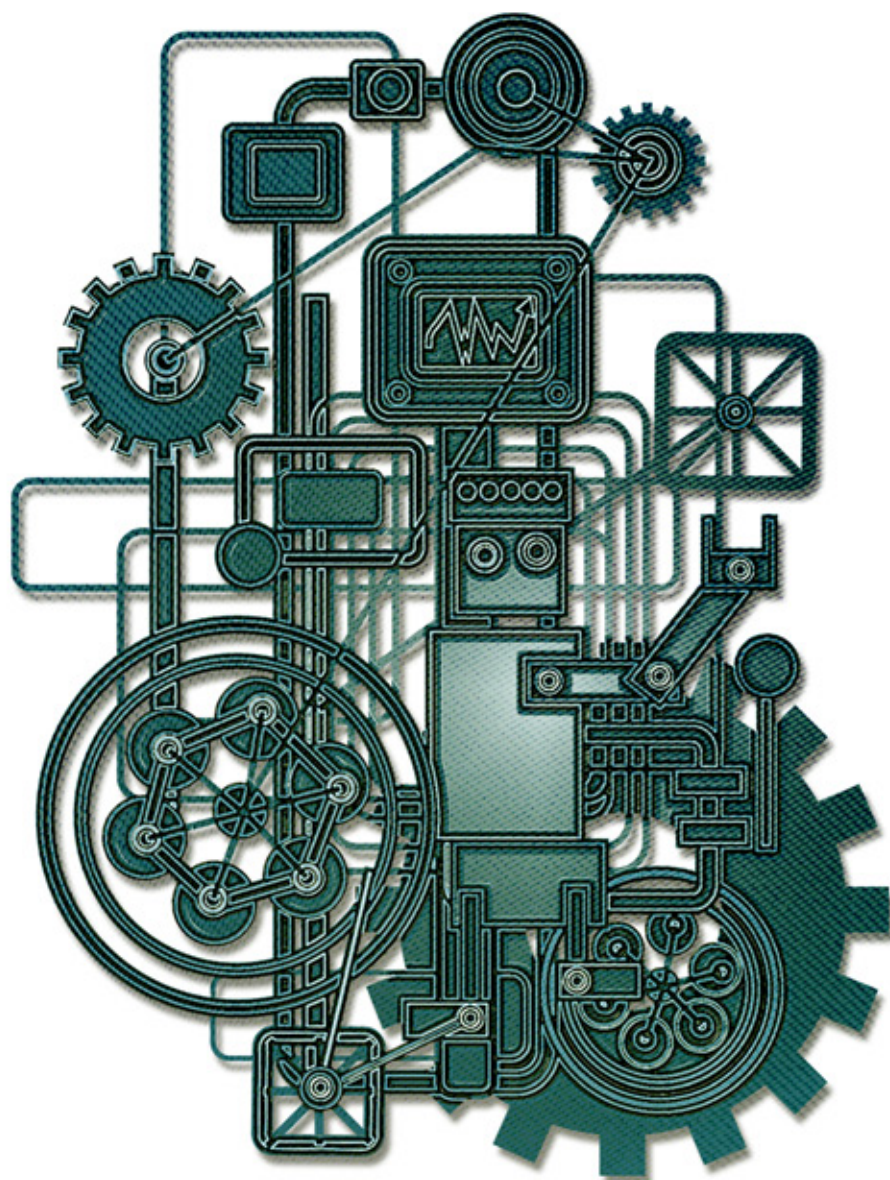


Международная заочная научная конференция

# «Технические науки: теория и практика»



Чита

УДК 62(01)  
ББК 30  
Т38

Редакционная коллегия сборника:

*М.Н. Ахметова, Ю.В. Иванова, К.С. Лактионов, М.Г. Комогорцев,  
В.В. Ахметова, В.С. Брезгин, А.В. Котляров, А.С. Яхина*

Ответственный редактор: *О.А. Шульга*

**Технические** науки: теория и практика: материалы междунар. заоч. науч. конф. (г. Чита, Т38 апрель 2012 г.). — Чита: Издательство Молодой ученый, 2012. — vi, 142 с.

ISBN 978-5-905483-05-9

В сборнике представлены материалы международной заочной научной конференции «Технические науки: теория и практика».

Предназначен для научных работников, преподавателей, аспирантов и студентов технических специальностей, а также для широкого круга читателей.

УДК 62(01)  
ББК 30

## СОДЕРЖАНИЕ

## 1. ИНФОРМАТИКА И КИБЕРНЕТИКА

**Боршевников А.Е.**

Использование смарт-карт, построенных на RFID-технологии, в схемах биометрической идентификации. . . . .1

**Гошин Е.В.**

Метод согласованной идентификации в задаче ректификации изображений . . . . .3

**Григоров А.С.**

Оптимизация процесса разработки картотечных информационных систем, интегрированных с системой межведомственного электронного взаимодействия . . . . .6

**Демиденков К.А., Мельников И.И.**

Разработка автоматизированной системы обнаружения и идентификации транспортных средств для измерения плотности транспортного потока . . . . .11

**Маецкий А.В.**

Программное обеспечение оптического комплекса исследования и контроля качества струи распыленного топлива . . . . .16

**Симоненко И.В., Матвеев И.А.**

Кластеризация эталонов радужки как метод оптимизации поиска в больших базах . . . . .20

**Трёкин А.Н., Матвеев И.А.**

Метод проекций яркости при поиске зрачка на изображении . . . . .24

**Мкртычян П.С.**

Автоматизация и диспетчеризация систем вентиляции . . . . .28

**Semakhin A.M.**

The Analysis of Mathematical Model of Information System . . . . .31

**Semakhin A.M.**

Symetric Structural Transformation of Direct Mathematical Model of Information System. . . . .34

**Сизых Д.Н.**

Автоматизированное сопровождение учебного процесса вуза . . . . .37

**Кузовлев Д.И., Тизик А.П., Тресков Ю.П.**

Итеративный алгоритм для задачи о назначении\* . . . . .41

## 2. ЭЛЕКТРОНИКА, РАДИОТЕХНИКА И СВЯЗЬ

**Жаворонкова М.С., Бондарь С.Н.**

Разработка термостабильного источника опорного напряжения. . . . .44

**Комраков Д.В.**

Навигационные комплексы наземных мобильных средств. . . . .47

**Кутузов Д.В., Утешева А.Ю., Моторина Е.А.**

Разработка коммутационного элемента параллельных пространственных коммутаторов . . . . .49

**Сиротенко Р.Ю.**

Одиночный элемент антенной решетки станции дифференциальных поправок GPS в микрополосковом исполнении . . . . .52

**Федоров К.А., Федорова Н.К.**

Расчет резонансного усилителя с быстрым установлением выходного напряжения. .... 55

**Юсупов Ф., Юсупов Ф.А.**

Многоканальная связь как способ увеличения пропускной способности телекоммуникационных систем и сетей. .... 58

### 3. АВТОМАТИКА И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

**Касалапова Т.А., Селиверов Д.И.**

Релейные блоки для систем железнодорожной автоматики и телемеханики. .... 60

**Логунова Е.А.**

Обзор методов формирования баз знаний. .... 62

**Бейбулатова С.И., Селиверов Д.И.**

Методы улучшения условий труда линейных работников хозяйства автоматики и телемеханики. .... 64

**Селиверов Д.И., Козина А.М.**

Современные методы восстановления кабельных линий железнодорожной автоматики и телемеханики. .... 67

**Сеферян А.Е., Нестеров А.В.**

Анализ и разработка измерительной установки для определения момента инерции тел вращения сложной формы. .... 70

**Целых Д.С., Привалов О.О.**

Устройства для анализа и оценки состояния дорожного покрытия. .... 74

### 4. ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

**Касимова Б.Р., Баксултанов Д.Е.**

Исследование несинусоидальных периодических цепей переменного тока в различных программных средах. .... 79

### 5. ЭНЕРГЕТИКА

**Лоскутников А.А., Сенюшкин Н.С., Горюнов И.М., Ялчибаева Л.Р.**

Расчет работы твердооксидных топливных элементов в составе комбинированных ГТУ. .... 84

**Мальцев М.С.**

Испытание диэлектрических резиновых ковров. Назначение и общие требования. .... 86

**Третьякова Е.С.**

Повышение эффективного использования компенсирующих устройств на промышленных предприятиях ядерной отрасли. .... 87

### 7. МАШИНОСТРОЕНИЕ

**Данатаров А., Ашыров С.**

Резервы высокопроизводительного использования машинно-тракторных агрегатов. .... 90

**Данатаров А., Ашыров С.**

Моделирование технологий орудий рыхлителя-кратователя в условиях Туркменистана. .... 91

**Дуюн Т.А., Гринек А.В.**

Оптимизация технологического процесса изготовления коллектора электрических машин. .... 93

**Терещенко Е.С., Шабалин Д.В.**

Повышение энергетических и экономических показателей дизеля применением систем регулирования газотурбинным наддувом. .... 96

**Цапурин К.А., Скворцов Ю.В., Глушков С.В.**

Оценка надежности трубопроводов, прокладываемых в промерзающих пучинистых грунтах. .... 98

### 8. СТРОИТЕЛЬСТВО

**Каменских Л.В., Мошнинова Г.Н.**

Технология проектного обучения графическим дисциплинам студентов строительных специальностей. .... 106

**Морозов Н.М., Мугинов Х.Г., Красникова Н.М., Гайфуллин Н.Э.**

Мелкозернистые бетоны с комплексными упрочняющими добавками. .... 108

### 10. АРХИТЕКТУРА

**Булдакова Е.А.**

Решение проблем экологии путем организации мобильных систем озеленения. .... 112



## 11. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

**Бахшинян Р.М., Вейнерт Я.В., Денисова И.В.**

Об одном методе решения задачи нестационарной теплопроводности шара с разрывными граничными условиями ..... 120

**Жуков М.О.**

Очистка углеродного наноматериала «Таунит» при помощи вакуумных электропечей ..... 123

**Коростовенко В.В., Морозова Н.В.**

К расчету параметров технологии подготовки искусственных сушенцовых полигонов при разработке россыпных месторождений ..... 124

**Лапковский Р.Ю.**

Причинно-следственный подход для анализа безопасности сложных систем ..... 127

**Польшиков В.Ю.**

Математическая модель горения пропан-бутановой смеси при недостатке окислителя в диффузионной горелке. .... 130

**Фролова С.В., Никонорова Л.И., Бобрович Л.В., Аникьева Э.Н., Дубровская Н.В.**

Статистические методы обработки экспериментальных данных в сельскохозяйственных исследованиях .. 133

**Хасенова Д.Ф.**

Возможности применения методов аэрокосмического мониторинга для обнаружения утечек из нефтегазопроводов ..... 135

**Юшков Ю.Г., Климов А.С., Гричневский Е.А., Юшков А.Ю.**

Исследование инициирования электрического разряда в воде при разработке электрогидравлической технологии ..... 139



# 1. ИНФОРМАТИКА И КИБЕРНЕТИКА

## Использование смарт-карт, построенных на RFID-технологии, в схемах биометрической идентификации

Боршевников Алексей Евгеньевич, студент  
Дальневосточный федеральный университет (г. Владивосток)

*Данная работа описывает использование смарт-карт, построенных на RFID-технологии, в схемах биометрической идентификации, с использованием генерации ключевых последовательностей, для увеличения безопасности данных систем.*

### Введение

Область информационной безопасности широка. Одной из подобластей является биометрическая идентификация, с использованием генерации ключевых последовательностей. В данном направлении можно выделить следующие схемы практической реализации: централизованную, распределенную, распределено-централизованную [1, 6–8]. Более надежными схемами являются распределенная и распределено-централизованная, чем централизованная. Однако надежность таких схем зависит от типа носителя, на который записаны ключевые данные. Повысить надежность таких схем могут помочь смарт-карты на основе RFID-технологий (RFID — radio frequency identification).

### Смарт-карты

Смарт-карта представляет собой карту на интегральной схеме [2, 2]. В большинстве случаев интегральная схема является микропроцессором. Также на смарт-картах предусмотрена операционная система, контролирующая устройство и доступ к объектам в его памяти.

Смарт-карты делятся на [3, 5–6]:

1. Контактные смарт-карты с интерфейсом ISO 7816.
2. Контактные смарт-карты с USB интерфейсом.
3. Бесконтактные (RFID) смарт-карты.

Надежность смарт-карт определяется стойкостью криптоалгоритмов, используемых для её защиты, а также технологических методов построения самих смарт-карт. Любые уязвимости, найденные в карте, устраняются.

Наряду с этим существует проблема отказоустойчивости смарт-карт. Дело в том, что смарт-карты требуют бережной эксплуатации, так как в них находится микропроцессор.

Использование определенного типа карт должно быть обусловлено требованиями, предъявляемыми определенной политикой безопасности. Однако наиболее универсальными являются бесконтактные смарт-карты.

### RFID-технология

Рассмотрим, что представляют собой RFID-технологии. RFID — метод автоматической идентификации объектов, в котором посредством радиосигналов считываются или записываются данные.

Любая RFID-система состоит из считывающего устройства (считыватель, ридер или интеррогатор), транспондера (он же RFID-метка, иногда также применяется термин RFID-тег), а также базы данных, с которой связано считывающее устройство.

По дальности считывания RFID-системы можно подразделить на системы:

- ближней идентификации (считывание производится на расстоянии до 20 сантиметров);
- идентификации средней дальности (от 20 сантиметров до 5 метров)
- дальней идентификации (от 5 до 100 метров)

Принцип работы RFID-системы заключается в следующем. Считыватель генерирует радиосигнал, который передается на транспондер. В свою очередь транспондер генерирует обратный сигнал, содержащий идентификационную информацию. Сигнал передается на считывающее устройство и происходит сравнение с информацией из базы данных.

Преимуществами RFID-технологий являются: отсутствие необходимости прямой видимости, достаточно большое расстояние чтения, считывание данных при любом ее расположении, большой диапазон рабочих частот, что позволяет выделять пользователю системы персональную частоту работы метки.

Недостатком и уязвимостью метки является ее подверженность помехам в виде электромагнитных излучений. Для устранения этой проблемы необходимо проводить меры по устранению посторонних электромагнитных наводок. [4, 33–38]

Почему все-таки смарт-карты на RFID-технологии?

Схемы биометрической идентификации, с использованием генерации ключевых последовательностей, описаны в работе [1, 6–8].

Пусть:

$A$  – событие, состоящее в том, что противник подберет значение хеш-функции определенного пользователя.

$\beta$  – вероятность ошибки второго рода.

$B$  – событие, состоящее в том, что противник подберет значение id определенного пользователя.

$C$  – событие, состоящее в том, что противник пройдет идентификацию.

$N$  – размер интервала из которого берутся значения id.

$P()$  – вероятность какого-либо события.

$\Delta f$  – диапазон частот, на которых работает RFID-метка.

Увеличение надежности распределенной и распределено-централизованной схемы следует из-за введения дополнительной ступени идентификации на уровне непосредственно RFID-системы.

Таким образом, пользователь проходит идентификацию на 2 уровнях: уровне хранимых уникальных ключевых последовательностей и идентификаторов, и уровне распределения частот между пользователями.

Отсюда, вероятности идентификации противника для распределенной схемы и распределено-централизованная схемы будут следующие:

$$P(C) = P(A) \cdot \beta \cdot \frac{1}{\Delta f} \quad \text{— для распределенной схемы;}$$

$$P(B) = \frac{1}{N} \quad \text{— для распределено-централизованной схемы.}$$

$$P(C) = P(B) \cdot \beta \cdot \frac{1}{\Delta f} = \frac{\beta}{N \cdot \Delta f}$$

Для распределено-централизованной схемы рассчитаем приблизительно вероятность идентификации противника.

$$\Delta f = 10^8, N = 10^9, 0 < \beta \ll 1$$

$$P(C) = \frac{\beta}{10^8 \cdot 10^9} \approx 10^{-17}$$

Как видно из расчетов, вероятность идентификации противника в схеме малая величина.

Помимо этого немаловажно то, что смарт-карта, на RFID-технологии, имеет возможность проходить процедуру идентификации на расстоянии. Это позволяет минимизировать вовлеченность человека в процедуру идентификации, проводить процедуру идентификации «незаметно».

Отсюда, можно сказать, что использование бесконтактных смарт-карт повышает надежность схем идентификации и удобство для обычных людей.

### Выводы

Таким образом, использование смарт-карт, построенных на RFID-технологиях, в схемах биометрической идентификации увеличивает надежность этих схем. Реализация схем биометрической идентификации с использованием смарт-карт нужна для мест, где предъявлены высокие требования к безопасности.

### Литература:

1. Боршевников А.Е. Надежность схем биометрической идентификации, с использованием генерации ключевых последовательностей. / А.Е. Боршевников // Технические науки: традиции и инновации: материалы междунар. заоч. науч. конф. (г. Челябинск, январь 2012 г.). / Под общ. ред. Г.Д. Ахметовой. — Челябинск: Два комсомольца, 2012.
2. ГОСТ Р ИСО/МЭК 7816–1–2010.
3. М. Pavlova, G. Barthe, L. Burdy, M. Huisman and J. Lanet. Enforcing high-level security properties for applets// Smart Card Research and Advanced Applications VI //18th IFIP World Computer Congress, Kluwer Academic Publishers, Toulouse, 2004.
4. G. Avoine. Privacy issues in RFID banknote protection schemes// Smart Card Research and Advanced Applications VI //18th IFIP World Computer Congress, Kluwer Academic Publishers, Toulouse, 2004.

## Метод согласованной идентификации в задаче ректификации изображений

Гошин Егор Вячеславович, аспирант

Институт систем обработки изображений РАН

Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва

*В работе рассматривается задача ректификации изображений, заключающаяся в формировании строк соответственных точек на изображениях с использованием фундаментальной матрицы, формируемой по небольшому числу заданных соответственных точек. Для нахождения фундаментальной матрицы предлагается новый подход, основанный на согласованной идентификации.*

### Введение

Задача ректификации изображений, заключающаяся в формировании строк соответственных точек на изображениях, является одной из распространенных и востребованных задач обработки изображений. Эта проблема является актуальной в задачах построения цифровой модели рельефа (ЦМР), нахождения ключевых точек для формирования НОГ-дескрипторов в задаче распознавания и др.

Для построения преобразований используется так называемая фундаментальная матрица [1] [2], формируемая по небольшому числу заданных соответственных точек. Для нахождения фундаментальной матрицы обычно используется алгоритм RANSAC [3], [4]. При использовании этого алгоритма ищется единственный набор данных, наилучшим образом соответствующих модели в заданном смысле.

Популярность этого алгоритма связана с его высокой устойчивостью к грубым ошибкам типа сбоев. На сегодняшний день он признается одним из наиболее эффективных в условиях сильного зашумления исходных данных. Тем не менее, построение модели лишь на одном наборе данных, иногда приводит к грубым ошибкам в определении модели.

В настоящей работе предлагается новый подход к определению параметров моделей в условиях сильной зашумленности, основанный на согласованной идентификации [5]. Идея метода состоит в определении модели по некоторому подмножеству наиболее согласованных данных. В работе рассматривается применение этого метода к задаче определения фундаментальной матрицы.

### 1. Формулировка задачи построения фундаментальной матрицы

Рассмотрим общую задачу восстановления сцены по двум видам. Эта задача решается в рамках эпиполярной геометрии — проективной геометрии между двумя изображениями.

Пусть имеются две камеры с центрами проекций в точках  $O$  и  $O'$ , плоскости проекций  $\Pi$  и  $\Pi'$  этих камер, и некоторая точка  $P$  в пространстве (рис. 1).

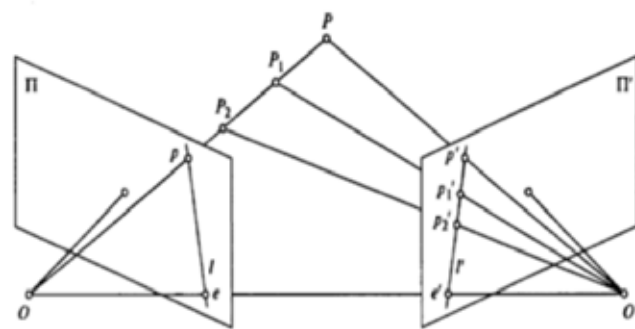


Рис. 1. Модель эпиполярной геометрии

Точки  $e$  и  $e'$ , пересечения линии  $OO'$  с плоскостями  $\Pi$  и  $\Pi'$ , называются эпиполюсами, а линии  $l$  и  $l'$ , пересечения плоскости  $OO'P$  с плоскостями  $\Pi$  и  $\Pi'$ , — эпиполярными линиями для точки  $P$ . Точки на двух изображениях, которые являются проекциями одной и той же точки сцены, называются соответственными.

Соответственные точки на двух проекциях связаны фундаментальной  $3 \times 3$ -матрицей  $F$ , в частности, для соответственных точек, координаты которых заданы  $3 \times 1$ -векторами  $x, x'$ :

$$x = \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} \quad x' = \begin{bmatrix} u' \\ v' \\ 1 \end{bmatrix}$$

выполняется условие

$$(x')^T F x = 0, \quad (1)$$

$$\text{где } F = \begin{bmatrix} F_{11} & F_{12} & F_{13} \\ F_{21} & F_{22} & F_{23} \\ F_{31} & F_{32} & F_{33} \end{bmatrix}.$$

Для одной пары заданных соответственных точек соотношение (1) является линейным однородным уравнением относительно коэффициентов  $F_{i,j}$ ,  $i, j = \overline{1,3}$  фундаментальной матрицы.

Для  $N$  пар ( $N \geq 8$ ) соответственных точек, полагая во всех соотношениях  $F_{33} = 1$ , можно записать систему  $N$  не-



однородных линейных уравнений [6] вида

$$\mathbf{y} = \mathbf{X}\mathbf{c} + \boldsymbol{\xi}, \quad (2)$$

где  $\mathbf{c}$  — вектор искомых параметров, составленный из коэффициентов фундаментальной матрицы  $F$ :

$$\begin{aligned} \mathbf{c} &= [c_1, c_2, \dots, c_8]^T = \\ &= [F_{11} \ F_{12} \ F_{13} \ F_{21} \ F_{22} \ F_{23} \ F_{31} \ F_{32}]^T, \end{aligned}$$

а  $N \times 8$ -матрица  $\mathbf{X}$  и  $N \times 8$ -векторы  $\mathbf{y}$  и  $\boldsymbol{\xi}$  определяются как

$$\mathbf{X} = \begin{bmatrix} u_1' u_1 & u_1' v_1 & u_1' & v_1' u_1 & v_1' v_1 & v_1' & u_1 & v_1 \\ u_2' u_2 & u_2' v_2 & u_2' & v_2' u_2 & v_2' v_2 & v_2' & u_2 & v_2 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ u_N' u_N & u_N' v_N & u_N' & v_N' u_N & v_N' v_N & v_N' & u_N & v_N \end{bmatrix},$$

$$\mathbf{y} = \begin{bmatrix} -1 \\ -1 \\ \vdots \\ -1 \end{bmatrix}, \quad \boldsymbol{\xi} = \begin{bmatrix} \xi_1 \\ \xi_2 \\ \vdots \\ \xi_N \end{bmatrix}.$$

Здесь  $\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_N$  — ошибки, связанные с неточным заданием координат соответственных точек.

