызывать резонансные явления в других частях тела. При росте ребенка равном 1м, резонансной частотой уже является колебание, равное 75 МГц. Значительную роль играют резонансные процессы, связанные с биологическими ритмами человека. Резонансное усиление или ослабление этих ритмов, появление гармоник и субгармоник и результаты перекрестной модуляции в нелинейных элементах клеток могут порождать разнообразные психофизиологические эффекты с отрицательными последствиями. Излучение на частоте 900 МГц, разрешенной для мобильных радиотелефонов, имеет особенно высокую проникаемость, при этом нередко в голове возникает «эффект резонанса» [4].

В этих условиях остро встает проблема снижения уровня основного и неосновного излучения. Естественно, что основное излучение уменьшать не представляется возможным, т. к. именно его мощность позволяет пользователю получать качественные информационные услуги. В принципе можно ослабить неосновные излучения. Для этого необходимо повысить требования к фильтрам выходных каскадов передатчика. Эта задача требует солидных материальных затрат, особенно при работе в широкой полосе частот.

При минимальных затратах эффективного подавления неосновного излучения можно добиться на этапе проектирования и развертывания сети связи, путем грамотного развертывания антенных устройств радиопередающих средств. При развертывании антенно-мачтовые устройства базовых станций зачастую размещают на крышах многоэтажных зданий. При этом целесообразно высоту подвеса антенны поднимать на высоты  $h$  до (8-10) м от чердачных этажей с тем, чтобы электромагнитное поле бокового и заднего лепестка диаграммы направленности антенны, распространяющееся под углом  $\beta$  не задевало верхние этажи. Диаграмма направленности главного лепестка  $\alpha$ , в которой сосредоточена основная энергетика электромагнитного поля, особенно на интервале «стартовой площадки волны», т.е. на удалении (500-800) м должна быть направлена в нежилые зоны, особенно в зоны детских учреждений (детские сады, школы). Анализ мест установки антенно-мачтовых устройств свидетельствует о том, что это условие зачастую нарушается: в створе диаграммы направленности главного лепестка  $\alpha$  (рис.1) размещаются не только школы, но и детские садики.