Оценку  $\hat{\mathbf{c}}$  вектора  $\mathbf{c}$ , составленного из элементов фундаментальной матрицы, можно получить применяя метод наименьших квадратов (МНК). Поскольку МНК чувствителен к грубым ошибкам, которые могут иметь место при задании соответственных точек, обычно применяют алгоритм RANSAC.

Как уже отмечалось выше, алгоритм RANSAC обладая несомненно высокой точностью, в ряде случаев оказывается недостаточно надежным, т.к. для построения модели используется единственный набор данных. В настоящей работе исследуется возможность повышения надежности оценок за счет применения метода согласованной идентификации, как альтернативы RANSAC.

## 2. Описание алгоритма

В методе согласованной идентификации из исходной системы (2) формируется множество так называемых подсистем нижнего уровня:

$$\mathbf{y}_k = \mathbf{X}_k \mathbf{c}_k + \boldsymbol{\xi}_k, \quad k=1, 2, \dots, \quad (3)$$

где

$$\mathbf{y}_k = \mathbf{G}_k \mathbf{y}, \quad \mathbf{X}_k = \mathbf{G}_k \mathbf{X}, \quad \boldsymbol{\xi}_k = \mathbf{G}_k \boldsymbol{\xi},$$

$\mathbf{G}$  — диагональная матрица, составленная из нулей и единиц:  $\text{rank} \mathbf{G}_k = \dim \mathbf{G}_k = 8$  (рассматривается простейший случай согласованной идентификации, когда подсистемы нижнего уровня задаются квадратными ма-

трицами  $8 \times 8$ ). Ясно, что при этом число подсистем нижнего уровня не превышает  $C_N^8$ .

Вычисляя для каждой из построенных таким образом подсистем МНК-оценку:

$$\hat{\mathbf{c}}_k = [\mathbf{X}_k^T \mathbf{G}_k \mathbf{X}]^{-1} \mathbf{X}_k^T \mathbf{G}_k \mathbf{y}, \quad (4)$$

получаем множество  $\Xi$  всех возможных оценок на подсистемах нижнего уровня:

Аналогичным образом (из нулей и единиц) строится множество диагональных  $P \times P$ -матриц  $\mathbf{H}_l$ :

$$\text{rank} \mathbf{H}_l = P, \quad (8 < P < N), \quad l = \overline{1, L}, \quad L \leq C_N^P.$$

С использованием этих матриц формируются так называемые подсистемы *верхнего уровня*:

$$\tilde{\mathbf{y}}_l = \tilde{\mathbf{X}}_l \mathbf{c}_l + \tilde{\boldsymbol{\xi}}_l, \quad (5)$$

где

$$\tilde{\mathbf{X}}_l = \mathbf{H}_l \mathbf{X}, \quad \tilde{\mathbf{y}}_l = \mathbf{H}_l \mathbf{y}, \quad \tilde{\boldsymbol{\xi}}_l = \mathbf{H}_l \boldsymbol{\xi}, \quad l = \overline{1, L}.$$

Каждой подсистеме верхнего уровня принадлежит некоторое множество подсистем нижнего уровня и, соответственно, множество  $\Theta_l$  оценок (4):

$$\Theta_l = \left\{ \hat{\mathbf{c}}_k \in \Xi, \quad |\Xi| \leq C_N^8 \right\}, \quad |\Theta_l| \leq C_N^P.$$

Для характеристики множеств  $\Theta_l$  вводится критерий взаимной близости оценок:

$$W[\Theta_l] = \sum_{i,j=1}^K (\hat{\mathbf{c}}_{l,i} - \hat{\mathbf{c}}_{l,j})^2,$$

где  $K = C_P^8$ .

Множество  $\Theta_l$ , для которого  $W(\Theta_l)$  принимает минимальное значение, называют наиболее согласованным. Задача заключается в отыскании этого множества и построении на нем точечной оценки. По существу задача сводится к отысканию индекса  $\hat{l}$ :

$$W(\hat{l}) = \min_l W(\Theta_l).$$

## 3. Результаты экспериментальных исследований

Экспериментальные исследования метода согласованной идентификации проводились с целью проверки применимости этого метода к поставленной задаче.

На рисунках 2 и 3 приведен примеры нахождения соответственных точек и ректификации стереоизображений. Показанные на рисунках эпиполярные линии определены с использованием фундаментальной матрицы, которая оценивалась методом согласованной идентификации. Несовпадение соответственных точек с эпиполярными пря-

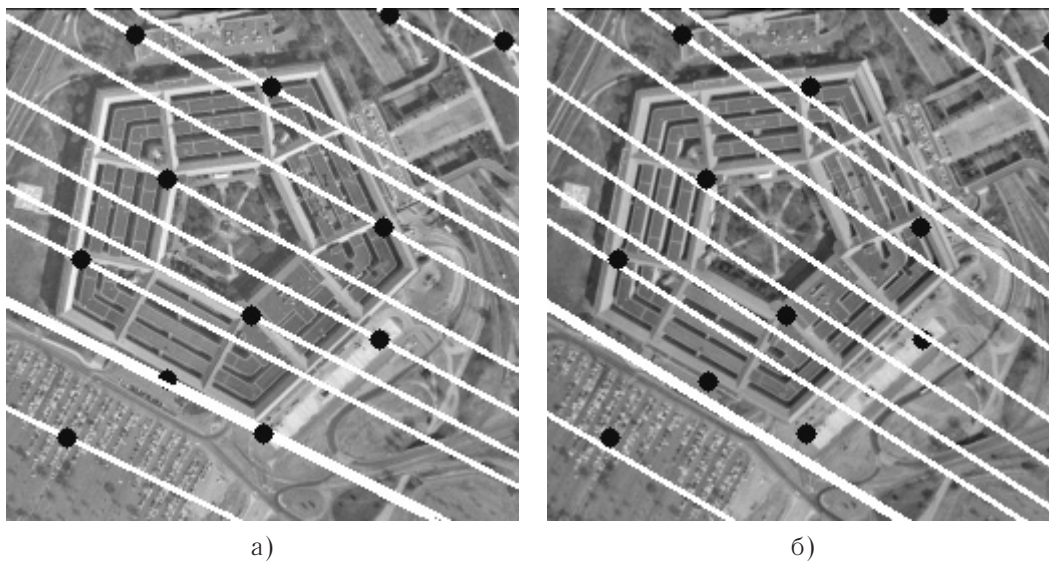


Рис. 2. Эпиполярные прямые

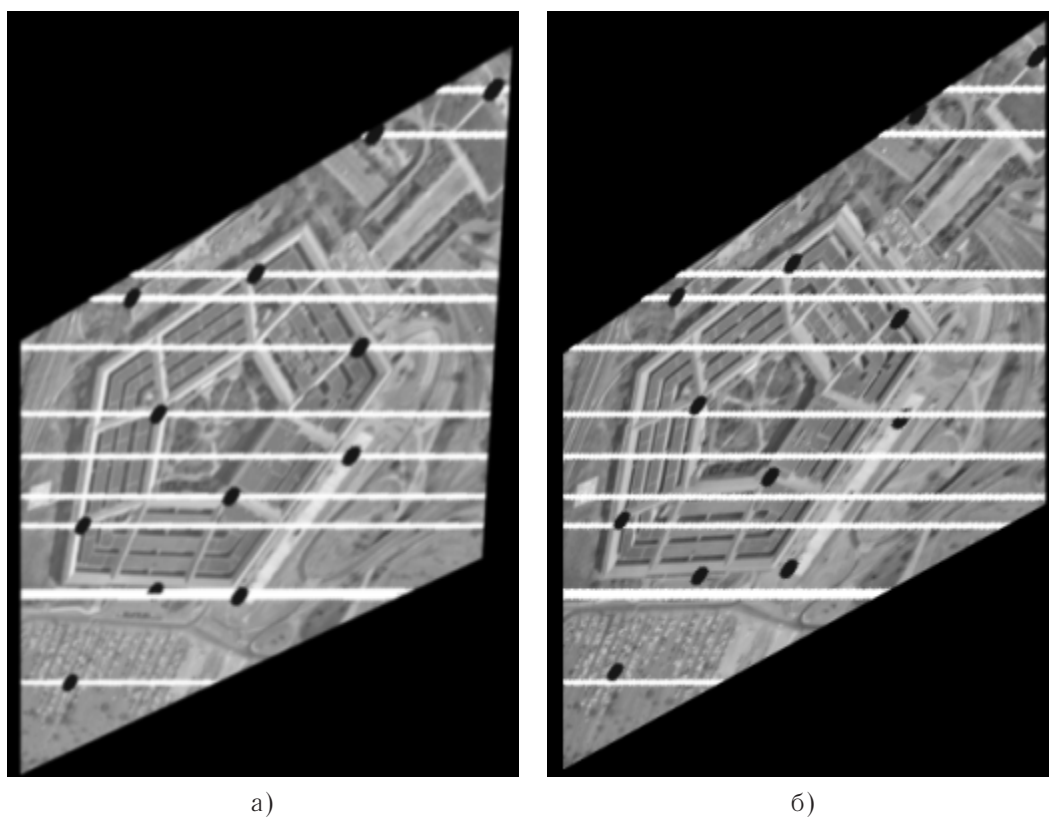


Рис. 3. Ректифицированные изображения

мыми связано с особенностями нахождения фундаментальной матрицы.

В дальнейшем, соответственные точки находятся на эпиполярных линиях любым известным методом, например, с использованием нормированного коэффициента корреляции. Применение метода согласованной идентификации позволяет добиться высокой точности и надежности определения коэффициентов фундаментальной матрицы, что в

конечном итоге обеспечивает высокую точность обнаружения соответственных точек.

### **Заключение**

Показана возможность достижения высокой точности формирования фундаментальной матрицы и определения соответственных точек с использованием метода согла-

сованной идентификации. К сожалению, вычислительная сложность метода согласованной идентификации выше, чем у алгоритма RANSAC, однако это не является серьезным препятствием для применения метода, т.к. достижение мак-

симальной точности обычно является важнейшим требованием. Кроме того, при реализации на многопроцессорных системах это не является серьезной проблемой, т.к. алгоритм обладает высокой степенью параллелизма.

#### Литература:

1. Mallon, J. Projective Rectification from the Fundamental Matrix / John Mallon, Paul F. Whelan // Image and Vision Computing. — 2005. — Vol. 21. — P. 643–650.
2. Hartley R.I. Theory and Practice of Projective Rectification / Richard I. Hartley // International Journal of Computer Vision. — 1999. — Vol. 35. — P. 115–127.
3. Fischler M.A. Random Sample Consensus: A Paradigm for Model Fitting with Applications to Image Analysis and Automated Cartography / Martin A. Fischler, Robert C. Bolles // Communications of the ACM. — 1981. — Vol. 24. — P. 381–392.
4. Torr P.H.S. The Development and Comparison of Robust Methods for Estimating the Fundamental Matrix / P.H.S. Torr, D.W. Murray // International Journal of Computer Vision. — 1997. — Vol. 24. — P. 271–300.
5. Фурсов В.А. Согласованная идентификация управляемого объекта по малому числу наблюдений / В.А. Фурсов // Мехатроника, автоматизация, управление. — 2010. — № 3 (108). — С. 2–8. — ISSN 1684–6427.
6. Форсайт Д. Компьютерное зрение. Современный подход / Форсайт Д., Понс Ж. — М.: Издательский дом «Вильямс», 2004. — 928 с.

## Оптимизация процесса разработки картотечных информационных систем, интегрированных с системой межведомственного электронного взаимодействия

Григоров Антон Сергеевич, аспирант  
Череповецкий государственный университет

В настоящее время во всех субъектах Российской Федерации осуществляется реализация программы по переходу к оказанию государственных и муниципальных услуг в электронном виде в соответствии с Федеральным законом Российской Федерации от 27 июля 2010 г. N 210-ФЗ «Об организации предоставления государственных и муниципальных услуг». Согласно стратегии развития информационного общества в РФ планируется перевести все государственные услуги в электронный вид к 2014 году. Основными элементами комплекса информационных систем (ИС) для предоставления государственных и муниципальных услуг являются:

1. Реестр государственных и муниципальных услуг (далее «реестр»), содержащий описание (общие сведения, регламенты, шаблоны документов) услуг, оказываемых органами государственной власти и органами местного самоуправления.

2. Единый портал государственных и муниципальных услуг (далее «портал») в сети Интернет, через который заявители могут узнать информацию по услуге, выполнить заявку на предоставление услуги, проконтролировать этапы оказания услуги и др.

3. Система межведомственного электронного взаимодействия (СМЭВ), которая включает в себя информационные базы данных, содержащие сведения об используемых в различных органах государственной и му-

ниципальной власти программных и технических средствах, обеспечивающих возможность доступа к их информационным системам и электронным сервисам. Кроме этого СМЭВ обеспечивает процесс обмена сообщениями между информационными системами, подключёнными к СМЭВ.

4. Информационные системы и электронные сервисы, ведением которых занимаются органы и организации, участвующие в оказании услуг.

На рисунке 1 показана схема взаимодействия между перечисленными элементами. Так различные организации заполняют реестр, указывая какие услуги они предоставляют. Добавленные в реестр услуги публикуются на портале, и пользователи, зарегистрированные на портале, могут через свой личный кабинет создать заявку на получение той или иной услуги. Сформированная заявка передается организации, ответственной за оказание услуги. В случае, когда для оказания услуги требуется получение дополнительных данных, информационная система отправляет запрос в СМЭВ, которая переадресует запрос информационной системе, зарегистрированной в СМЭВ в качестве провайдера требующихся данных.

Наиболее проблемным этапом создания единой системы является процесс интеграции СМЭВ с информационными системами организаций, оказывающих услуги. Программное обеспечение, используемое для организации работы реестра, портала и СМЭВ, разрабатывалось

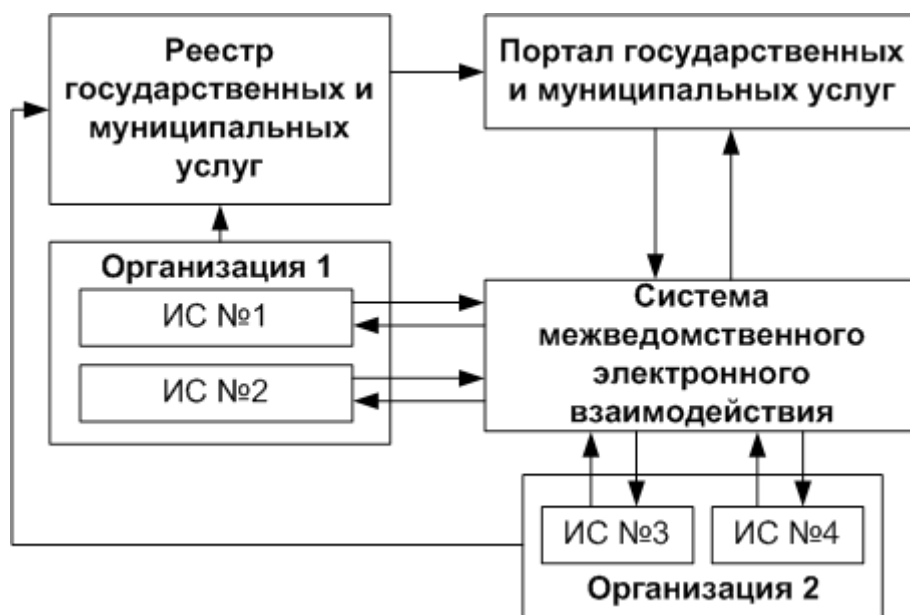


Рис. 1. Организация предоставления услуг в электронном виде

непосредственно с учётом требования законодательства и принятой концепции проекта «Электронное правительство», однако большинство информационных систем, данные из которых непосредственно должны использоваться при оказании услуг, разрабатывались задолго до начала процесса перехода на электронное оказание услуг, и при их разработке не рассматривалась возможность взаимодействия с другими системами. Последнее в настоящее время приводит к значительным трудностям, с которыми сталкиваются специалисты, занимающиеся интеграцией подобных систем со СМЭВ. В то же самое время другой проблемой является то, что многие организации, которые должны принимать участие в межведомственном взаимодействии, попросту не имеют никаких информационных систем. Это приводит к необходимости в сжатые сроки разрабатывать информационные системы, производить ручной ввод данных, а затем осуществлять интеграцию со СМЭВ. Так как многие подобные информационные системы выполняют схожие функции, заключающиеся в хранении и редактировании картотечной информации, то актуальной является задача разработки шаблонных решений и механизмов, позволяющих в кратчайшие сроки создавать типовые системы для ведения картотечной информации, способные осуществлять взаимодействие со СМЭВ.

**Подход к разработке картотечных информационных систем, основанный на предметно-ориентированной модели метаданных**

В работе [1] был рассмотрен подход к созданию картотечных информационных систем, основанный на предметно-ориентированной модели метаданных. Для того, чтобы уменьшить затраты на внедрение и разработку новых информационных систем было предложено создать

программный комплекс, представляющий собой не только конечный программный продукт, готовый к использованию в конкретной предметной области, но и используемый как платформа для разработки новых систем [2]. В качестве инструмента, с помощью которого можно создавать однотипные ИС, предлагается использовать специально разработанный для таких целей предметно-ориентированный язык программирования (Domain-Specific Language, DSL) [3]. Процесс разработки ИС заключается в выполнении 3 последовательных шагов:

1. представления объектов предметной области в виде UML-диаграмм, описанных в соответствии со специально разработанным UML-профилем;
2. трансформации UML-диаграмм в XML-представление, пригодное для машинной обработки;
3. генерации на основе XML-представления структурных элементов базы данных, программного кода «картотечной» бизнес-логики («вставить», «сохранить», «удалить»), пользовательских меню, шаблонов отчетов, профилей пользователей и др.

Можно выделить 2 различных пути, по которым разработчики, имеющие в качестве инструмента подобное CASE-средство, могут пойти при создании картотечных систем:

1. ИС максимально подробно проектируется с помощью UML, и затем на основе созданной модели генерируется структура базы данных и прикладной программный код. При этом изменения, которые разработчикам понадобится вносить в сгенерированный код бизнес-логики, имеют незначительный характер.
2. Структура базы данных и код бизнес-логики разрабатываются программистами самостоятельно, а модели используются для описания пользовательского интерфейса ИС и разделения прав доступа.



Рис. 2. Последовательность шагов моделирования и генерации ИС

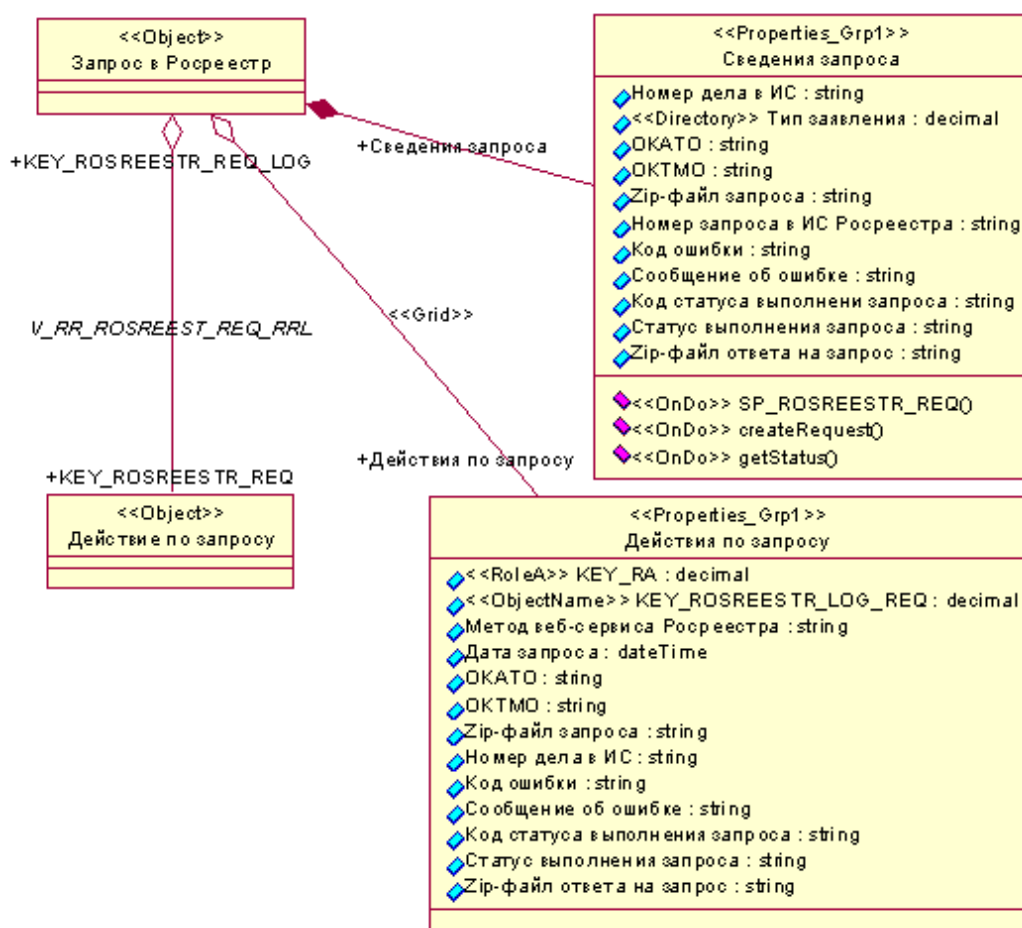


Рис. 3. Объектно-атрибутивный состав запроса

Первый подход чаще всего выгодно применять, когда ИС разрабатывается «с нуля» и предметная область описывается тривиальными «карточечным» бизнес процессами. Последовательность разработки можно разбить на несколько итераций, на каждой из которых можно выполнить процесс генерации и получить работоспособный макет ИС. Достоинством данного подхода является ещё и то, что если в ходе эксплуатации системы появляется потребность в расширении структуры и функциональности ИС, то моделирование дополнительных компонентов и их интеграция с ранее сгенерированной базой данных и программным кодом в ряде случаев не потребует значительных дополнительных затрат.

Второй подход следует применять в том случае, когда в работе создаваемой ИС будут использоваться базы

данных, спроектированные для предыдущих версий системы. Положительным моментом в данном подходе является то, что разработчики могут создавать более оптимизированные структуры баз данных, чем те, которые получаются в результате автоматической генерации. Однако итеративный процесс разработки, применяемый в первом подходе, в данном случае потребует значительно большего объема ручного труда разработчика.

### **Процесс создания адаптера для интеграции картотечной информационной системы со СМЭВ**

Для того чтобы информационная система была подключена к СМЭВ, она должна быть зарегистрирована в Минкомсвязи России и соответствовать требованиям ме-



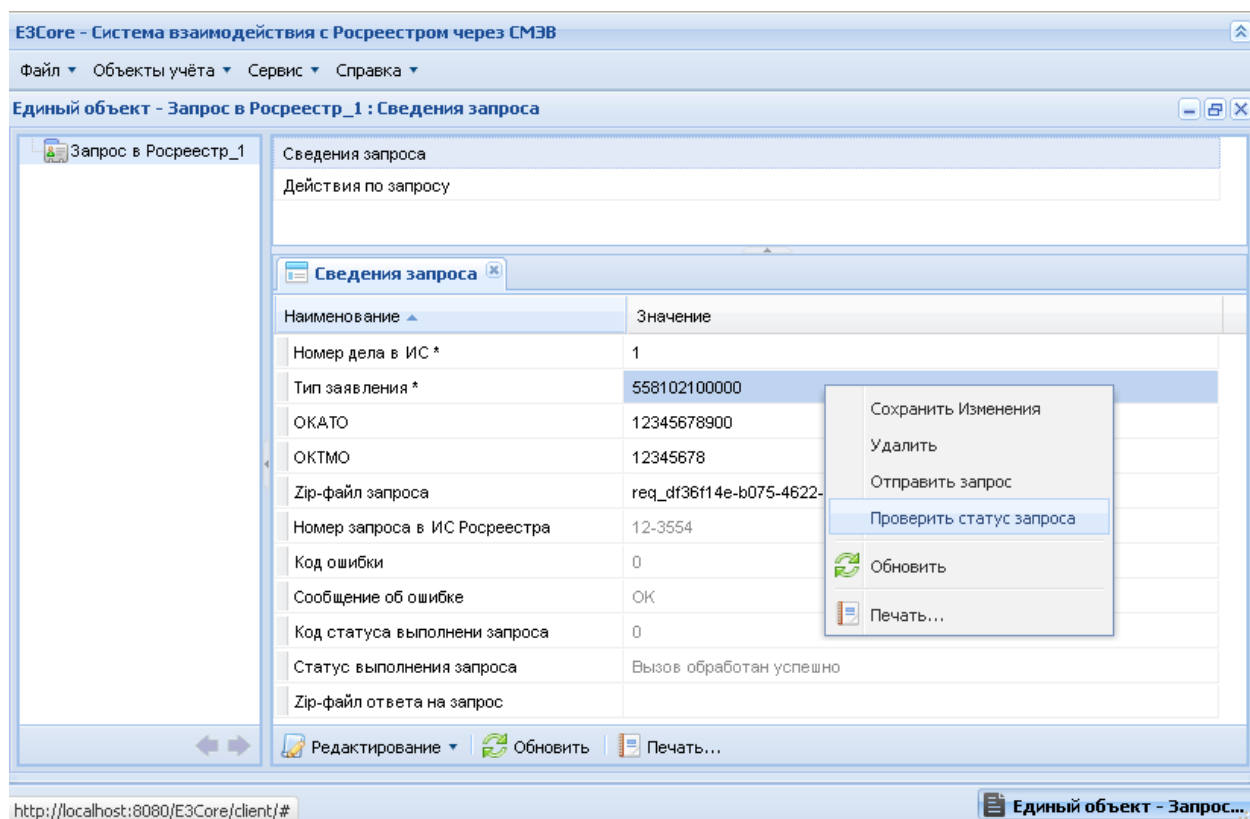


Рис. 4. Пример пользовательского интерфейса карточки запроса

тодических рекомендаций [4], описывающих правила создания электронных сервисов и механизмов применения электронной цифровой подписи. Для того чтобы из информационной системы можно было отправлять сообщения другим участникам межведомственного электронного взаимодействия, разработчики системы должны реализовать набор специальных адаптеров СМЭВ. Адаптер СМЭВ — это программный модуль, позволяющий отправлять сообщения веб-сервисам сторонних ведомственных систем и обрабатывать полученные результаты. В общем виде адаптер состоит из 4 частей:

1. Программный код, отвечающий за отправку и прием сообщений от веб-сервиса, а так же сохранение истории взаимодействия в базе данных. Данная часть адаптера разрабатывается программистом и не может быть сгенерирована автоматически в виду того, что формат передаваемых данных для каждого веб-сервиса сторонних ведомственных систем является уникальным.

2. Пользовательский интерфейс. Согласно методическим рекомендациям электронные сообщения в системе межведомственного электронного взаимодействия передаются в формате XML, т.е. атрибутивный формат этих сообщений может быть представлен в виде набора объектов картотечной информационной системы. Поэтому данная часть адаптера может быть описана в процессе моделирования основных блоков информационной системы.

3. Объекты базы данных, которые используются для хранения истории взаимодействия с веб-сервисом: состав

отправленных запросов и полученных ответов. Данная часть может быть как сгенерирована автоматически из описания модели, так и разработана программистами.

4. Компонент подписания отправляемых сообщений электронной цифровой подписью.

В качестве примера рассмотрим основные шаги и шаблоны по созданию типового адаптера.

На первом шаге изучается структура веб-сервиса, для которого создается адаптер. Для каждого метода веб-сервиса разрабатывает структура пользовательского интерфейса, описывающая атрибутивный состав вызываемого метода. Также должны быть описаны объекты предметной области, отвечающие за ведение истории взаимодействия с сервисом. Пример UML-представления и программной реализации пользовательского интерфейса представлены на рисунках 3 и 4.

Далее формируется структура базы данных. Для каждой карточки пользовательского интерфейса создается таблица, в которой будет храниться актуальная на данный момент информация по выполняемому запросу: значения отправленных веб-сервису атрибутов и информация о полученных результатах. Также для каждой карточки создается специальная таблица, в которой хранится вся история изменений значений атрибутов карточки запроса. Пример данных таблиц приведен на рисунке 5.

Следующим шагом является написание программного кода, отвечающий за отправку и прием сообщений от веб-сервиса, а так же сохранение истории взаимодействия в

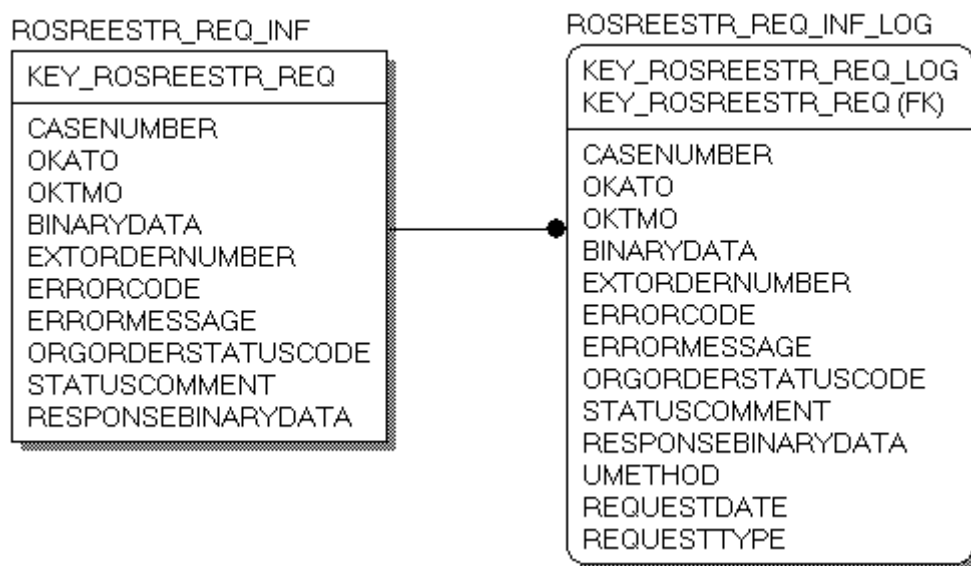


Рис. 5. Структура таблиц для хранения информации по выполняемому запросу

базе данных. Данный этап разработки можно автоматизировать с помощью специальных библиотек по генерации клиентов для веб-сервисов, используемых в различных языках программирования. Например, для систем, разрабатываемых на Java или C++, можно воспользоваться фреймворком Apache Axis.

Большинство адаптеров, используемых для работы через СМЭВ, имеют сходную структуру, чаще всего от-

личающуюся друг от друга только атрибутивным составом карточки запроса. Поэтому в процессе создания новых адаптеров взаимодействия через СМЭВ для картотечных ИС можно применять шаблонный алгоритм, приведенный выше, и включающий в себя частичную генерацию программного кода и структуры базы данных, что увеличивает скорость разработки новых ИС.

#### Литература:

1. Григоров А.С. Подход к разработке картотечных информационных систем, основанный на предметно-ориентированной модели метаданных [Текст] / А.С. Григоров // Научно-технические ведомости СПбГПУ Сер. Информатика. Телекоммуникации. Управление. — 2011. — №6 (том 2). — С. 59–63.
2. Григоров Ант.С. Создание информационных систем для муниципальных образований [Текст] / Ант.С. Григоров, Анд.С. Григоров // Информатизация процессов формирования открытых систем на основе СУБД, САПР, АСНИ и систем искусственного интеллекта (ИНФОС-2009): Материалы 5-й межд. научно-техн. конф. — Вологда: ВоГТУ, — 2009. — С. 85–88.
3. Григоров А.С. Предметно-ориентированный язык программирования для разработки информационных систем для муниципальных образований [Текст] / А.С. Григоров // Объектные системы — 2010 (Зимняя сессия): Материалы II Международной научно-практической конференции. Россия, Ростов-на-Дону, 10–12 ноября 2010 г / под общ.ред. П.П. Олейника. — Ростов-н/Д, — 2010. — С. 55–59.
4. Методические рекомендации по разработке электронных сервисов и применению технологии электронной подписи при межведомственном электронном взаимодействии. Версия 2.4.4 URL: <http://smev.gosuslugi.ru/portal/api/files/get/942> (дата обращения: 30.03.2012).

## Разработка автоматизированной системы обнаружения и идентификации транспортных средств для измерения плотности транспортного потока

Демиденков Константин Андреевич, аспирант;

Мельников Игорь Игоревич, аспирант

Белорусско-Российский университет (Беларусь)

Научный руководитель: Евсеенко Игорь Антонович, кандидат технических наук, доцент

В последнее десятилетие автомобильный парк Беларуси значительно вырос и продолжает увеличиваться. По данным Министерства транспорта и коммуникаций Республики Беларусь по состоянию на 01.01.2010 он насчитывал 3433 тыс. автотранспортных средств, из которых 83,6% приходилось на автомобили [8, с. 104]. За период с 2005 по 2009 гг. число автотранспортных средств возросло на 21 %, а уровень автомобилизации населения Беларуси повысился с 280 до 340 автотранспортных средств на 1 тыс. населения. Все это привело к увеличению плотности транспортного потока. Однако пропускная способность дорог остается прежней, что приводит к образованию заторов и пробок. Такая ситуация также характерна и для других стран, в частности, Республики Украины и Российской Федерации [3, с. 505]. Улучшить ситуацию может автоматизированное регулирование дорожного движения.

Для этих целей во многих странах разработаны автоматизированные системы управления дорожным движением (АСУДД) [3, с. 505–506]. Так, в Республике Беларусь разработана и внедрена в эксплуатацию автоматизированная система управления дорожным движением «Агат» [1], аналог автоматизированных систем управления дорожным движением, разработанных в Российской Федерации, и интеллектуальных транспортных систем, разработанных в США и ЕС. Все эти системы нуждаются в сборе и оперативной обработке исходных данных, в частности данных о плотности транспортного потока и его скорости.

Сбор информации, как правило, осуществляется посредством датчиков различного типа: контактные, фотоэлектрические, ультразвуковые и магнитные [4, с. 111–113]. Они относительно дешевы, просты в установке и эксплуатации, но имеют очень ограниченный угол обзора и ряд других недостатков (низкая износостойкость, большое влияние атмосферных загрязнений и погоды, акустические помехи и др.) [4, с. 111–113]. Особое место занимают видеокамеры, или оптические датчики, которые, как правило, используются для обнаружения внештатных ситуаций на дороге. С их помощью осуществляется видеоконтроль дорожного движения, но есть и другие способы их применения, о которых будет сказано ниже.

Видеокамеры могут применяться совместно с детекторами другого типа для одновременного измерения скорости движения автомобиля и его идентификации (распознавания номера, определение класса, цвета и т.п.), как это сделано в системе «VOCORD Traffic» [7]. В ней

посредством видеокамер, установленных над участком автомагистрали, и специального программного обеспечения производится фотофиксация транспортного средства и распознавание его номерного знака, а с помощью радаров — определение его скорости.

Другая полезная возможность, которая заложена в системе видеонаблюдения за транспортным потоком — анализ его статистики (вычисление плотности и средней скорости потока и др.). Такая возможность активно используется в системе видеоконтроля «КОМКОН Traffic Control Equipment» [5]. В ней для организации видеоконтроля применяется несколько типов камер, которые могут быть установлены в соответствии с одним из нескольких возможных вариантов (см. рис. 1).

Первый тип — панорамные камеры низкого разрешения для мониторинга транспортного потока и определения нарушений. Обычно применяется одна камера на одно направление движения.

Второй тип камер — камеры высокого разрешения — применяются для фиксации номерных знаков транспортных средств. Обычно используется одна камера на две полосы движения.

Третий тип — роботизированная камера с возможностью масштабирования. Применяется для общего наблюдения за перекрестком. Количество таких камер определяется сложностью дорожных ситуаций, возникающих на перекрестке.

Видеокамеры позволяют получать визуальную информацию о дорожной обстановке сразу с нескольких полос благодаря широкому углу обзора. Но обработка видеозображения, причем не всегда высокого качества, с последующим распознаванием движущихся объектов на нем является ресурсоемкой задачей, требующей нередко специализированного и дорого оборудования.

На данный момент в городе Могилеве не внедрена никакая автоматизированная система управления дорожным движением, однако на некоторых перекрестках необходимость автоматизированного управления режимами работы светофоров стоит достаточно остро. Возникла потребность в создании относительно недорогой и простой в освоении автоматизированной системы обнаружения и идентификации транспортных средств с целью слежения за транспортными средствами и сбора информации о плотности транспортного потока и скорости ее изменения. Это позволило бы оперативно менять режимы работы светофоров на перекрестках в зависимости от ин-

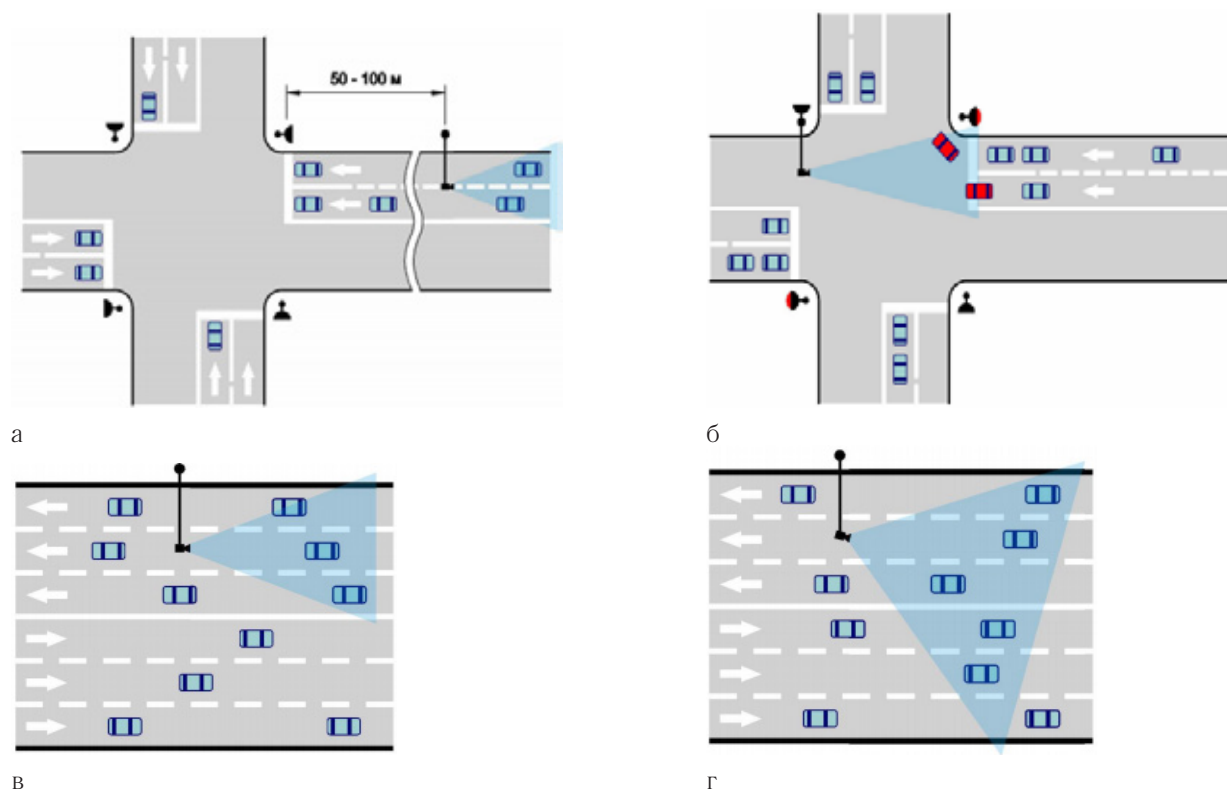


Рис. 1. Варианты установки камер на перекрестке и перегоне: а) установка камеры на подъезде к перекрестку; б) установка камеры на перекрестке; в) установка камеры на перегоне с захватом одного направления движения; г) установка камеры на перегоне с захватом двух направлений движения

тенсивности движения транспортных средств, предупреждая образование заторов.

Данная система должна не требовать дорогого специализированного оборудования, видеоконтроль должен осуществляться посредством камер панорамного типа с низким разрешением. При этом быстродействие такой системы должно быть на уровне быстродействия аналогичных модулей в рамках существующих автоматизированных систем управления дорожным движением или систем видеоконтроля, уже применяемых в Республике Беларусь (например, АСУДД «АГАТ»), а также в Российской Федерации (например, «VOCORD Traffic») и в Республике Украина (например, «КОМКОН Traffic Control Equipment»).

Для того чтобы использовать более дешевые универсальные, а не специализированные и, как правило, более дорогие аппаратные средства, осуществляя с их помощью ресурсоемкую обработку видеоизображения за достаточно короткий промежуток времени, авторы решили разработать такую систему с применением параллельных вычислений. Для решения данной задачи можно использовать параллельные системы с архитектурой SIMD и MIMD по классификации Флинна [2, с. 97–99], а также многопоточные графические процессоры с архитектурой CUDA [9]. Сегодня бурный прогресс в области многоядерных и многопроцессорных систем позволяет распараллеливать сложные алгоритмы цифровой обработки видеоизображения. Например, разбивать изображение на области и

параллельно обрабатывать каждую из них, что ускоряет процесс обработки всего изображения в целом. Таким образом, можно быстро и дешево организовывать высокопроизводительные вычислительные мощности.

Ускорить процесс распознавания можно путем, например, распределения задачи на множестве нейронных сетей [10, с. 85–87]. Распределением данных между процессами занимается особый выделенный процесс, который условно можно назвать главным процессом. После распределения данных каждый процесс выполняет работу над своим блоком данных и затем отправляет результат главному процессу, который обобщает все принятые данные и выносит решение о результате распознавания. В качестве результата распознавания главный процесс должен выбрать результат той нейронной сети, которая наиболее уверена в своем ответе.

Анализ систем обработки видеоизображения и распознавания объектов на нем, показал, что процесс обработки и анализа видеоизображения идентичен для всех подобных систем [6, с. 7–20]. Он состоит из четырех этапов: выделение переднего плана, выделение и классификация движущихся объектов, отслеживание траектории движения найденных объектов, или трекинг, распознавание и описание движения найденных объектов.

На данный момент авторы реализуют несколько возможных вариантов работы системы. На рисунке 2 показана общая схема работы системы, при которой процесс

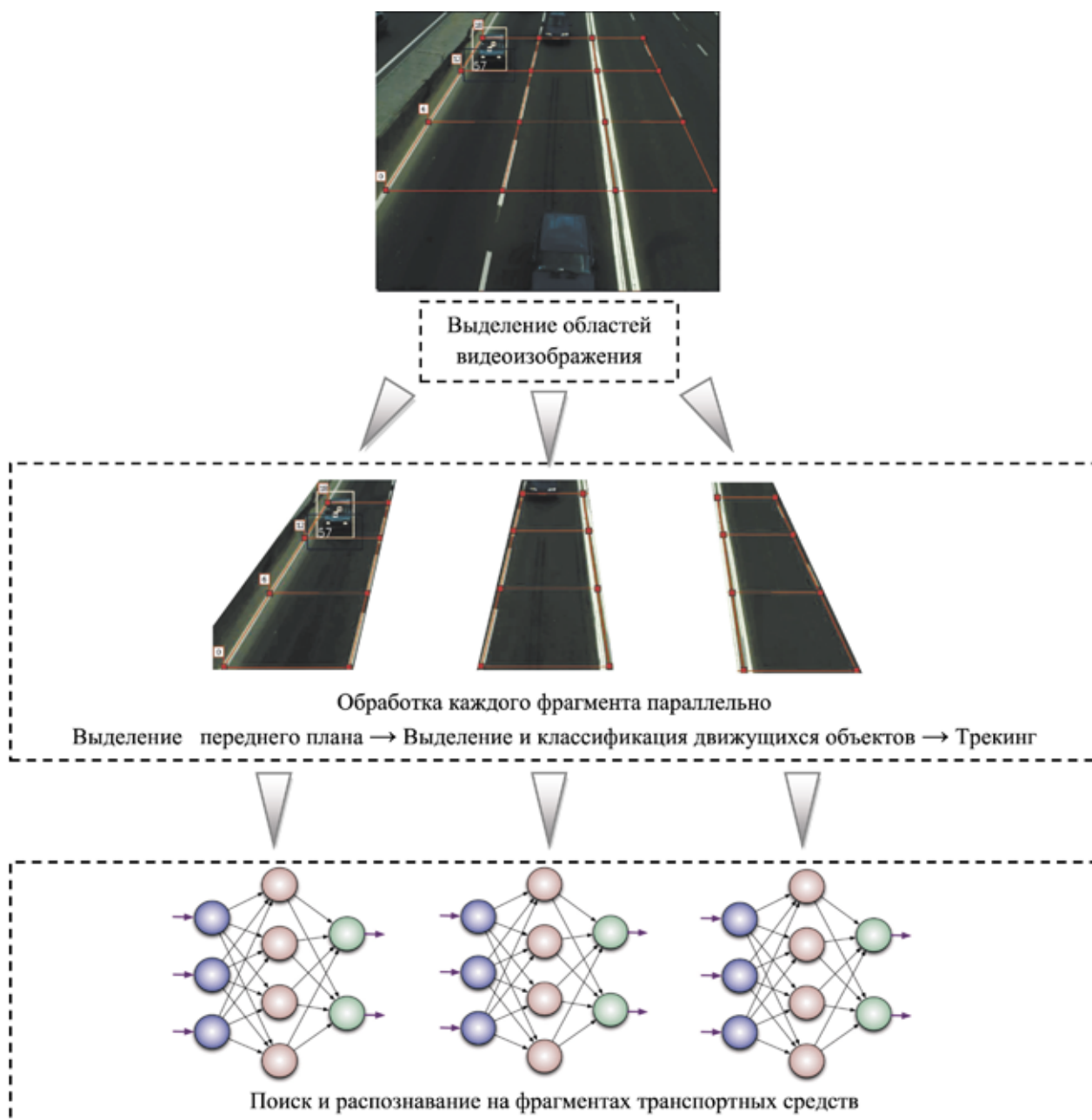


Рис. 2. Первый вариант общей схемы работы системы

цифровой обработки видеоизображения и распознавания объектов распараллелен изначально (за основу взят кадр из презентации системы «VOCORD Traffic», как наиболее схожей по своим характеристикам с разрабатываемой системой). Кадр, приходящий с видекамеры, разбивается главным процессом, например, на три фрагмента (по количеству полос). Данные этих фрагментов передаются трем рабочим процессам, которые параллельно осуществляют обработку видеоизображения и оперируют нейронными сетями одной и той же топологии с целью распознавания транспортных средств, появившихся в кадре.