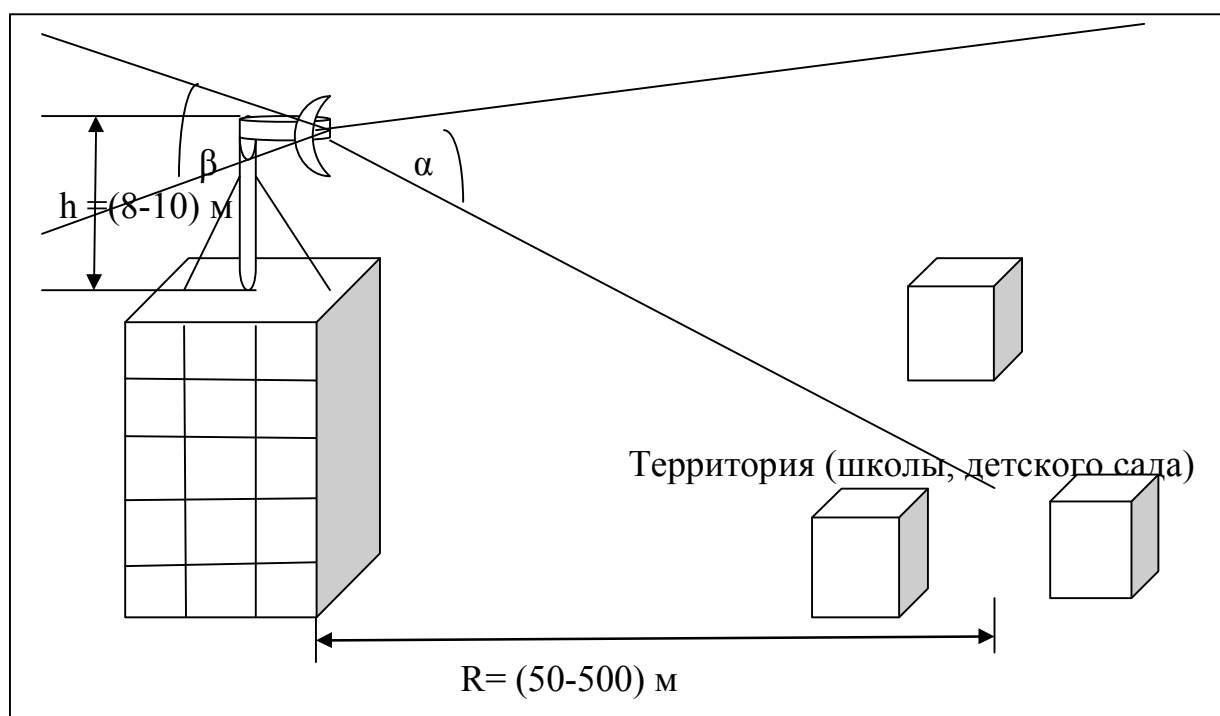


Рис.1. Вариант размещения антенны на крыше жилого здания

Более того, иногда, операторы связи, оптимизируя затраты на развертывание и эксплуатацию антенно-мачтовых устройств, располагают последние не на крышах, а

закрепляя мачты на стенах зданий. Вариант такого размещения антенн представлен на рис. 2.

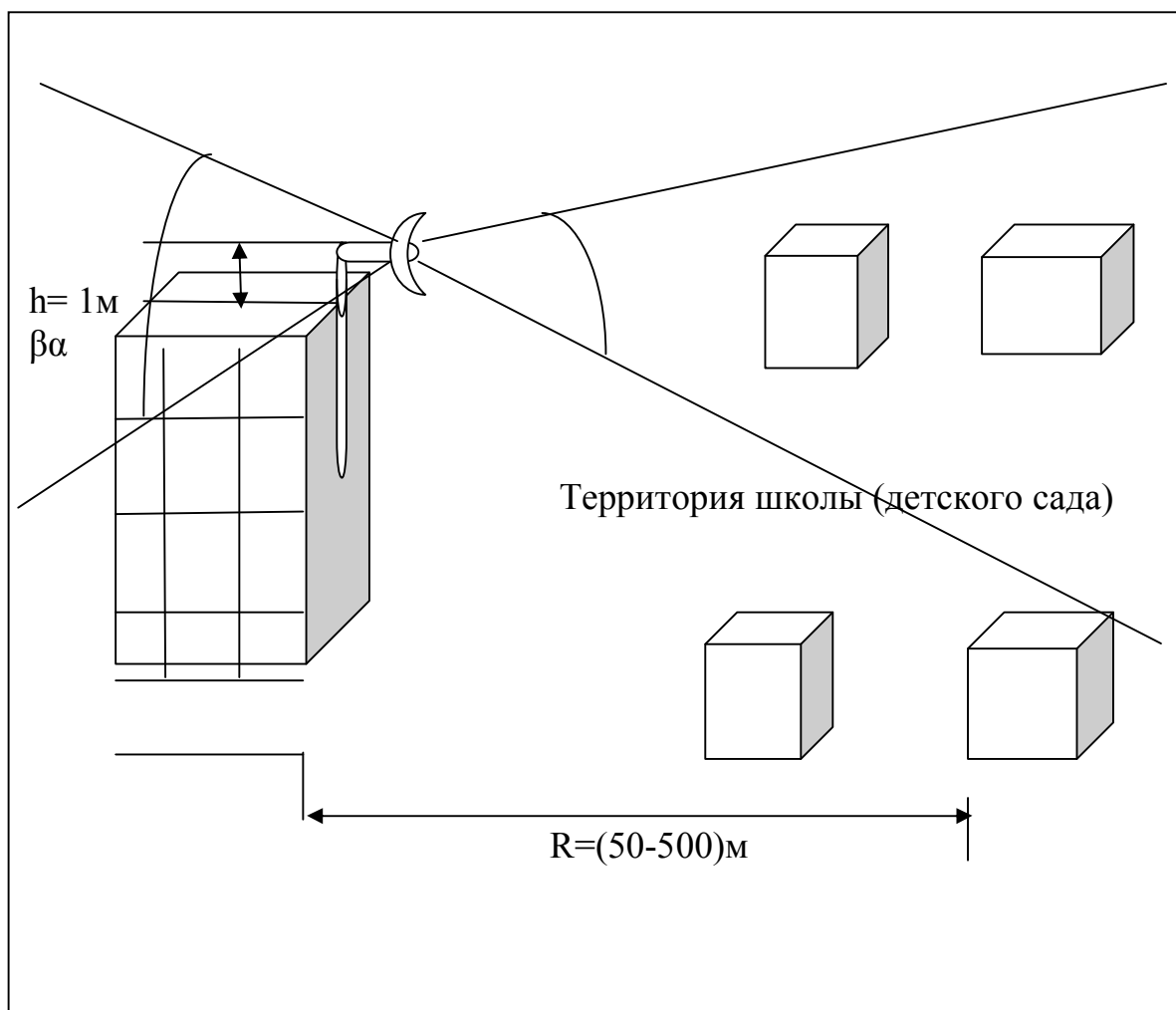


Рис. 2. Вариант крепления антенны к стеновой панели здания.