Такая схема работы позволяет ускорить процесс распознавания транспортных средств в рамках всего кадра, но существует проблема двойного распознавания

транспортного средства при его перестроении с одной полосы на другую в зоне видеонаблюдения, которая может быть решена путем использования трекинга.

На рисунке 3 показан другой вариант общей схемы работы системы, при которой процесс цифровой обработки видеоизображения осуществляется главным процессом, а вот поиск и распознавание объектов производится параллельно разными рабочими процессами, оперирующими разными по топологии нейронными сетями.

Каждый рабочий процесс определяет, относится ли выделенный объект к его области компетенции, и если относится, то производит распознавание. В таком случае одна нейронная сеть может быть обучена с высокой точностью распознавать один класс автомобилей (например,



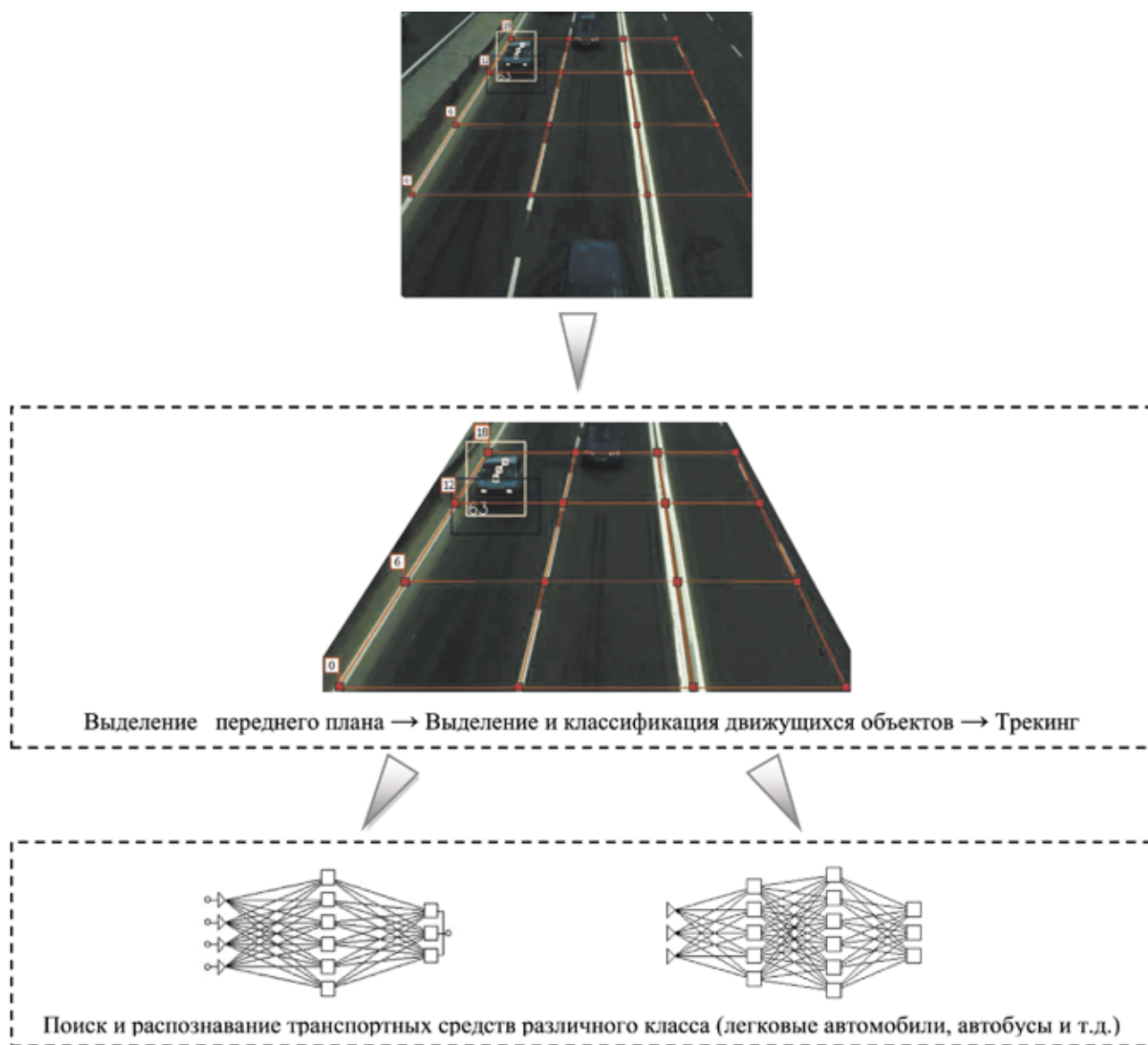


Рис. 3. Второй вариант общей схемы работы системы

легковые), другая — другой класс (например, грузовики определенного типа), третья — третий класс (например, автобусы) и т.д.

Разрабатывается и еще одна схема работы системы, суть которой в следующем. Как известно, построение (выделение) переднего плана является наиболее важным этапом обработки, поскольку именно он определяет дальнейшее качество системы в целом и позволяет значительно сократить объем вычислений путем обработки только тех пикселей, которые относятся к переднему плану. Существует несколько методов построения переднего плана: метод вычитания фона, вероятностные методы, методы временной разности и т.д. Каждый из них обладает своими преимуществами и недостатками. Учитывая постоянно изменяющееся состояние фона при видеонаблюдении за дорогой из-за освещенности и атмосферных явлений, существует необходимость в быстрой

адаптации системы к этим изменениям. Это можно достичь путем использования различных методов обработки видеоизображения в рамках одной и той же системы в зависимости от сложившейся ситуации. В этом случае благодаря параллельным вычислениям можно осуществить обработку одного и того же кадра или фрагмента кадра разными процессами одновременно (см. рис. 4).

Эти процессы будут оперировать разными алгоритмами цифровой обработки видеоизображения и нейронными сетями различной топологии. Тот процесс, который дал результат приемлемой точности быстрее всех, «выигрывает», остальные отскапливаются. Авторы полагают, что в таком случае можно ускорить процесс адаптации системы к изменяющимся факторам внешней среды. Каждый процесс оперирует комплексом алгоритмов, которые могут давать точный результат при одних условиях внешней среды, а в других быть бесполезными. Например, метод оптического

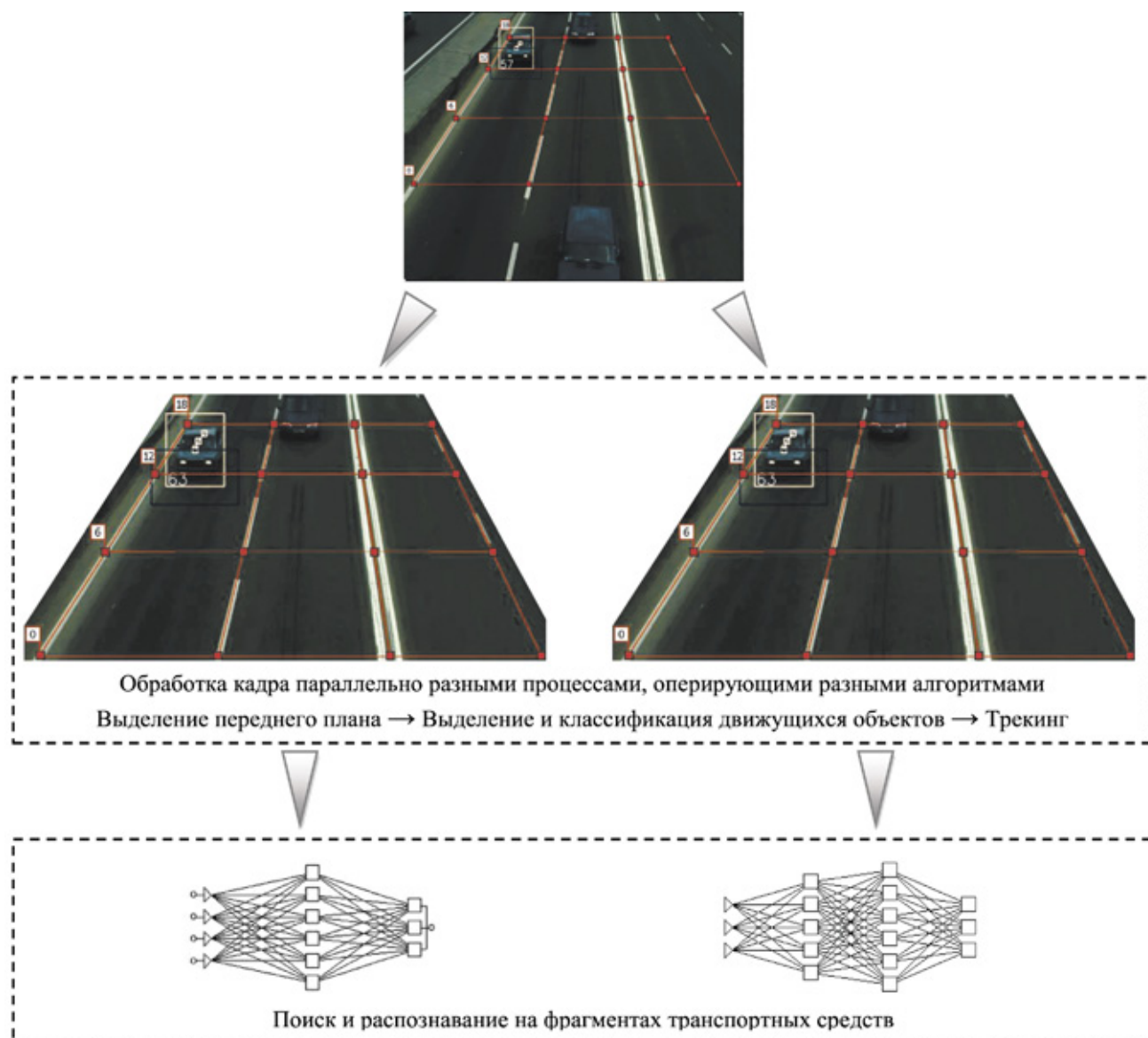


Рис. 4. Третий вариант общей схемы работы системы

потока позволяет с высокой точностью отделить фон от переднего плана, но он чувствителен к шумам, т.е. данный алгоритм хорошо покажет себя при хорошей видимости, в то время как в худших условиях целесообразнее будет применить иной метод или группу методов (например, метод временной разности совместно с методом вычитания фона).

На данный момент авторы реализуют именно эти три возможные схемы работы системы в поисках наиболее оптимальной из них по скорости распознавания и скорости адаптации к изменяющимся факторам внешней среды (туман, ночь, смог, яркий день с хорошей видимостью и т.п.).

Не исключено, что исследования приведут к выработке новых схем.

Разрабатываемая система может быть использована как независимо, так и как модуль в рамках уже существующих систем управления дорожным движением, сохраняя или даже увеличивая при этом показатели быстродействия процесса обнаружения и идентификации транспортных средств. Авторы считают также возможным использование системы и в других областях: дефектоскопия, определение объектов, находящихся перед движущимся транспортным средством и др.

#### Литература:

1. Автоматизированная система управления дорожным движением «Агат» (АСУДД «Агат») [Электронный ресурс] / АГАТ – системы управления. Режим доступа <http://www.agat.by/products/transport/dd/asudd-agat/> (дата доступа 25.03.2012 г.).

2. Воеводин, В.В. Параллельные вычисления / В.В. Воеводин, Вл.В. Воеводин. — СПб.: БХВ-Петербург, 2002. — 608 с. : ил.
3. Зуев А.Л. Программный комплекс моделирования и оптимизации транспортных потоков / А.Л. Зуев, В.Н. Неспирный // Донбас-2020: перспективы розвитку очима молодих вчених: Матеріали V науково-практичної конференції ДонТУ. — Донецьк, 2010 г. — С. 505–509.
4. Кожевников В.И. Автоматизированная система управления дорожным движением / В.И. Кожевников [и др.] // Вестник Самарского государственного университета. — Самара, 1995. — №. 1 (6). — С. 110–118.
5. КОМКОН Traffic Control Equipment [Электронный ресурс] / КОМКОН НПП «Система + Сервис». Режим доступа <http://komkon.ua/programs/tce.html> (дата доступа 26.03.2012 г.).
6. Лукьяница А.А. Цифровая обработка видеоизображений / А.А. Лукьяница, А.Г. Шишкин. — М.: «Ай-Эс-Эс Пресс», 2009. — 518 с.
7. Система распознавания номеров и автоматической фото- и видеофиксации нарушений правил дорожного движения «VOCORD Traffic» [Электронный ресурс] / VOCORD Системы видеонаблюдения и аудиорегистрации. Режим доступа <http://www.vocord.ru/218/> (дата доступа 26.03.2011 г.).
8. Состояние окружающей среды Республики Беларусь : нац. доклад / М-во природ. ресур. и окружающей среды Республики Беларусь, Гос. науч. учр-е «Инс-т природопользования Нац. академ. наук Беларуси» . — Минск : Белтаможсервис, 2010. — 150 с.
9. Что такое CUDA? [Электронный ресурс] / CUDA Zone nVidia. Режим доступа [http://www.nvidia.ru/object/what\\_is\\_cuda\\_new\\_ru.html](http://www.nvidia.ru/object/what_is_cuda_new_ru.html) (дата обращения 01.15.2012 г.).
10. Ясинский Ф.Н. Распознавание большого количества образов при помощи нейронных сетей с использованием многопроцессорных систем / Ф.Н. Ясинский, А.С. Мочалов // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. — Иваново, 2011. — № 2. — С. 85–87.

## Программное обеспечение оптического комплекса исследования и контроля качества струи распыленного топлива

Маецкий Александр Владимирович, аспирант

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова

От качества процесса распыливания топлива зависит последующее сгорание рабочей смеси, а значит выходные характеристики двигателя в целом: экономичность, экологичность, мощность и другие. При визуальном наблюдении качественно распыливаемое топливо должно быть туманообразным, без сплошных струек и легко различимых местных сгущений [1].

Один цикл распыливания занимает по времени до 6 мс, поэтому без специальной высокоскоростной аппаратуры оценить качество струи практически невозможно. С целью исследования процесса распыливания топлива был разработан пакет программ в среде Delphi [2], позволяющий обрабатывать скоростные видеоизображения топливных струй. Видеоизображения были получены на стенде скоростной видеорегистрации топливных струй на базе скоростной видеокамеры «ВидеоСпринт» производства ЗАО «НПК Видеоскан» [3].

Программный пакет состоит из двух программ. Первая программа предназначена для раскадровки и обрезки кадров видеоизображений топливных струй и позволяет: воспроизводить видео, отбирать нужные кадры вручную или автоматически, сохранять выбранные кадры в исходном (необрезанном) виде, а также производить обрезку кадров по маске, загруженной пользователем и сохранять обре-

занные кадры, в том числе с уменьшением их размерности, по выбору пользователя. Сохранение кадров возможно в форматах Bitmap 8, 24 или 32 бита, а также в формате JPEG любой степени компрессии по выбору пользователя.

Поскольку видео записывается в среднем со скоростью 3000–7000 кадров в секунду и содержит большое количество кадров, был разработан алгоритм автоматического отбора нужных кадров из видео.

Автоматический отбор кадров со струями осуществляется по следующему алгоритму. Сначала в каждом кадре находится среднее значение яркости  $\overline{X}_k$  ( $k = [0, K-1]$ , где  $K$  — количество кадров) по формуле:

$$\overline{X}_k = \frac{\sum_{j=0, i=0}^{j=n-1, i=m-1} X[j, i]}{m \times n}, \quad (1)$$

где  $X[j, i]$  — яркость пикселя изображения,  $m$  — число строк изображения,  $n$  — число столбцов.

Таким образом, совокупность  $\overline{X}_k$  составляет массив вещественных чисел. Далее, находятся значения  $D_i$  ( $i = [0, K-2]$ ), представляющие собой модуль разности средних яркостей каждой связанной пары кадров (т.е. между кадрами 0 и 1, 1 и 2, 2 и 3, и т.д.), т.е.:

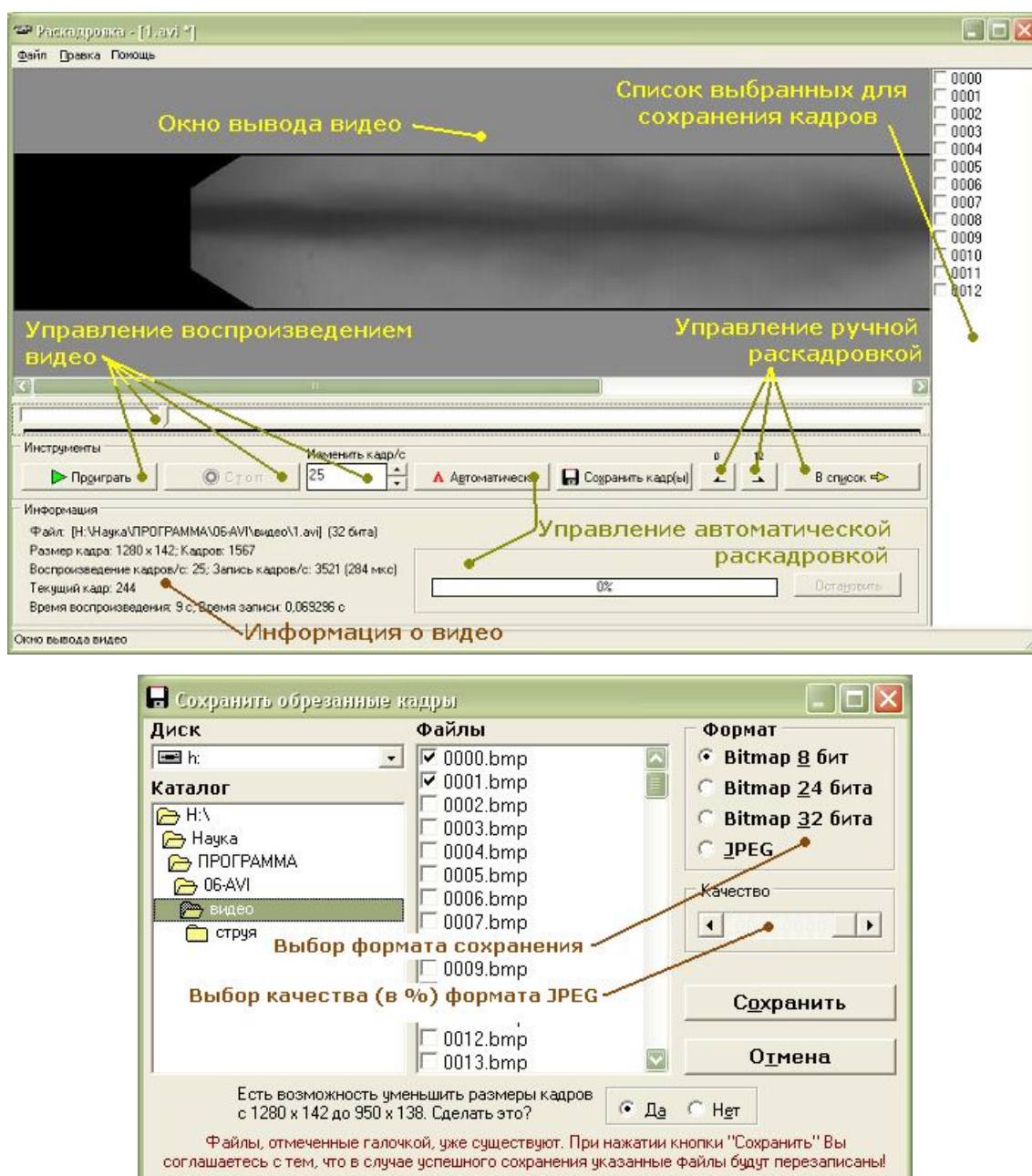


Рис. 1. Интерфейс программы для раскадровки видеоизображений

$$D_f = \left| \overline{X_{k+1}} - \overline{X_k} \right|. \quad (2)$$

Таким образом, совокупность  $D_f$  также представляет из себя массив вещественных чисел. После этого находится  $\overline{D}$  — среднее значение из массива  $D_f$ . Оно и будет пороговым.

Далее, модуль разности каждой связанной пары из массива  $\overline{X_k}$  сравнивается с пороговым  $\overline{D}$ :

$$\left| \overline{X_{k+1}} - \overline{X_k} \right| > \overline{D}. \quad (3)$$

Если соблюдается выражение (3), это означает, что между парой кадров не статическая картинка, а динами-

ческая. В таком случае оба кадра «захватываются» и их номера  $k$  записываются в новый массив  $M$ . При этом алгоритм следит за тем, чтобы в массиве  $M$  не было повторяющихся номеров кадров.

Данный алгоритм весьма точно отмечает начало каждого цикла распыливания, но конец цикла распыливания распознает не достаточно точно в связи с тем, что в конце распыливания струя представляет собой уже «облако», которое движется уже не со столь значительной динамичностью, как струя в начале распыливания. Поэтому предложенный алгоритм обладает двумя недостатками. Во-первых, наряду с кадрами, содержащими в себе струю, попадают иногда кадры из конечного этапа распыливания, уже не содержащие в



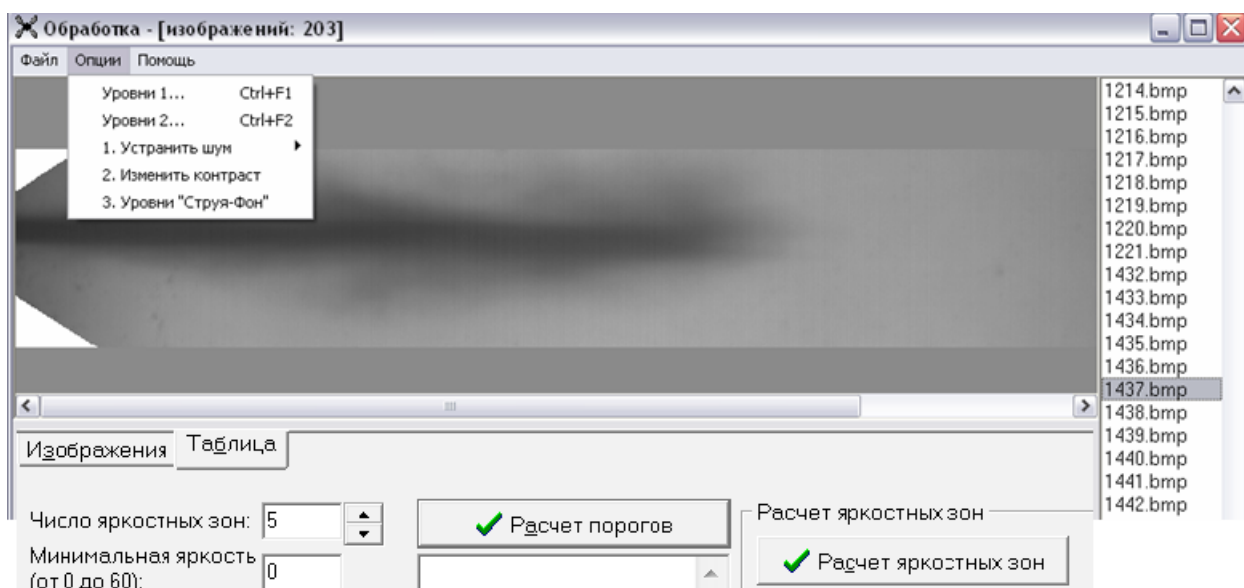


Рис. 2. Фрагмент интерфейса программы для обработки изображений

себе струю. Во-вторых, число кадров в разных циклах распыливания может получаться неодинаковым. Поэтому данный алгоритм был доработан. Во-первых, после нахождения массива  $M$  производится отбраковка «лишних» кадров, которые не содержат в себе струю (это обычно серия из двух-пяти кадров, в то время как один цикл распыливания представляет из себя серию из более десяти кадров). Во-вторых, после отбраковки лишних кадров из массива  $M$ , производится «уравнивание» числа кадров в каждом цикле распыливания путем нахождения сначала такого цикла распыливания, в котором число кадров минимально, а затем удаления из оставшихся циклов распыливания избыточных конечных кадров.

Главное окно программы, а также окно сохранения кадров продемонстрированы на следующем рисунке.

Вторая программа (рисунок 2) предназначена для обработки и исследования отобранных из видео кадров в формате Bitmap или JPEG.

Прежде всего, нужно устранить шум на изображениях со струями. Шум — отдельные светлые и темные пиксели на изображениях. Для этого в программу заложено несколько методов: полный медианный фильтр с окном  $3 \times 3$  или  $5 \times 5$  и частичный медианный фильтр с окном  $3 \times 3$  или  $5 \times 5$ . По результатам экспериментов с обработкой изображений наиболее оптимальным методом устранения шума признан частичный медианный фильтр с окном  $3 \times 3$ . Он не вносит значительных искажений в исходные изображения и выгоден с точки зрения скорости обработки. Суть метода сводится к следующему [4]:

1) Просматривается каждая точка исходного изображения и если ее яркость выше или равна верхнему порогу, либо ниже или равна нижнему порогу, то для такой точки

берется прямоугольная окрестность  $3 \times 3$  (для крайних точек окрестность меньше; пороговые значения яркости задаются пользователем).

2) Полученные точки окрестности  $3 \times 3$  (9 штук) сортируются по возрастанию яркости.

3) Средняя точка (5-я) записывается в итоговое изображение.

Далее, программа производит растяжение контраста, т.к. исходный контраст весьма слаб. Для повышения контраста используется линейный метод, хорошо зарекомендовавший себя для обработки изображений со струями (например, [5, с. 176]). Для этого решается система уравнений:

$$\begin{cases} g_{\min} = a + b \cdot f_{\min} \\ g_{\max} = a + b \cdot f_{\max} \end{cases}, \quad (4)$$

где  $f_{\min}$  и  $f_{\max}$  — соответственно минимальное и максимальное значения яркости из всех исходных изображений со струями,  $g_{\min}$  и  $g_{\max}$  — соответственно вводимые пользователем минимальное и максимальное значения яркости, которые нужно применить ко всем изображениям опыта. Таким образом, контраст всех изображений увеличивается на одни и те же числа  $a$  и  $b$ .

Полученные модифицированные изображения топливных струй готовы для дальнейшей обработки. Нас интересует динамика изменения темных и светлых зон топливных струй. На предварительном этапе для каждого изображения находится пороговое значение яркости, на основании чего каждый пиксель изображения признается принадлежащим струе или фону. Для нахождения порога на изображениях со струями хорошо зарекомендовал себя метод «треугольника».



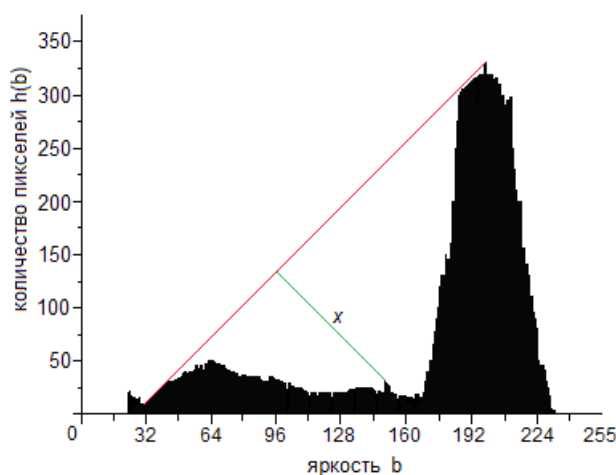


Рис. 3. Выбор порога по методу «треугольника»

Суть метода «треугольника» определения порога сводится к следующему. На рисунке 3 представлена возможная гистограмма изображения со струей (по оси абсцисс — яркость  $b$ , по оси ординат — количество пикселей соответствующей яркости  $h(b)$ ). Струя имеет темные оттенки (расположена ближе к оси ординат), фон — светлые (расположен дальше от оси ординат и его  $h(b)$  явно выражены). Из анализа  $h(b_i)$  находятся две точки:  $(b_{\max}, h(b_{\max}))$  и  $(b_{\min}, h(b_{\min}))$  — первое минимальное слева значение гистограммы, отличное от нуля. Через указанные две точки проводится прямая.

Далее, для каждого из значений яркости  $b_i \in [b_{\min}, b_{\max}]$  вычисляется расстояние  $x$  от точки  $(b_i, h(b_i))$  до прямой. В качестве порогового значения выбирается точка  $b_i$ , в которой расстояние  $x$  достигает максимума. Порог можно вводить и вручную.

Планируется развитие программы для построения яркостных зон от некоторого минимального значения яркости (вводимого пользователем) до максимального порогового. Это позволит при помощи гистограмм и графиков распределения яркостей пикселей струи по яркостным зонам исследовать динамику изменения от кадра к кадру светлых и темных зон топливных струй, что, в свою очередь, позволит увидеть оптическую неоднородность распыливания, вызванную истинной неоднородностью и неравномерностью распыливания. Изучение оптической неоднородности изображения струи позволяет ответить на вопрос, имеются ли сгущения в струе, либо струя равномерно заполнена каплями топлива. Чем выше степень оптической неоднородности, тем хуже качество струи и наоборот.

#### Литература:

1. ГОСТ 10579–88. Форсунки дизелей. Общие технические условия. — Введ. 1990–01–01. — М.: ИПК Издательство стандартов, 2004. — 8 с.
2. Архангельский, А.Я. Object Pascal в Delphi / А.Я. Архангельский. — М.: БИНОМ, 2002. — 384 с.
3. Камера скоростной видеосъемки «ВидеоСпринт» // Видеоскан [Электронный ресурс]: [сайт] / ЗАО НПК «Видеоскан». Электрон. дан. — М., 2012. — Режим доступа: <http://videoscan.ru/page/731>. — Загл. с экрана.
4. Хуанг, Т.С. Быстрые алгоритмы в цифровой обработке изображений / Т.С. Хуанг, Дж.-О. Эклунд, Г.Дж. Нуссбаумер и др. — М.: Радио и связь, 1984. — 221 с.
5. Методы компьютерной обработки изображений / под ред. В.А. Сойфера. — М.: Физматлит, 2001. — 784 с.

## Кластеризация эталонов радужки как метод оптимизации поиска в больших базах

Симоненко Иван Владимирович, аспирант  
Московский физико-технический институт

Матвеев Иван Алексеевич, кандидат физико-математических наук  
Вычислительный центр им. А.А. Дородницына РАН (г. Москва)

*В работе биометрических систем распознавания можно выделить два этапа: определение биометрических признаков (т.н. эталона) и сравнение полученного эталона с ранее зарегистрированными эталонами, содержащимися в базе данных. Для больших баз сравнение может занимать значительное, неприемлемое время. Цель работы — предложить способ уменьшения времени поиска. Была изучена возможность кластеризовать пространство эталонов радужки, чтобы задать порядок извлечения из базы эталонов для сравнения. В тестах, проведенных на доступных базах изображений радужек, применение метода позволило сократить количество сравнений в 1.5–2,5 раза.*

**Ключевые слова:** распознавание по радужке, кластеризация.

### Введение

За последнее десятилетие системы биометрической идентификации (в том числе по радужке глаза) доказали свою применимость для задач контроля доступа [4]. Создаются и планируются всё более сложные и массивные проекты с участием биометрического распознавания [7]. Принципиальным моментом развития таких систем является возрастание их масштаба, а именно, увеличение количества зарегистрированных персон: проходная в офис компании (база 1–10 тысяч эталонов), система контроля въезда выезда в страну (порядка 1 миллиона эталонов), государственная система идентификации (порядка 100 млн. эталонов). С ростом размера базы увеличивается и время поиска, среди используемых сейчас в мире систем известны такие, которые позволяют в базе из 1 миллиона эталонов производить поиск за 1 секунду [2], а для достижения необходимой производительности поиск распараллеливают на несколько компьютеров. Но это делает систему дороже, а при достаточно большом размере базы наращивание вычислительных мощностей становится неэффективным. Кроме того в процессе эксплуатации может возникнуть задача проверки консистентности базы, то есть проверка, что в базе нет совпадающих эталонов. Такая проверка потребует произвести поиск по базе для каждого эталона, что уже практически невыполнимо на базах в несколько миллионов человек.

На сегодняшний день уже существует потребность в биометрических системах, в которых число эталонов превышает 100 миллионов. Таким образом, проблема сокращения времени поиска в больших базах биометрических эталонов актуальна. Для работы с большими базами эталонов нужно предложить способ, как на алгоритмическом уровне увеличить производительность системы распознавания.

Для того, чтобы понять, что именно требует оптимизации, сначала подробнее остановимся на том, что из себя представляет процесс распознавания по радужке. На вер-

хнем уровне этот процесс одинаков для всех известных алгоритмов и состоит из следующих этапов:

1. получение изображения;
2. определение границ объектов (зрачка и радужки);
3. нормализация изображения радужки;
4. наложение фильтров и преобразований;
5. поиск в базе.

Первые 4 этапа это предварительная обработка, время необходимое для её проведения не зависит от размера базы. Последний этап в большинстве существующих реализаций это ни что иное как непосредственный перебор эталонов одного за другим и сравнение с проверяемым эталоном. Сравнение двух эталонов заключается в том, что вычисляется расстояние между ними по определенным правилам и сравнивается с пороговым значением. Выбор способа вычисления расстояния зависит от того, как вычисляется эталон, так, для IrisCode [1] используется расстояние Хэмминга. В рамках этой работы эталоны вычислялись на основе преобразования Хаара, и использовалась Евклидова метрика по коэффициентам выбранного диапазона частот.

Для баз размером более 10 тысяч эталонов этап поиска становится основным по времени и кроме того время поиска линейно возрастает с увеличением количества эталонов в базе.

Для систем распознавания работающих на основе IrisCode был разработан метод быстрого поиска FFS [2]. Он основывается на точном совпадении частей кода, что применимо для IrisCode, но не подходит для других алгоритмов, таких как преобразование Хаара. Кроме того, индексация по полному совпадению части кода повышает вероятность, что человек, имеющийся в базе, не будет найден. Для борьбы с этим явлением предлагается проводить поиск несколько раз, что в свою очередь снижает эффективность оптимизации времени поиска.

В работе L. Yu и D. Zhang Coarse Iris Classification Based on Box-Counting Method [6] проводится грубая классификация изображений радужки на 4 класса путем

определения фрактальной размерности частей изображения. Каждое изображение радужки разбивается на 16 областей (2 группы по 8 областей), для каждой из них вычисляется фрактальная размерность методом box-counting, после чего вычисляется средняя размерность для каждой из групп. Далее на основании этих двух значений изображение относится к одной из 4 групп. К сожалению, этот метод не позволяет сократить время перебора более чем в 4 раза, а с учётом неравномерности распределения изображений по классам (в приведённых в статье данных наименьший класс включал лишь 5.5%, а наибольший 38.54% эталонов) даже меньше чем в 4 раза.

В [5] индексация проводилась на основе характеристик текстуры, полученных путём вычисления чисел Эйлера. Кроме того в работе предложен алгоритм повышающий точность распознавания. Повышение точности ведёт за собой увеличение времени поиска и наоборот. При наилучшем качестве распознавания в 97.2% выигрыш по времени был в 3 раза по сравнению с оригинальным алгоритмом Дж. Даугмана.

Как видно из проведённого анализа, проблема оптимизации времени поиска в больших базах изображений радужки уже имеет несколько решений, но тем не менее, по-прежнему остаётся актуальной.

### Построение решения

Оптимизацию времени поиска соответствующего эталона исходно можно проводить двумя принципиально разными путями: 1) уменьшение времени единичного сравнения; 2) построение способа не производящего простого перебора, а значит требующего меньшего количества сравнений. В данной работе исследовался именно последний подход.

Для достижения поставленной цели была сделана попытка кластеризовать пространство изображений радужки так, чтобы для исследуемого эталона можно было вычислить, к какому классу он принадлежит и поиск производить по некоторому подмножеству хранимых в базе эталонов.

### Кластеризация слиянием

Для разбиения множества эталонов на классы использовался иерархический аггломеративный метод кластеризации [3]. При определении расстояния между кластерами изначально были рассмотрены несколько подходов: по ближайшему соседу, то есть расстоянию между кластерами присваивается минимальное значение попарных расстояний между элементами двух кластеров; по дальнему соседу, то есть расстоянию между кластерами присваивается максимальное значение попарных расстояний между элементами двух кластеров. По результатам экспериментов предпочтение было отдано определению расстояния по дальнему соседу, потому что такой метод позволяет получить более сбалансированное распре-

деление объектов по кластерам, а метод ближнего соседа, напротив, способствует росту крупных кластеров.

### Выбор уровня кластеризации

В результате проведения иерархической кластеризации получается последовательность шагов объединения кластеров, и расстояний между объединяемыми кластерами на каждом шаге. По этим данным можно построить зависимость количества кластеров  $k$  от порогового расстояния между кластерами  $T$ .



Рис. 1. Зависимость числа кластеров от расстояния

По этой зависимости можно определить, при каких значениях  $k$  при очередном слиянии происходит резкое увеличение расстояния  $T$  («полочки» на графике). Эти значения можно использовать для выбора уровня кластеризации естественной для данной выборки. Так на Рис. 2 на шаге  $i$  происходит резкое увеличение расстояния между кластерами, в соответствии с выбранным способом определения расстояния по дальнему соседу, это значит, что произошло слияние больших кластеров. Поэтому разбиение  $i-1$  является локально оптимальным в стремлении уменьшить количество кластеров, но при этом сохранить разделёнными крупные кластеры.

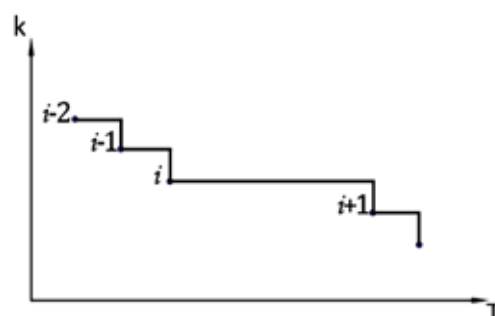


Рис. 2. Схематическая зависимость числа кластеров от расстояния

К сожалению, при такой кластеризации не удаётся добиться того, чтобы несколько изображений одной и той же радужки гарантированно попадали в один и тот же класс. Это не позволяет производить поиск по выборке сформированной только из представителей одного класса. Но в тоже время в экспериментах с базой, в которой присутст-

вует несколько изображений для каждого человека, практически все изображения представители одного человека (один и тот же глаз) попадают в один класс, а также количество классов в которые они попадают существенно меньше общего количества классов и количества изображений для одного человека. Эти данные были получены на базе ВАН [8] на выборке из 85 персон по 20 различных изображений радужки для каждого человека. Пространство было разбито на 18 кластеров (при этом 90% элементов содержалось в 9 кластерах, а наиболее представительный класс содержал в себе 24% элементов).

Таблица 1  
Примеры распределения изображений  
одного человека по классам

Идентификатор персоны	Кол-во классов, в которых встречается	Распределение по классам
1	2	16; 4
2	1	20
3	5	12; 4; 2; 1; 1;
4	3	18; 1; 1
5	3	12; 7; 1

Такое распределение позволяет производить поиск хоть и не в одном классе, а в нескольких, но всё же не во всей базе. Кроме того, вероятность найти соответствующий эталон в первом же классе достаточно велика. Рассмотрим подробнее схему поиска соответствующего эталона на кластеризованной базе и оценим быстродействие этого подхода.

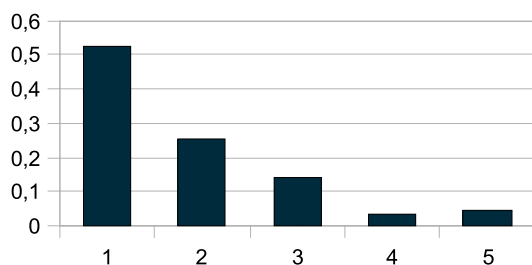


Рис. 3. Распределение в скольких классах встречаются изображения одного человека

### Кластеризация методом $k$ -средних

После кластеризации до выбранного значения  $k$ , проводилась дополнительная перекластеризация методом  $k$ -средних ( $k$ -means), что с одной стороны позволяет проверить насколько качественная кластеризация была достигнута на предварительном этапе, а с другой стороны делает кластеры более шарообразными и в то же время консистентными относительно правила выбора кластера для поиска, ведь теперь для всех объектов кластера, расстояние до его центра будет наименьшим по сравнению с расстоянием до центров других кластеров и поиск тоже проводим в порядке увеличения расстояния от нового эталона до центров кластеров. Для того, чтобы оценить на-

сколько хорошо изначально была проведена кластеризация и насколько быстро стабилизируются кластеры на каждом шаге кластеризации методом  $k$ -средних, вычислялась доля элементов, поменявших свой кластер.

### Оценка среднего времени поиска

Пусть  $N$  — количество эталонов в базе,  $k$  — количество классов. Для каждого человека можно вычислить распределение по классам и упорядочить по количеству вхождений. То есть, например, персона 1 встречается в 3 классах, в одном из них 14 раз, во втором 5, в третьем 1, что даёт частоты (0.7 0.25 0.05); персона 2 — 20 раз в одном классе (1); персона 3 — 16 раз в одном и ещё по разу в 4 классах (0.8 0.05 0.05 0.05 0.05). Далее усреднением этих распределений по всем людям, получено общее распределение  $p_i$ .

В первом классе  $p_1 = (0.7 + 1 + 0.8)/3 = 0.833$ , во втором  $p_2 = (0.25 + 0 + 0.05)/3 = 0.1$ , итд. Таким образом  $p_i$  это вероятность того, что эталон найдём в  $i$ -ом по порядку перебора классе.

Таблица 2

Пример распределения  $p_i$

0,523	0,248	0,122	0,063	0,030	0,011	0,004	0,0004
-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	--------

Пусть  $sz_i$  — размер класса  $i$ , при условии, что все размеры упорядочены по убыванию.

Таблица 3

Пример размера классов  $sz_i$ , при  $k = 22$   
(первые 10 классов)

199	170	166	164	149	148	117	113	102	101
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Общее время поиска складывается из среднего времени поиска в ближайшем классе умноженного на вероятность того, что объект будет найден в первом же классе, к этому добавляется время перебрать все элементы первого класса и среднее время поиска во втором классе, умноженное на вероятность, что объект будет найден во втором классе и так далее. Такой расчёт можно провести для каждого эталона в процессе поиска, зная какой размер у каждого следующего по удалённости класса. Для оценки сверху предположим, что нам для каждого эталона сначала приходится перебирать наиболее большие классы, тогда среднее время поиска:

$$t \leq \sum_{i=1}^k p_i \left( \frac{1}{2} sz_i + \sum_{j=1}^{i-1} sz_j \right)$$

Для приведённых выше данных получаем  $t < 253 \sim N/8$ . В то время как для полного перебора базы с учётом равной вероятности, каждого эталона базы оказаться искомым элементом, получаем исходную оценку времени поиска в среднем  $N/2$ .

Таблица 4

## Результаты моделирования

База	Обучающая выборка	Полная база	Уровень кластеризации	Кол-во сравнений	Коэффициент ускорения
BATH	100x5	300x20	29	1856.7	1.62
BATH	300x4	300x20	59	1309.77	2.29
CASIA	300x5	1000x10	42	1918.13	2.61

**Результаты экспериментов**

Для экспериментов были использованы две базы изображений радужек. Первая собрана университетом города Бат (University of Bath, UK), она включает в себя по 20 снимков левого и правого глаза для 300 человек, то есть 600 уникальных глаз. Вторая собрана Институтом Автоматики Китайской Академии Наук (Chinese Academy of Sciences' Institute of Automation (CASIA)), в публикациях эта база встречается под названием CASIA-IrisV4 [9]. В работе была использована часть этой базы, включающая в себя снимки 1000 людей, по 10 изображений для каждого глаза.

**Моделирование поиска в большой базе**

На заключительном этапе исследования был поставлен эксперимент, моделирующий применение системы в реальной жизни. Под этим в первую очередь понимается то, что в ходе эксплуатации системы в неё могут добавляться новые люди, и при этом кластеризация не должна проводиться заново. Это условие с одной стороны отражает то, что в системе идентификации может быть зарегистрирован новый человек, а с другой стороны показывает, что для развёртывания большой базы кластеризацию пространства изображений можно проводить лишь

на некоторой выборке, что критично для сверх-больших баз, для которых сравнение каждого элемента с каждым невозможно провести за приемлемое время.

Эксперимент проводился следующим образом: кластеризация проводилась для выборки из 300 человек по 5 изображений на каждого. После чего оставшиеся изображения распределялись по классам. По количеству вхождений каждого человека в тот или иной класс определялась вероятность найти в этом классе нужного человека в процессе идентификации. Далее для каждого эталона классы ранжировались по возрастанию расстояния до центра класса. После чего подсчитывалось суммарное время поиска с учётом вероятностей найти в каждом классе. По временам поиска для различных эталонов было построено распределение и вычислено среднее время.

**Заключение**

Предложенный способ позволил в несколько раз уменьшить время поиска соответствующего эталона в базе. Сама кластеризация проводится на эталонах полученных в результате преобразования Хаара, но для самого поиска и выполнения сравнений может быть использованы и другие формы представления эталонов и функции определения расстояния.

**Литература:**

1. John Daugman. How Iris Recognition Works // IEEE Trans. CSVT 14 (1), pp. 21–30.
2. Feng Hao, John Daugman, and Piotr Zielinski. A Fast Search Algorithm for a Large Fuzzy Database // IEEE Trans. Information Forensics and Security 3 (2), pp 203–212.
3. Дж.-О.Ким, Ч.У.Мьюллер, У.Р.Клекка, М.С.Олдендерфер, Р.К.Блэшфилд. Факторный, дискриминантный и кластерный анализ. Под ред. И.С.Енюкова. // М.: Финансы и статистика, 1989—215 с.
4. J.N. Pato, L.I. Millett. Biometric Recognition: Challenges and Opportunities // National Research Council: Whither Biometrics Committee. — 2010. — ISBN: 0–309–14208–3.
5. Mayank Vatsa, Richa Singh, Afzel Noore. Improving Iris Recognition Performance Using Segmentation, Quality Enhancement, Match Score Fusion, and Indexing
6. Li Yu, Kuanquan Wang, David Zhang. Coarse Iris Classification Based on Box-Counting Method
7. Future Challenges based on the Multiple Biometric Grand Challenge // NIST Information Access Division: Multiple Biometric Grand Challenge. — February 2010. — Web: <http://face.nist.gov>.
8. University of Bath, UK, <http://www.bath.ac.uk/>
9. CASIA Iris Image Database, <http://biometrics.idealtest.org/>



## Метод проекций яркости при поиске зрачка на изображении

Трёкин Алексей Николаевич, студент  
Московский физико-технический институт

Матвеев Иван Алексеевич, кандидат физико-математических наук  
Вычислительный центр им. А.А. Дородницына РАН (г. Москва)

*Предлагается метод быстрого определения на изображении глаза точки, лежащей внутри зрачка, которая может далее использоваться как его приближённый центр. Используются проекции яркости бинаризованного изображения на вертикальную и горизонтальную оси. Произведена экспериментальная проверка на доступных базах изображений радужки.*

**Ключевые слова:** сегментация изображений, распознавание радужки, проекция яркости

### Введение

Идентификация личности человека по изображению радужной оболочки — один из развивающихся методов биометрии, уже имеющий применение в системах доступа. Он основан на том, что рисунок радужной оболочки глаза имеет индивидуальную, слабо меняющуюся со временем структуру. Одним из этапов распознавания радужной оболочки является выделение зрачка на изображении глаза. Это необходимо, чтобы локализовать радужную оболочку, которую затем сравнивают с эталоном.