При подвесе антенны на высоте  $h \leq 1\text{ м}$ , как показано на рис. 2, на жителей верхних этажей здания, где размещена антенна базовой станции, воздействуют не только поля заднего и бокового лепестков диаграммы направленности, распространяющиеся под углом  $\beta$ , но и достаточно сильное поле ближней зоны, богатое не только внеполосными, но и побочными колебаниями [1].

#### **Заключение.**

В работе показано, что в крупных городах для обеспечения комфортности и мобильности жителей операторам сотовой связи целесообразно выполнять комплексные организационно-технические мероприятия, суть которых можно свести к следующему:



1. Несмотря на активную конкурентную борьбу за клиентскую базу не увеличивать мощность базовых станций, а вести работу, направленную на повышение чувствительности радиоприемных устройств.

2. В целях сокращения уровня помех, представленных в таблице 1, совершенствовать согласование входа антенны с выходом усилителя выходного каскада передатчика.

3. При проектировании развертывания антенно-мачтовых устройств измерять и оценивать уровень поля в жилых кварталах, обращая особое внимание на дошкольные и школьные учреждения.

### **Список литературы**

1. Андриенко А. А. Определение границ ближней и дальней зоны при измерениях ПЭМИ. Журнал «Конфидент» № 4-5, 2002 г. с.36-39.
2. Бузов А. Л. УКВ антенны для радиосвязи с подвижными объектами, радиовещания и телевиденья. - М.: Радио и связь, 1997.
3. Государственный стандарт Российской Федерации ГОСТР 51317.6.4 -99 (МЭК 61000-6-4-97). Помехоэмиссия от технических средств, применяемых в промышленных зонах. Нормы и методы испытаний.
4. Михнюк Т. Ф. Защита от электромагнитных полей радиочастотного диапазона: учебное пособие. Минск: БГУИР, 2003. – 41 с.
5. Немировский М.С., Шорин О.А., Бабин А.И., Сартаков А.Л. Беспроводные технологии от последней мили до последнего дюйма: Учебное пособие. - М.: Эко - Тренз, 2010. – 400 с.
6. Рекомендация МСЭ-RBS. 1968. Оценка полей от наземных радиовещательных передающих систем, работающих в любых полосах частот, для определения воздействия неионизирующего излучения
7. Сподобаев Ю.М., Кубанов В.П. Основы электромагнитной экологии. – М.: Радио и связь, 2000. – 240 с.
8. Стратегия информационного общества в России № ПР 212. Опубликовано 16 февраля 2008г. «РГ» - Федеральный выпуск № 4591.

### **One approach to the weakening of the radio frequency of electromagnetic fields which are negatively affecting on the living organisms**

*Ukrainitsev YU.D., Goncharov A.V.*

Ulyanovsk State University

*Abstract.* The approach to assessing the impact of inductive interference of different wavelengths on living organisms is suggested. It is shown that any radio-emitting device emits both the signal at a specific operating frequency and a series of combination frequencies (interferences) nascent in the non-linear elements of the radio transmission device. These interferences are particularly strong in terms of the near-field zone at the time of formation of the main petal of directional diagram. The most effective method of combating these combinational interferences in the near field are organizational and technical measures relating to the justification of the installation location of the antenna base station devices. Reasonable choice of installation sites of antenna devices proposed in the work will allow for additional financial costs to increase the environmental protection of the population from the harmful effects of radio-emitting devices.

*Keywords:* environmental protection from radio emissions, the antenna pattern, the electromagnetic field of near and far zone, height of suspension of antennas.

Научное издание  
УЧЕННЫЕ ЗАПИСКИ  
Ульяновского государственного университета

Серия  
МАТЕМАТИКА И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Выпуск 1(7)

Под ред. доц. О.А. Перегудовой

Печатается в авторской редакции

Директор Издательского центра – Т.В. Филиппова  
Оформление обложки Р.А. Водениной  
Подготовка оригинал-макета Е.Е. Гусевой

Подписано в печать 30.10.2015  
Формат 60x84/8. Гарнитура Times New Roman  
Усл. п.л. 24,8 Тираж 100 экз  
Заказ № /

Отпечатано в Издательском центре  
Ульяновского государственного университета  
432017 г. Ульяновск, ул. Л. Толстого, 42