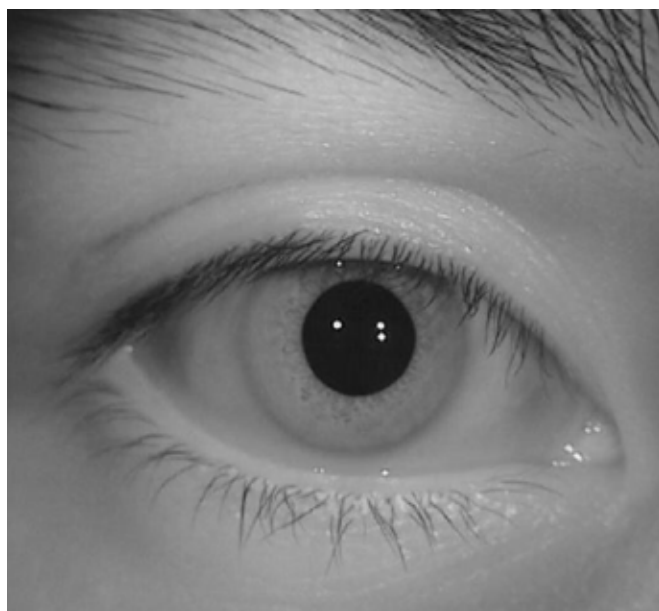


Рис 1. Исходное изображение глаза, база CASIA, 640\*480, 256 градаций серого

Зрачок большинства людей имеет форму, близкую к кругу [14], и отражает очень мало света, если направление освещения не совпадает с направлением камеры. Это позволяет искать его как тёмный круг на изображении. Наиболее часто используемым является метод Даугмана [1]. На нём основано большинство разработанных коммерческих приложений. Поиск трёх параметров положения окружности (две координаты центра и радиус) осуществляется при помощи следующего интегро-дифференциального оператора:

$$\max_{(r, x_0, y_0)} \left| G_{\sigma}(r) \frac{\partial}{\partial r} \oint_{(r, x_0, y_0)} \frac{I(x, y)}{2\pi r} ds \right|$$

где  $I(x, y)$  — яркость изображения.

Оператор ищет область на изображении, где достигается максимум частной производной от нормализованного интеграла по  $r$  по направлению увеличения величины радиуса. Многие методы основаны на работе с градиентом яркости и различными вариантами преобразования Хафа. В таких методах сначала производится градиентное преобразование изображения, то есть приближенное вычисление частных производных яркости изображения в каждой точке. Так как зрачок сильно отличается от окружающей его радужки по яркости, на его границе — окружности — значения градиента принимают большие значения. Затем необходимо найти параметры этой окружности, для чего применяют преобразование Хафа [9], позволяющее найти параметры кривых заданного типа, в данном случае — окружностей. Таковы методы, используемые в [2], [3]. В [4] для ускорения также используется предварительная бинаризация изображения.

Нашей целью было создание алгоритма, предлагающего оценку координат центра зрачка, причём основной идеей было сократить время работы программы за счёт точности определения центра, по сути, мы претендуем лишь на то, что обнаружили точку, лежащую внутри зрачка. Для ускорения работы, в основном, используется уменьшение объёма данных, с которыми работает алгоритм, а именно — переход от исследования двумерного массива  $I(x, y)$  изображения, к исследованию одномерных массивов — «проекций» зрачка на координатные оси. Полученный результат может быть использован для уменьшения зоны поиска зрачка другим, более точным и менее быстрым методом, что может уменьшить суммарное время. Также результат можно использовать в алгоритмах, которые ищут параметры зрачка, используя точку, лежащую не далее, чем половина радиуса от истинного центра зрачка, например [6]. В работе [7] также применяются проекции, которые

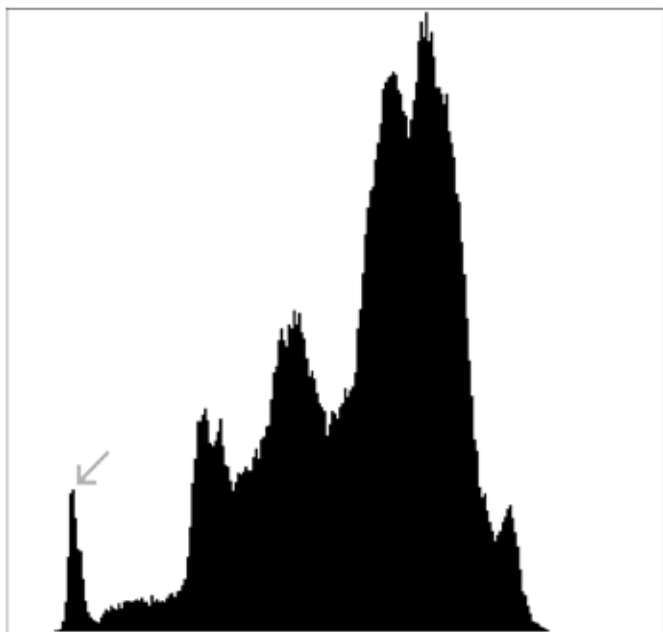


Рис. 2. Гистограмма изображения, первый резкий максимум показан стрелкой.

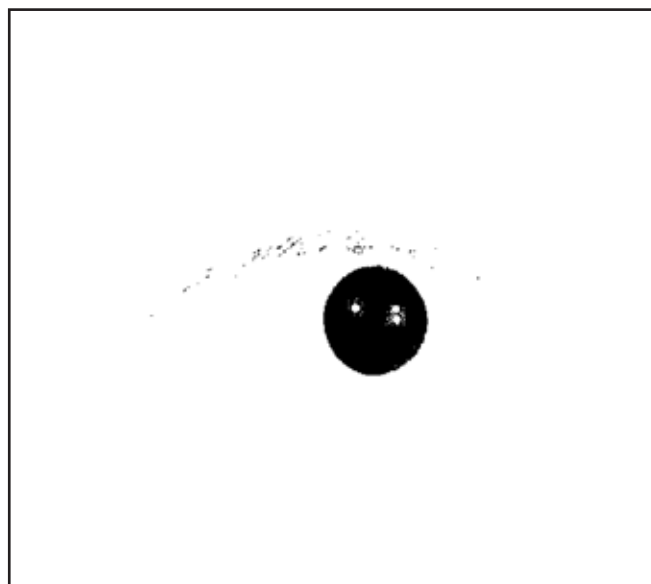


Рис. 3. Бинаризованное изображение.

строятся как сумма яркостей всех точек с данной координатой по одной из осей. Для нахождения глаза на фотографии лица человека использовался тот факт, что проекции испытывают большие изменения в районе глаз. В работе [8] используется горизонтальная проекция бинаризованного изображения для грубого определения расположения глаза.

#### Описание алгоритма

Алгоритм состоит из следующих шагов.

- Бинаризация изображения с плавающим порогом.
- Проекция на координатные оси
- Поиск координат центра зрачка

#### Шаг 1. Бинаризация

Бинаризация — получение бинарного изображения из изображения с 256 градациями серого. В данном случае используется простая пороговая функция:

$$I' = \begin{cases} 0 & \text{при } I < T \\ 1 & \text{при } I \geq T \end{cases}$$

где  $I(x, y), I'(x, y)$  — яркости точки исходного и бинаризованного изображений соответственно,  $T$  — некий порог, который подбирается в с помощью исследования гистограммы изображения. Предполагается, что зрачок, как крупная по площади область с небольшой и практически равномерной яркостью, даст первый достаточно резкий и высокий максимум на гистограмме. Этот максимум ищется как первая точка, отвечающая условиям:

- 1)  $\forall j: |i - j| < W \rightarrow H(i) < H(j)$  — условие локального максимума,
- 2)  $H(i) > t$  — условие достаточной высоты,

3)  $H(i) - H(i - W) > M; H(i) - H(i + W) > M$  — условие резкости максимума.

где  $W, t, M$  — эмпирически подбираемые параметры ( $W$  — окно,  $t$  — порог,  $M$  — перепад). Подобное преобразование используется в [4] и в [5] — с фиксированным порогом.

#### Шаг 2. Проецирование на ось X

Проецированием мы называем процедуру получения из бинарного изображения распределения количества точек с яркостью 1 в зависимости от координаты. В работе [7] также применяются проекции, но там проецируется само исходное изображение. Проекция — одномерный массив — получается из изображения по следующей формуле:

$$P(x) = \sum_y I(x, y)$$

Предположение: максимум  $P(x)$  располагается на координате, соответствующей центру зрачка.

#### Шаг 3. Поиск Y-координаты центра зрачка

Для поиска  $y$ -координаты этот метод оказался ненадёжным, так как зачастую максимум проекции на ось  $OY$  доставляет не зрачок, а бровь или ресницы. Поэтому оценкой для координаты центра зрачка положим середину пересечения прямой  $x = x_0$  с тёмной областью на бинаризованном изображении. Основанием для подобной оценки является то, что если максимум проекции на ось  $OX$  достигается в середине зрачка, то середина этого пересечения будет расположена внутри зрачка.

#### Экспериментальная проверка

Проверка работы алгоритма производилась на открытых базах фотографий человеческих глаз: UBIRIS.



Таблица 1

Статистика пересечений вертикальной прямой  $x=x_0$  со зрачком

Название базы	Всего изображений	Количество пересечений в 10% от радиуса	Количество пересечений в 50% от радиуса	Количество пересечений со зрачком
ND-IRIS	64979	22430	62726	64701
BATH	13177	1486	12832	13081
CASIA	16180	8889	16058	16173
Всего	95513	40217	85577	93955

Таблица 2

Статистика пересечений вертикальной прямой  $y=y_0$  со зрачком

Название базы	Всего изображений	Количество пересечений в 10% от радиуса	Количество пересечений в 50% от радиуса	Количество пересечений со зрачком
ND-IRIS	64979	44714	64500	64875
BATH	13177	12164	13056	13093
CASIA	16180	13506	16121	16170
Всего	95513	71398	94842	95296

Таблица 3

Статистика точности определения центра зрачка

Название базы	Всего изображений	Количество пересечений в 10% от радиуса	Количество пересечений в 50% от радиуса	Количество пересечений со зрачком
ND-IRIS	64979	15092	61751	64481
BATH	13177	1314	12686	13059
CASIA	16180	7225	15986	16164
Всего	95513	23727	91525	94864

v1 [10], CASIA-IrisV3 [15], ND-IRIS [12], BATH [16]. Истинные параметры зрачка на каждом изображении, предоставленные экспертом, известны, с ними и сравнивается полученный результат. В таблицах 1–3 приведена статистика работы алгоритма. Для удобства восприятия выделены количества изображений, на которых разница между полученным и истинным значением меньше, чем десятая часть истинного радиуса зрачка; меньше половины радиуса зрачка; меньше радиуса зрачка.

Этот метод показывает даже более высокую точность, чем определение  $x$ -координаты зрачка.

Средняя по всем базам фотографий точность попадания результата: расстояние от истинного центра менее 10% от радиуса зрачка – 24,8%, менее 50% радиуса зрачка – 95,8%, менее радиуса зрачка – 99,3%.

*Оценка сложности алгоритма.* Оценка сложности при размерах изображения  $m \cdot n$ , глубине цвета  $A$ .

Гистограмма:  $m \cdot n$  операций сложения.

Поиск максимума гистограммы:  $8 \cdot A$  операций сравнения.

Бинаризация:  $m \cdot n$  операций сравнения и присваивания.

Проекция на ось  $x$ :  $m \cdot n$  операций сложения.

Поиск максимума по  $x$ :  $n$  операций сравнения.

Поиск  $y$ -координаты:  $m$  операций сравнения и инкремента.

Итого, если считать каждую операцию занимающей единицу вычислительного ресурса, то выходит  $4mn + m + n + 8A$ . В нашем случае это около  $10^6$  операций. Для сравнения, методы основанные на преобразовании Хафа или методе Даугмана, имеют минимальную сложность порядка  $mn^2$ , что даёт сложность порядка  $10^8$ .

*Анализ результатов.* Метод показывает достаточно хорошую в большинстве случаев точность попадания внутрь зрачка, средняя по всем базам изображений (доля ошибок, то есть попаданий найденной точки за пределы зрачка, составляет 0,13%, а также небольшую сложность. При этом он не использует градиентного преобразования, поэтому качество результата нечувствительно к четкости изображения, но падает при плохой освещенности, когда тени на лице становятся такими же темными, как зрачок. Возникающие ошибки обычно связаны с неудачной бинаризацией, когда либо зрачок оказывается слишком светлым, как на Рис. 4, или наоборот, в темную область включается значительная площадь ресниц или радужки, как на Рис. 5.

В дальнейшем необходимо изучить возможность улучшения частоты попадания внутрь зрачка, а еще лучше –

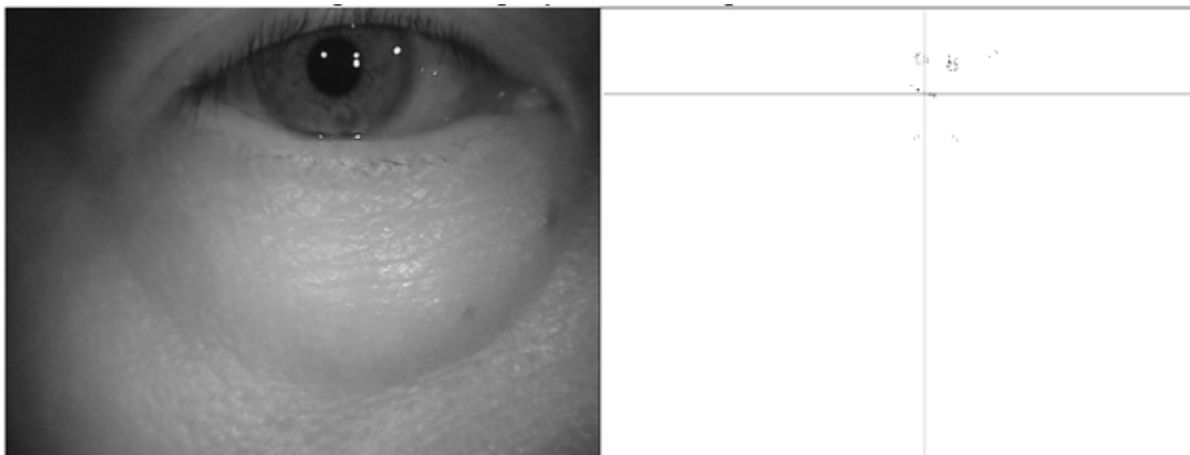


Рис. 4. Пример некорректной обработки изображения

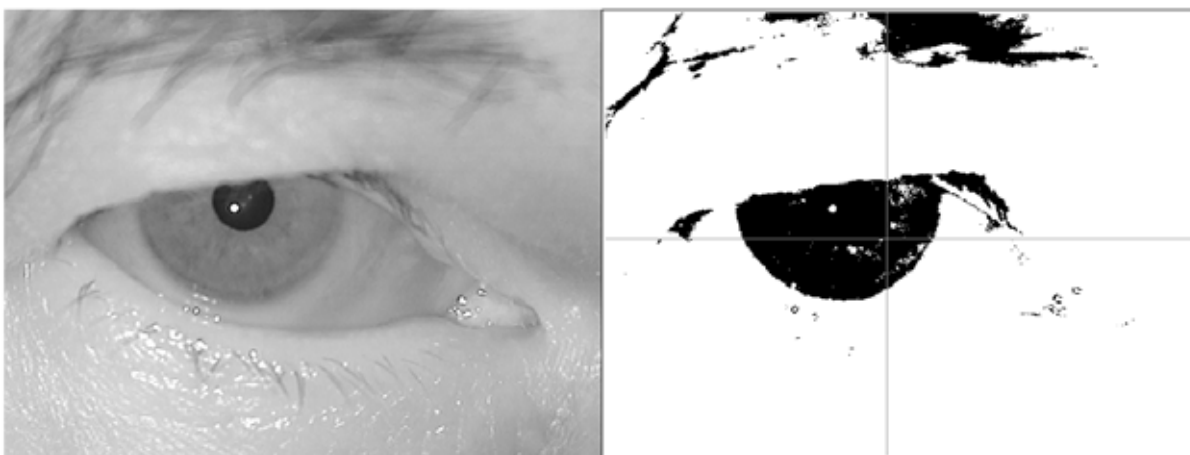


Рис. 5. Пример некорректной обработки изображения

в 50% радиуса зрачка. Это позволит использовать результат для дальнейшего уточнения параметров зрачка. Также нужно построить критерии оценки результата,

позволяющие отбраковывать заведомо неверные варианты, предлагаемые алгоритмом.

#### Литература:

1. Daugman J. <http://www.cl.cam.ac.uk/~jgd1000/>
2. Xu L., Oja E., Kultanan P. A new curve detection method: Randomized Hough transform (RHT). // Pattern Recog. Lett. 1990. N11. P.331–338.
3. Rad A.A., Faez K., Qaragozlou N. Fast Circle Detection Using Gradient Pair Vectors. // Proc. 7th Digital Image Computing: Techniques and Applications. 2003. P.879–887.
4. Boyd M., Carmaciu D., Giannaros F., et al MSc Computing Science Group Project Iris Recognition. // Imperial College, London. 2010.
5. Dey S., Samanta D. A Novel Approach to Iris Localization for Iris Biometric Processing. // Int. J. Biological and Life Sciences. 2007. N3. V.3.
6. Матвеев И.А., Ганькин К.А. Распознавание человека по радужке // Системы безопасности. 2004. N.5. P.72–76.
7. Zhou Z.-H., Geng X. Projection functions for eye detection. // State Key Laboratory for Novel Software Technology, Nanjing University. 2002.
8. Moravcik T. An Approach to Iris and Pupil Detection in Eye Image. // University of Zilina. 2010.
9. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений // М.:Техносфера. 2005. 1072 с.

10. Proenca H., Alexandre L. UBIRIS: A noisy iris image database. // 13th Int. Conf. Image Analysis and Processing. P.970–977. Cagliari, Italy. Springer.
11. ISO/IEC 19794–6 Information technology – Biometric data interchange formats – Part 6: Iris image data.
12. Phillips P., Scruggs W., O'Toole A. et al Frvt2006 and ice2006 large-scale experimental results. IEEE PAMI. 2010. N.32. V.5. P.831–846.
13. Матвеев И.А. Метод поиска окружности с известной внутренней точкой на изображении. // Труды ИСА РАН. Динамика неоднородных систем. 2007. №31. Т.1. с. 288–293.
14. Бирич Т.А., Марченко Л.Н., Чекина А.Ю. Офтальмология. // Минск. Вышэйшая школа. 2007. 576 с.
15. Chinese Academy of Sciences Institute of Automation. Iris image database, version 3. (2005) Available from <http://www.cbsr.ia.ac.cn/IrisDatabase.htm>
16. University of Bath. Iris Image Database. (2005) Available from <http://www.bath.ac.uk/elec-eng/research/sipg/irisweb/>

## Автоматизация и диспетчеризация систем вентиляции

Мкртычан Павел Сергеевич, аспирант

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

В данной статье представлен опыт разработки и внедрения автоматизированных систем управления вентиляцией с использованием промышленной сети Profibus. Описываемые системы внедрены в существующую систему управления при расширении завода «Ниссан Мэнуфэкчуринг РУС» в Ленинградской области.

Современные производители систем автоматического управления (САУ) вентиляцией используют программируемые логические контроллеры (Segnetics, Siemens, Omron и др.) и промышленные сети для объединения нескольких систем и вывода информации на диспетчеризацию.

Автоматизированная система управления вентиляцией обеспечивает воздухообмен и необходимую температуру подаваемого воздуха для комфортной работы персонала. Функции системы: местное и дистанционное управления вентиляторами, нагревателями и другими исполнительными механизмами, участвующих в работе системы; звуковое оповещение обслуживающего персонала в случае возникновения аварийной ситуации; связь по сети между другими системами; возможность изменения уставок температуры; визуальный контроль над работой системы на экране диспетчера.

Для обеспечения необходимого воздухообмена в цехе предусмотрено пять приточно-вытяжных установок с газовыми горелками. Одна установка включает в себя приточный и вытяжной вентилятор; частотные преобразователи двигателей вентиляторов; теплообменник с газовой горелкой; приводы клапанов байпаса, притока и вытяжки; аварийные термостаты; датчики температуры. Алгоритм предусматривает два режима работы в зависимости от времени года. Эти режимы переключаются автоматически по датчику температуры наружного воздуха. В летний период система не производит регулирования температуры подаваемого воздуха в помещение. В

зимний период управление происходит за счет регулирования положения клапанов, скорости вращения вентиляторов и работы газовой горелки. Мощность установки позволяет поддерживать температуру отличной на 50 градусов по Цельсию от уличной.

Каждой установкой управляет интерфейсный модуль ET200S с процессором. Интерфейсные модули позволяют децентрализовать управление задач, могут осуществлять полный и, при необходимости, независимый контроль над процессами, могут быть использованы как автономные процессоры. Интерфейсные модули соединены по сети Profibus с ведущим контроллером S7–400. Ведущий контроллер в свою очередь соединен с компьютером диспетчера по сети Ethernet. На компьютере с помощью SCADA-системы WinCC организованно рабочее место диспетчера. Рабочее место диспетчера включает в себя набор мнемосхем (окна на экране компьютера), на которых диспетчер может наблюдать и управлять установкой в дистанционном режиме, менять уставки температуры, подтверждать и сбрасывать аварийные сообщения. Если необходимо использовать несколько станций диспетчера, тогда необходимо использовать сервер. Клиенты считывают необходимую информацию с сервера по сети Ethernet, что позволяет работать параллельно нескольким диспетчерам с одной и той же установкой.

К каждому интерфейсному модулю подключена небольшая панель оператора, которая позволяет управлять отдельной установкой в местном режиме со щита управления.

Структурная схема сети описываемой САУ изображена на рисунке 1.

Контроллер Siemens S7–400 и интерфейсные модули IM 151–7 CPU программируются с помощью программного обеспечения Siemens Simatic Step7. В Step7 есть возможность программирования на языках стандарта

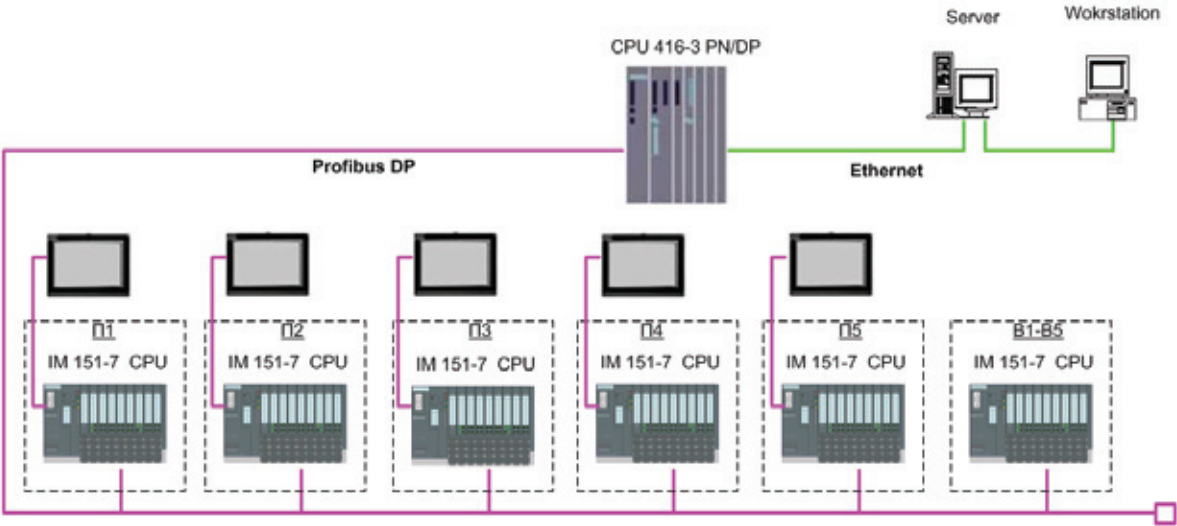


Рис. 1. Структурная схема сети

```
Network: 1
OPN  "from_net" DB3      -- Данные из сети
OPN  "net_out"  DB5      -- Данные в сеть

Network: 2
Пересылка данных между ПЛК

CALL "DFRD_DAT"          SFC14      -- Read Consistent Data of a Standard DP S
LADDR :=W#16#18          lave
RET_VAL:=#err            #err
RECORD :="from_net".In_net P#DB3.DBX0.0

CALL "DFWR_DAT"          SFC15      -- Write Consistent Data to a Standard DP
LADDR :=W#16#E           Slave
RECORD :="net_out".out_net P#DB5.DBX0.0
RET_VAL:=#err            #err
```

Рис. 2. Листинг функции обмена данными на языке STL

МЭК 61131–3 – FBD, LAD, STL, SCL. Данная САУ была реализована на языке STL.

Из-за большого количества автоматов, контакторов и массивных частотных преобразователей, управление вытяжными вентиляторами осуществляет интерфейсный модуль в отдельном щите управления. Для обеспечения синхронной работы приточных и вытяжных вентиляторов была реализована передача данных по сети. После запуска приточного вентилятора по сети передается пакет с битами состояния в соответствующий интерфейсный модуль. Так как скорость передачи высокая, то задержки между включением вентиляторов не случается.

Передача данных происходит через ведущее устройство по принципу master – slave с помощью специальных функций SFC14 и SFC15. В данном способе передачи данных

за одну цикл обмена можно передать 6 байт информации, поэтому этот способ является неэффективным, но используется, чтобы сохранить единую иерархию старой и новой систем. В каждом ведомом ПЛК создаются два блока данных, один для приема, другой для передачи и соответствующие функция для приема и передачи. В ведущем контроллере создается по паре блоков данных для каждого ведомого устройства.

На рисунке 2 представлен исходный код функции обмена данными на языке STL. Специальная функция SFC14 принимает данные с адреса 24 (адрес ведущего устройства для передачи) и записывает их в свой массив принимающего блока данных. Специальная функция SFC15 отправляет данные по адресу 14 (адрес ведущего устройства для приема) с массива отправляющего блока данных.

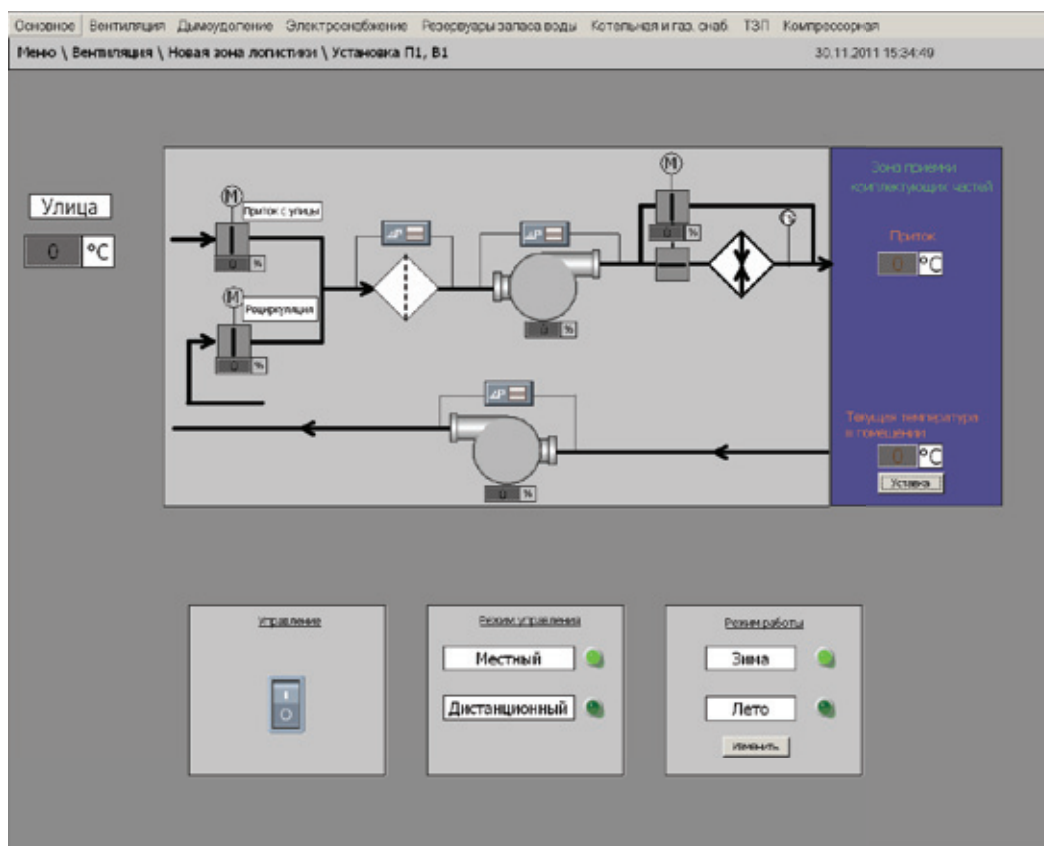


Рис. 3. Мнемосхема вентиляционной установки П1-B1

Другой способ передачи данных — SEND-RECEIVE более эффективен. За один цикл обмена можно передать большой объем информации, и осуществлять передачу между контроллерами в сети напрямую, не используя в качестве шлюза ведущий контроллер. Заключается в передаче телеграмм между контроллерами по глобальному адресу в конфигурации сети.

В WinCC есть несколько способов привязки тегов к мнемосхемам SCADA-системы. Автоматический способ

очень удобен, когда в программе создаются массивные блоки данных под каждое устройство в отдельности. Таким образом, можно привязать сразу группу тегов. В данном случае небольшое кол-во информации, необходимой для вывода на диспетчеризацию, сделал бы этот способ неэффективным. Поэтому было принято решение привязать теги вручную. В данной SCADA-системе количество тегов достигает 1500. На рисунке 3 показана мнемосхема типичного экрана одной вентиляционной установки.

#### Литература:

1. Руководство SIEMENS SIMATIC ET200S интерфейсный модуль IM 151-7 CPU;
2. Энциклопедия АСУ ТП (<http://www.bookasutp.ru/>);
3. Hugh J. Automating Manufacturing Systems with PLCs. (Version 5.1, March 21, 2008).
4. Парр Э. Программируемые контроллеры: руководство инженера. Пер. 3-го англ. изд. Б.И. Копылова. М.: Бинوم. Лаборатория знаний. 2007.

## The Analysis of Mathematical Model of Information System

Semakhin A.M., cand. tech. sci.  
Kurgan State University

### Анализ математической модели информационной системы

Семахин Андрей Михайлович, кандидат технических наук, доцент  
Курганский государственный университет

The modern organization represents complex dynamic system. Perfection of information system is provided with use of modern means, the software and mathematical modeling.

Let's develop mathematical model of information system and we shall lead its analysis.

The mathematical model is formulated as follows: from among the firms, rendering services satellite Internet in territory of the Russian Federation, it is required to choose the provider satellite Internet with the maximal size of the net present value (NPV) and satisfying to financial restrictions.

The mathematical model includes two stages:

1. A method of expert estimations the firms giving satellite Internet in territory of the Russian Federation get out.
2. Methods of mathematical programming the optimum variant from among the satellite providers chosen at the first stage gets out.

Let  $i = \overline{1, n}$  – number of variants of projects satellite Internet;  $q = \overline{1, t}$  – number of the experts estimating variants of projects satellite Internet;  $k = \overline{1, p}$  – number of factors;  $\beta_{qk}$  – the weight appropriated q by the expert k to the factor,  $Z_{qk}^i$  – an estimation given q by the expert k to the factor then the average estimation of i variant of the project satellite Internet is defined under the formula

$$\overline{Z}_i = \frac{1}{q} \sum_{q=1}^t \sum_{k=1}^p \beta_{qk} * Z_{qk}^i \quad (1)$$

At the second stage the optimum project from among the projects certain at the first stage gets out. The problem of linear programming of a choice of the optimum project from an investment portfolio is formulated.

The mathematical model of a choice of the optimum investment project satellite Internet looks like:

$$\begin{aligned} \overline{Z}_i &= \frac{1}{q} \sum_{q=1}^t \sum_{k=1}^p \beta_{qk} * Z_{qk}^i \\ \max \leftarrow Z &= \sum_{i=1}^n A_i * X_i = A_1 * X_1 + \dots + A_n * X_n \\ \text{under restrictions} & \\ \begin{cases} B_1^0 * X_1 + B_2^0 * X_2 + \dots + B_n^0 * X_n \leq I^0 \\ B_1^1 * X_1 + B_2^1 * X_2 + \dots + B_n^1 * X_n \leq I^1 \\ \vdots \\ B_1^m * X_1 + B_2^m * X_2 + \dots + B_n^m * X_n \leq I^m \\ X \geq 0 \end{cases} & \quad (2) \end{aligned}$$

where  $A_i$  is a target parameter, unit of measurement;

$B_i^j$  is investment expenses of i project in j period of time, million. roubles;

$I_j$  is available means of financing in j period of time, million. roubles;

$X_i$  is a share of financing of the investment project;



$i = \overline{1, n}$  is a number of the investment project;

$j = \overline{1, m}$  is a number of the period of time, year.

Let's carry out a choice of the optimum project satellite Internet for the District Compulsory Medical Insurance Fund of Kurgan region and we shall lead its analysis.

As a result of the first stage in a portfolio of investments are included by Joint-Stock Company « NTV-plus » (199 points), Europe Online Networks (EOL) (177 points), Astra Networks (157 points), Satpro (152 points) and Network Service (137 points).

Let's execute the second stage of mathematical model.

Let  $X_1$  – a share of financing of the project NTV-plus,  $X_2$  – a share of financing of project Europe On Line,  $X_3$  – a share of financing of project Astra Network,  $X_4$  – a share of financing of project Satpro,  $X_5$  – a share of financing of project Network Service.

The mathematical model looks like

$$\begin{aligned} \max \leftarrow Z &= 1.527270 * X_1 + 0.741239 * X_2 + 1.374394 * X_3 + \\ &0.145110 * X_4 + 0.530312 * X_5 \\ \text{under restrictions} \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{cases} 5,4 * X_1 + 3,2 * X_2 + 2,931 * X_3 + 6,286 * X_4 + 5,9 * X_5 \leq 6,5 \\ 2,006437 * X_1 + 1,5 * X_2 + 3,000547 * X_3 + 3,000575 * X_4 + 3,2 * X_5 \leq 3,0 \\ 2,5 * X_2 + 2,0 * X_3 + 1,6 * X_5 \leq 3,0 \\ 0,881832 * X_2 + 1,186 * X_5 \leq 1,5 \\ X_1, X_2, X_3, X_4, X_5 \geq 0 \end{cases}$$

The linear programming task is solved by Gauss – Jordan's method [1, p. 107].

The optimum decision of a problem is resulted in table 1.

Let's lead the analysis of mathematical model.

Economic sense of additional variables  $S_1, S_2, S_3, S_4, S_5$  – size of not used means of financing. Values of variables  $S_1 = 0$ ,  $S_2 = 0$ , hence, are completely used means of financing during periods  $f = 0$  and  $f = 1$ . Values of variables  $S_3 = 2,3881$  and  $S_4 = 1,5$ , hence, means of financing during periods  $f = 3$ ,  $f = 4$  are underused on 2,3881 and 1,5 million roubles.

The dual estimation of required variables  $X_i$ ,  $i = \overline{1, n}$  shows presence/absence of financing i project. If the dual estimation is equal 0 financing of the project is made. If the dual estimation of variable  $X_i$ ,  $i = \overline{1, n}$  is strictly positive, financing is not carried out. Dual estimations  $X_1$  and  $X_3$  have zero values, projects of NTV-plus and Astra Network are financed. Dual estimations  $X_2$ ,  $X_4$  and  $X_5$  are equal 0,2526, 1,8225 and 1,4259. Projects Europe On Line, Satpro and Network Service are not financed.

Table 1

The optimum decision of a problem

Variable	Size of variables	Dual estimation	Extremum of criterion function NPV, million roubles.
$X_1$	1,0376	0,0000	2,00526
$X_2$	0,0000	0,2526	
$X_3$	0,3060	0,0000	
$X_4$	0,0000	1,8225	
$X_5$	0,0000	1,4259	
$S_1$	0,0000	0,1768	
$S_2$	0,0000	0,2853	
$S_3$	2,3881	0,0000	
$S_4$	1,5000	0,0000	

The dual estimation of variable  $S_j$ ,  $j = \overline{1, m}$  defines deficiency of a resource. It shows on how many will increase NPV at increase j a resource for one unit. Dual estimations of variables  $S_1$  and  $S_2$  are equal 0,1768 and 0,2853. It means that at increase in the allocated means of financing at 1 million roubles during periods  $f = 0$ ,  $f = 1$  NPV will increase on 0,1768 and

0,2853 million roubles. During periods  $f = 2$  and  $f = 3$  the increase in means of financing is not recommended (dual estimations of variables  $S_3$  and  $S_4$  have zero values).

The analysis of stability of the optimum decision is resulted in change of factors of criterion function in table 2.

The bottom border of an interval of the stability, equal  $-\infty$ , corresponds to zero value of a required variable. If value of factor of criterion function changes within the limits of an interval of stability from bottom up to the top border value of criterion function changes. In case of an output abroad an interval of stability the size of criterion function and value of required variables varies [2, p. 20].

Table 2

Factors of criterion function of mathematical model

Number of the subitem	Variable $X_i, i = \overline{1, n}$	The minimal value of factor	Reference value of factor	The maximal value of factor
1	$X_1$	1,0265	1,5273	2,5321
2	$X_2$	$-\infty$	0,7412	0,9938
3	$X_3$	0,8290	1,3744	2,2840
4	$X_4$	$-\infty$	0,1451	1,9676
5	$X_5$	$-\infty$	0,5303	1,9562

If variable  $X_i, i = \overline{1, n}$  accepts nonzero value in the optimum plan ( $X_1 = 1.0376, X_2 = 0.3060$ ) the factor at this variable (investment expenses  $i$  the project,  $i = \overline{1, n}$ ,  $j$  the period of time  $j = \overline{1, m}$ ), changing within the limits of an interval of stability, will lead to change of criterion function, and distribution add financings it will be kept. If the size of factor at variable  $X_i$  leaves for the top border of an interval of stability the share of financing  $j$  the project will increase due to shares of financing of other projects. Otherwise the share of financing  $j$  the project will be reduced, and shares of financing of other projects will increase.

If variable  $X_i$  accepts zero value in case of change of factor of a variable inside of an interval of stability in the decision of a problem nothing will change. If the size of factor will leave for the top border of an interval of stability the given project is necessary to start for financing, reducing financing of other projects. For example, investment projects Europe On Line, Satpro and Network Service in the optimum decision have zero values of required variables (there is no financing). If NPV project Satpro will exceed 1,9676 million roubles the project will start to be financed. Similarly for projects Europe On Line and Network Service.

The analysis of stability of the optimum decision is resulted in change of the right parts of restrictions in the table. 3.

Table 3

Values of the right parts of system of restrictions

Number of the subitem	The period of time $f$	The minimal value of the right part of restrictions	Reference value of the right part of restrictions	The maximal value of the right part of restrictions
1	0	2,9305	6,5	8,0740
2	1	2,4152	3,0	5,2824
3	2	0,6119	3,0	$+\infty$
4	3	0,0	1,5	$+\infty$

In the optimum plan of means of financing are underused in the periods of time  $f = 2$  and  $f = 3$ , because the top border of an interval of stability  $+\infty$ . If available means of financing it is a lot of, change in an interval of stability does not change the list of financed projects, shares of financing and size NPV. At an output for the bottom border of an interval of stability shares of financing and size NPV vary the list of financed projects. For example, if means of financing of projects in the period of time  $f = 2$  will be less than 0,6119 million roubles the list of financed projects will change, shares of financing and size NPV. If means of financing are spent completely its change in an interval of stability does not change the list of financed projects, but changes a share of financing and size NPV. At an output abroad an interval of stability the list of financed projects, shares of financing and sizes NPV varies. For example, if means of financing in the period of time  $f = 0$  will change from 2,9305 million roubles up to 8,0740 million roubles financing of projects will not change (NTV Plus and Astra Network with values  $X_1 = 1.0376$  and  $X_3 = 0.3060$ ), but will change shares of financing and size NPV. If means of financing overstep the bounds of an interval the list of financed projects will change, share of financing and size NPV.

Results of the lead researches have allowed to draw following conclusions.

1. The mathematical model of optimization of the information systems is developed, allowing to reduce expenses and terms of designing of information systems and to raise validity of accepted decisions.
2. The analysis of variables and mathematical model on stability of factors of criterion function and values of the right parts of restrictions is lead.

#### References:

1. H. A. Taha. Operations Research: An Introduction. Seven Edition: Traslation From English, M.: Publishing House Williams, 2005. — 912 p.
2. Kochkina E.M., Radkovskaya E.V. Methods Of Research And Modelling Of National Economy. — Ekaterinburg, Publishing house Ural State Economic University, 2001. — 93 p.

## Symetric Structural Transformation of Direct Mathematical Model of Information System

Semakhin A.M., PhD  
Kurgan State University, Russia

The theory of a duality of problems of linear programming has great value in the theoretical plan and represents the big practical interest. On the basis of the theory of a duality the algorithm of the decision of problems of linear programming — a dual simplex a method and effective methods of the analysis of models is developed.

Let's develop mathematical model of linear programming and we shall carry out symmetric structural transformation of conditions of a direct problem to a dual problem. We shall define the optimum decision and we shall lead the analysis of dual model.

The direct mathematical model is formulated as follows: from among the firms, rendering services satellite Internet in territory of the Russian Federation, preliminary selected by the average expert estimations, it is required to choose the provider satellite Internet with the maximal size of the net present value (NPV) and satisfying to financial restrictions.

The mathematical model of a choice of the optimum investment project satellite Internet in a general view is represented as follows:

$$\max \leftarrow Z = \sum_{i=1}^n A_i * X_i = A_1 * X_1 + \dots + A_n * X_n$$

under restrictions

$$\begin{cases} B_1^0 * X_1 + B_2^0 * X_2 + \dots + B_n^0 * X_n \leq I^0 \\ B_1^1 * X_1 + B_2^1 * X_2 + \dots + B_n^1 * X_n \leq I^1 \\ \vdots \\ B_1^m * X_1 + B_2^m * X_2 + \dots + B_n^m * X_n \leq I^m \\ X \geq 0 \end{cases}$$

where  $A_i$  is a target parameter, unit of measurement;

$B_i^j$  is investment expenses of i project in j period of time, million. roubles;

$I_j$  is available means of financing in j period of time, million. roubles;

$X_i$  is a share of financing of the investment project;

$i = \overline{1, n}$  is a number of the investment project;

$j = \overline{1, m}$  is a number of the period of time, year.

(1)

After calculation of parameters the mathematical model of a choice of the optimum investment project satellite Internet looks like:

$$\max \leftarrow Z = 1.527270 * X_1 + 0.741239 * X_2 + 1.374394 * X_3 + 0.145110 * X_4 + 0.530312 * X_5$$

under restrictions

(2)

$$\begin{cases} 5,4 * X_1 + 3,2 * X_2 + 2,931 * X_3 + 6,286 * X_4 + 5,9 * X_5 \leq 6,5 \\ 2,006437 * X_1 + 1,5 * X_2 + 3,000547 * X_3 + 3,000575 * X_4 + 3,2 * X_5 \leq 3,0 \\ 2,5 * X_2 + 2,0 * X_3 + 1,6 * X_5 \leq 3,0 \\ 0,881832 * X_2 + 1,186 * X_5 \leq 1,5 \\ X_1, X_2, X_3, X_4, X_5 \geq 0 \end{cases}$$

The dual model is developed by rules.

1. To each restriction of a direct problem there corresponds a variable of a dual problem.
2. Each variable direct problem there corresponds restriction of a dual problem.
3. The matrix of factors of system of restrictions of a dual problem turns out from a matrix of factors of system of restrictions of a direct problem transposing.
4. The system of restrictions of a dual problem enters the name in the form of inequalities of opposite sense to inequalities of system of restrictions of a direct problem.
5. Free members of system of restrictions of a dual problem are factors of function of the purpose of a direct problem.
6. The dual problem is solved on a minimum if criterion function of a direct problem is set on a maximum and on the contrary.
7. As factors of criterion function of a dual problem free members of system of restrictions of a direct problem serve.
8. If a variable of direct problem  $X_i \geq 0$ , that i condition of system of restrictions of a dual problem is an inequality, if  $X_i$  – any number i the condition of a dual problem represents the equation.
9. If j the parity of a direct problem is an inequality, a corresponding estimation j a resource – variable  $Y_j \geq 0$ , if j the parity represents the equation a variable of dual problem  $Y_j$  – any number [1, p. 123].

Let's lead symmetric structural transformation of a direct problem to return according to rules. In a general view the dual model will enter the name as follows.

$$\min \leftarrow W = \sum_{j=1}^m I^j * Y_j = I^1 * Y_1 + I^2 * Y_2 + \dots + I^m * Y_m$$

under restrictions

(3)

$$\begin{cases} B_1^1 * Y_1 + B_1^2 * Y_2 + \dots + B_1^m * Y_m \geq A_1 \\ B_2^1 * Y_1 + B_2^2 * Y_2 + \dots + B_2^m * Y_m \geq A_2 \\ \dots \\ B_n^1 * Y_1 + B_n^2 * Y_2 + \dots + B_n^m * Y_m \geq A_n \\ Y_1 \geq 0, Y_2 \geq 0, \dots, Y_m \geq 0 \end{cases}$$

where  $A_i$  – pure current cost of monetary streams, million roubles.;

$B_i^j$  – investment expenses of i-th project in j-th period of time, million roubles.;

$I^j$  – available means of financing in j-th period of time, million roubles.;

$Y_j$  – estimation of money resources of financing in j the period of time;

$i = \overline{1, n}$  – number of the investment project;

$j = \overline{1, m}$  – number of the period of time, year.

The dual mathematical model with numerical parameters of factors looks like.

$$\min \leftarrow W = 6.5 * Y_1 + 3.0 * Y_2 + 3.0 * Y_3 + 1.5 * Y_4$$

under restrictions

(4)

$$\begin{cases} 5.4 * Y_1 + 2.006437 * Y_2 + 0.0 * Y_3 + 0.0 * Y_4 \geq 1.527270 \\ 3.2 * Y_1 + 1.5 * Y_2 + 2.5 * Y_3 + 0.881832 * Y_4 \geq 0.741239 \\ 2.931 * Y_1 + 3.000547 * Y_2 + 2.0 * Y_3 + 0.0 * Y_4 \geq 1.374394 \\ 6.286 * Y_1 + 3.000575 * Y_2 + 0.0 * Y_3 + 0.0 * Y_4 \geq 0.145110 \\ 5.9 * Y_1 + 3.2 * Y_2 + 1.6 * Y_3 + 1.186 * Y_4 \geq 0.53031 \\ Y_1 \geq 0, Y_2 \geq 0, Y_3 \geq 0, Y_4 \geq 0, Y_5 \geq 0 \end{cases}$$

The optimum decision is defined dual a simplex-method. The algorithm dual a simplex-method includes stages:

1. Drawing up of the pseudo-plan.
2. Check of the plan for an optimality.
3. A choice of leaders of a line and a column.
4. Calculation of the new basic plan [1, p. 135].

The optimum decision of a dual problem is presented in table 1.

Table 1

The optimum decision of a dual problem

Variable	Size of variables	Dual estimation	Extremum of criterion function
$Y_1$	0,1768	6,0000	2,00526
$Y_2$	0,2853	0,0000	
$Y_3$	0,0000	2,3881	
$Y_4$	0,0000	1,5000	
$S_1$	0,0000	1,0376	
$S_2$	0,2526	0,0000	
$S_3$	0,0000	0,3060	
$S_4$	1,8225	0,0000	
$S_5$	1,4259	0,0000	

The bottom and top borders of intervals of stability of the optimum decision to change of factors of criterion function are presented in table 2.

Table 2

Factors of criterion function of dual model

Number of the subitem	Variable $Y_j, j = \overline{1, m}$	The minimal value of factor	Reference value of factor	The maximal value of factor
1	$Y_1$	2,9305	6,5000	8,0740
2	$Y_2$	2,4152	3,0000	5,2824
3	$Y_3$	0,6119	3,0000	$+\infty$
4	$Y_4$	0,0000	1,5000	$+\infty$

The bottom and top borders of intervals of stability of the optimum decision are resulted in change of the right parts of restrictions in table 3.

The bottom and top borders of intervals of stability of the optimum decision are resulted in change of the right parts of restrictions.

Results of the lead researches have allowed to draw following conclusions.

1. The optimum decision of a direct problem of a choice of the project satellite Internet defines the list of financed projects and shares of financing.
2. The decision of a dual problem defines optimum system of estimations of the resources used for realization of projects.



Table 3

Values of the right parts of system of restrictions of dual model

Number of the subitem	Free member of the right part of restrictions	The minimal value of the right part of restrictions	Reference value of the right part of restrictions	The maximal value of the right part of restrictions
1	$A_1$	1,0265	1,5273	2,5321
2	$A_2$	$-\infty$	0,7412	0,9938
3	$A_3$	0,8290	1,3744	2,2840
4	$A_4$	$-\infty$	0,1451	1,9676
5	$A_5$	$-\infty$	0,5303	1,9562

*References:*

1. G.P. Formin. Mathematical Methods And Models In Commercial Activities.: Textbook — M.: Finansy I Statistika, 2001. — 544 p.

**Автоматизированное сопровождение учебного процесса вуза**

Сизых Денис Николаевич, студент

Научный руководитель – Мальков И.М., старший преподаватель

Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова (г. Якутск)

В условиях перехода многих высших учебных заведений России на двухуровневую систему образования актуальным становится создание, развитие и совершенствование автоматизированного сопровождения учебного процесса в них. Разработка компьютерных программ подчинена решению главной задачи — оперативно и эффективно переработать большой объем учебной и вспомогательной информации, что объясняет актуальность создания новых компьютерных продуктов (программ).

Существующие российские кампании, разрабатывающие компьютерные программы для сопровождения учебного процесса, стараются решить проблему его автоматизации в вузах. Известная корпорация «Галактика Управление Вузом» предлагает решение, позволяющее «автоматизировать сложные в организационном плане процессы планирования, учета, контроля и анализа деятельности образовательного учреждения» [1]. Речь идет о ERP-системе (Enterprise Resource Planning) [6] по автоматизации учебного процесса вуза. Указанная система призвана планировать и оптимизировать, прежде всего, ресурсы образовательного учреждения. По крайней мере, начиная с 1990-х годов, времени формулировки концепции Ли Вайли (Уайли), аналитиком исследовательской и консалтинговой кампании Gartner [7], начал формироваться рынок поставщиков ERP-систем, имеющих цель сбалансировать управление ресурсами предприятия при помощи прикладных программ.

В данной работе представлена и описана разработка компьютерной программы «Балльно-рейтинговая система» на языке программирования Delphi 6 [2] в Технологическом институте Северо-Восточного федерального

университета. В исследовании проанализирована действующая система контроля учебного процесса и успеваемости студентов в ТИ СВФУ, выявлены ее недостатки; дано описание разработанной компьютерной программы и условия ее эффективной работы.

Задачи исследования:

- 1) сформировать единую интерактивную базу данных на сервере (информация преподавателей);
- 2) написать программу-приложение «Клиент», функция которой осуществить кодированный доступ к базе данных фактических показателей рейтинга студентов (семестр, год, весь период обучения):
  - в группах;
  - на факультете;
  - институте (университете);
- 3) предусмотреть разделение прав при работе с программой «Балльно-рейтинговая система оценки учебной работы студентов»:
  - гость (студент, родители) — просмотр;
  - преподаватель (просмотр и ежедневное внесение данных по результатам занятий в свой раздел — «Учебная дисциплина»);
  - администратор (представитель администрации института, общественной организации с правом внесения изменений, авторизации);
- 4) предусмотреть возможность более широкого использования разработанной программы «Балльно-рейтинговая система».

Программа, разрабатываемая нами для нашего вуза будет более эффективна, так как ее разработчики: студент и преподаватель Северо-Восточного федерального

университета. Поэтому нет необходимости в ее дополнительной адаптации и корректировке. Существует также и возможность оперативного ее расширения в зависимости от текущих потребностей вуза. Более того, программа позволяет учесть особенности региона и при необходимости будет работать на двух языках, учитывая язык коренного населения республики (русский и якутский) и наличие структурного подразделения в СВФУ — Института языков и культуры народов Северо-Востока Российской Федерации.

Согласно п. 2.2 «Положения о балльно-рейтинговой системе в СВФУ» [5, с. 6], данная система оценки знаний студентов предназначена для повышения объективности и достоверности оценки уровня их подготовки и используется в качестве одного из элементов управления учебным процессом в университете. Предлагаемая нами программа «Балльно-рейтинговая система» позволит решить задачи, связанные с созданием базы данных, в т.ч. для поощрения студентов (назначение академической стипендии, материальной помощи и др.), корректировкой администрацией, преподавателями учебного процесса.

Создание базы данных осуществляется с помощью IBConsole, приложением из состава среды быстрой разработки приложений Delphi 6.0. В начале создается файл базы данных, имеющий расширение \*.GDB, затем структура таблиц данных. Ниже приведена не полная структура данных разрабатываемой информационной системы (Рис. 1, 2, 3).

В нормализованной базе данных уменьшается количество вероятности ошибок, например, при совпадении фамилии и инициалов студента и преподавателя. Пример нормализации базы данных представлен ниже (Рис. 4).

Реализация архитектуры «Клиент-Сервер» представлена ниже на рис. 5.

Особенности интерфейса: использование существующих данных, сохраненных в формате файлов XLS (импорт основных данных); разделенный функционал программы за счет авторизации пользователя (администрация учебного заведения, преподаватель, студент или администратор системы); минимизация затрат пользователя за счет использования компонент выбора значений (раскрывающиеся списки факультетов, групп и предметов); автоматическое определение параметров выбора и формирования итоговых данных (рейтинговых списков по группе, факультету, учебному заведению) (Рис. 6).

Для работы программы «Балльно-рейтинговая система» необходимо наличие следующих данных: учебные заведения, факультеты, группы, кафедры, предметы, преподаватели, расписание занятий, которые заносятся в базу данных через import из существующих файлов Excel по установленной форме. Функционирование балльно-рейтинговой системы (базы данных) изображено на рис. 7.

Защиту данных обеспечивают следующими средствами: 1) авторизация пользователя на сеанс в ОС Windows, 2) авторизация в компьютерной программе «Балльно-рейтинговая система», 3) установка пользователя и

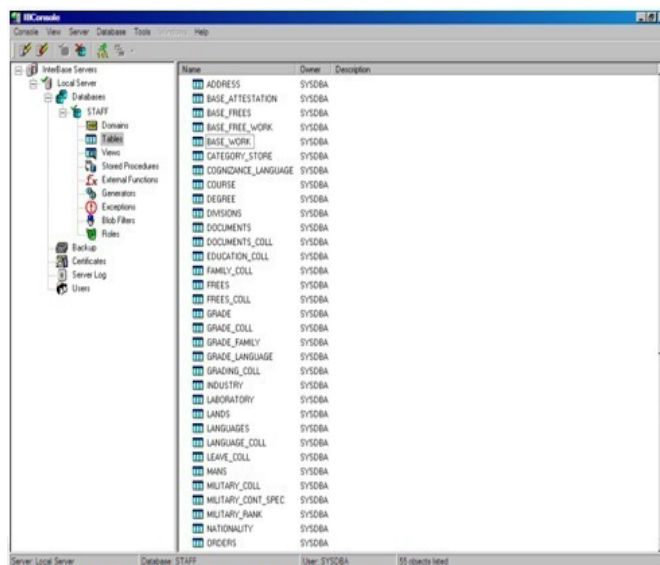


Рис. 1. Структура данных, созданная в СУБД

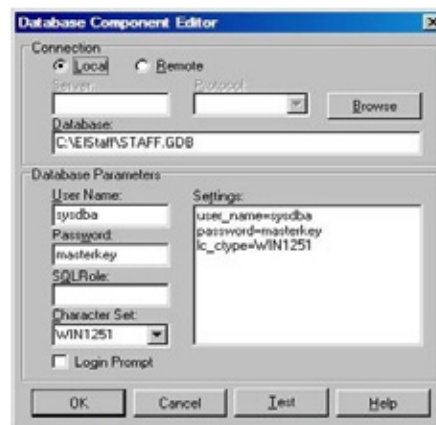


Рис. 2. Параметры доступа к базе данных из приложения

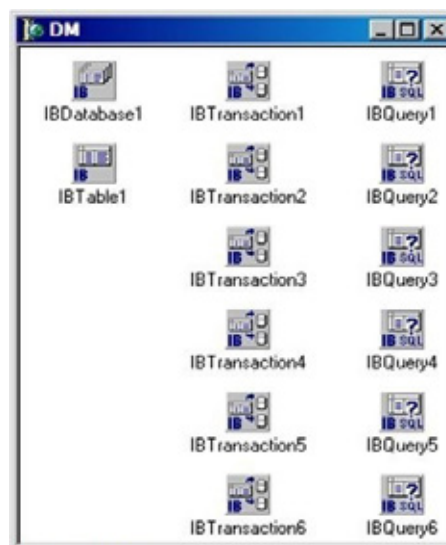


Рис. 3. Модуль данных, используемый приложением (программой)

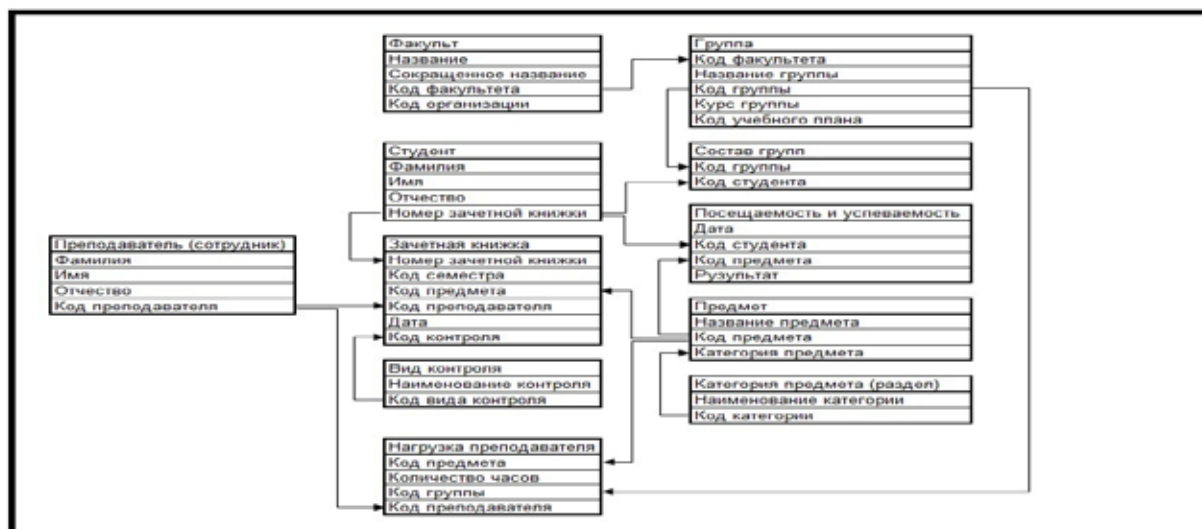


Рис. 4. Нормализация базы данных

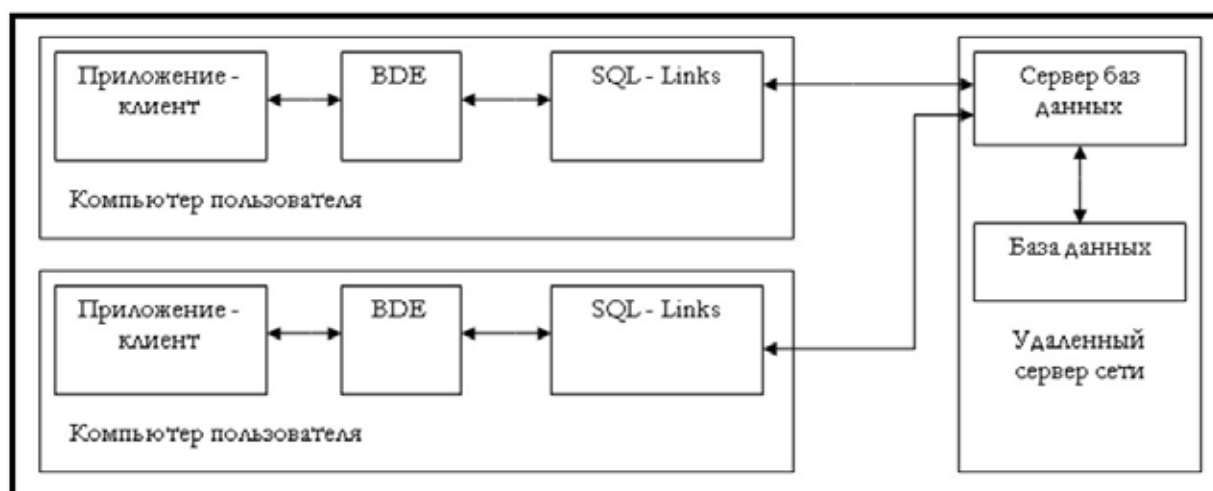


Рис. 5. Реализация архитектуры «Клиент – Сервер»

The screenshot shows the 'Импорт данных' (Import Data) window with the following fields:

- Institutions**: 02.02.2012
- Departments**: 02.02.2012
- Groups**
- Students**
- Subjects studied**
- Schedule**
- OK** button

Рис. 6. Форма импорта данных

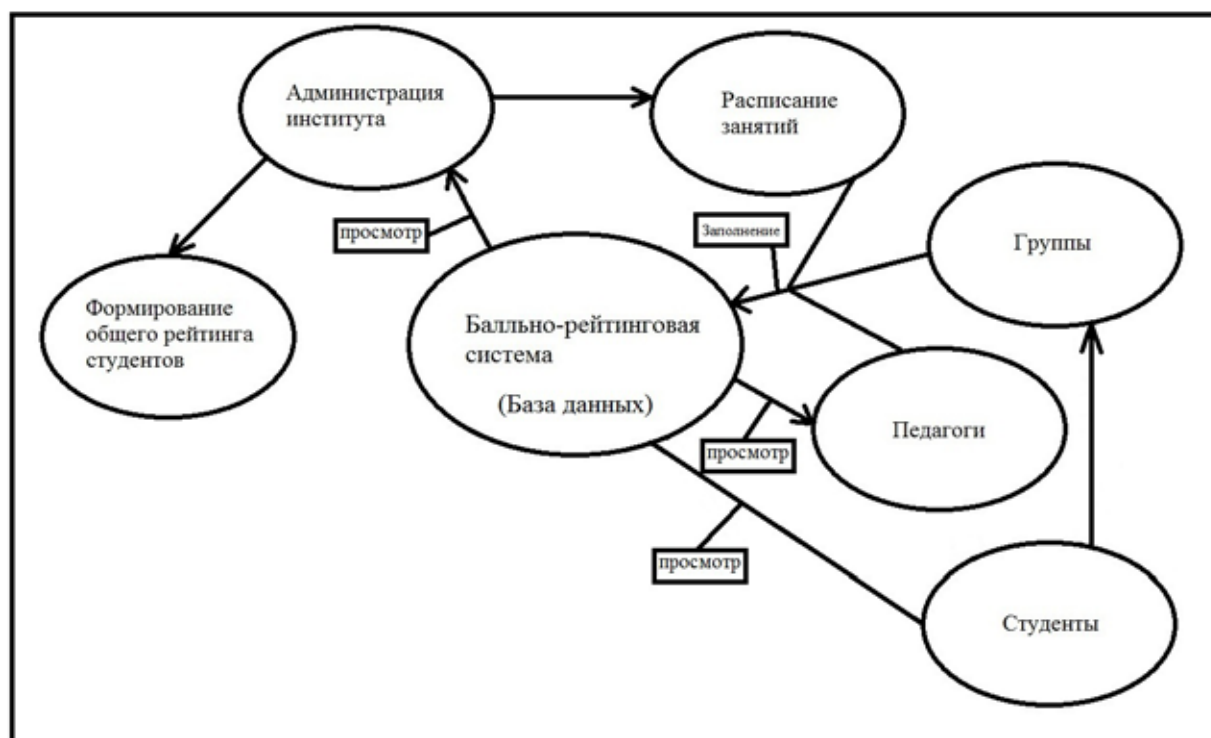


Рис. 7. Функционирование «Балльно-рейтинговой системы»

пароля для доступа к файлу баз данных с помощью сервера Interbase и приложения баз данных (модуль данных).

Преимущества разрабатываемой программы «Балльно-рейтинговая система»: 1) осуществляет непрерывный контроль за учебным процессом, 2) выступает средством мотивации к формированию собственного рейтинга, стимулирует его учебную и исследовательскую активность, 3) позволяет уменьшить трудозатраты

на организацию учебного процесса; 4) позволяет вводить коррективы в ход учебного процесса с учетом использования базы данных.

Компьютерная программа «Балльно-рейтинговая система» поможет обеспечить эффективную реализацию учебного процесса, являясь его автоматизированным сопровождением.

#### Литература:

1. Автоматизация учебного процесса вуза [Электронный ресурс] [2012]. — Режим доступа: <http://vuz.galaktika.ru/partition/training.php>
2. Бабич, Н.А. Принципы построения современных систем управления данными / Н.А. Бабич // В мире научных открытий. — Красноярск: НИЦ, 2010. — Часть 6. — С. 43–45.
3. Булыгин, В.Г. Автоматизация учебного процесса // В.Г. Булыгин. Основы автоматизации процесса обучения [Электронный ресурс] [2012]. — Режим доступа: [http://www.eusi.ru/lib/bulygin\\_osnovy\\_avtomatizacii\\_processa\\_obucenia/2.shtml](http://www.eusi.ru/lib/bulygin_osnovy_avtomatizacii_processa_obucenia/2.shtml)
4. Осипов, Д.Л. Базы данных и Delphi / Д.Л. Осипов. — СПб.: БХВ-Петербург, 2011. — 752 с.
5. Положение о балльно-рейтинговой системе в СВФУ. — Якутск: СВФУ, 2011. — 20 с.
6. Enterprise Resource Planning (ERP) [Электронный ресурс] [2012]. — Режим доступа: <http://ru.wikipedia.org/wiki/ERP>
7. Gartner [Электронный ресурс] [2012]. — Режим доступа: <http://ru.wikipedia.org/wiki/Gartner>

## Итеративный алгоритм для задачи о назначении\*

Кузовлев Дмитрий Игоревич, кандидат технических наук;  
Тизик Александр Петрович, кандидат технических наук, старший научный сотрудник;  
Тресков Юрий Павлович, научный сотрудник  
Вычислительный центр РАН (г. Москва)

Предложен новый метод решения задачи о назначении, основанный на декомпозиции исходной задачи на ряд двумерных оптимизационных задач. Целочисленность и монотонность по целевой функции итерационного процесса решения обеспечивает конечность алгоритма. В результате может получиться или единственное оптимальное решение исходной задачи о назначении, или система ограничений, из которой можно получить все оптимальные решения.

**Введение.** В данной работе метод последовательных изменений параметров функционала для транспортных задач [1] конкретизируется для задачи о назначении (см., например, [2]). Специфика задачи о назначении выявляет особенности применения данного алгоритма. Булевость переменных приводит к более простым формулам, а интерпретация при вырождении является более прозрачной.

**1. Предварительные рассуждения.** Имеется следующая классическая задача о назначении (см., например, [2]):

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (1.1)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1, \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (1.2)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} \rightarrow \min \quad (1.3)$$

$$x_{ij} - \text{целые}, 0 \leq x_{ij} \leq 1, 1 \leq i, j \leq n \quad (1.4)$$

Предположим, что  $c_{ij}$  — чётные неотрицательные числа при всех  $i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, n$ , что не ограничивает общности рассмотрения.

Здесь используется известная интерпретация. Имеются  $n$  работ и  $n$  исполнителей.  $c_{ij}$  — количество рабочих часов, которые затрачивает  $i$ -й исполнитель на  $j$ -ю работу. Целью является минимизация суммы рабочего времени на выполнение всех  $n$  работ.

Вычислим  $c_{ij}^1 = c_{ij}^2 = c_{ij}/2$  и составим  $n$  оптимизационных задач с ограничениями (1.1):

$$\sum_{j=1}^n c_{ij}^1 x_{ij} \rightarrow \min \quad i = 1, 2, \dots, n; \quad (1.5)$$

$$x_{ij} - \text{целые}, 0 \leq x_{ij} \leq 1, 1 \leq i, j \leq n \quad (1.6)$$

Составим также ещё  $n$  оптимизационных задач с ограничениями (1.2) и (1.6):

$$\sum_{i=1}^m c_{ij}^2 x_{ij} \rightarrow \min, \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (1.7)$$

Задачи вида (1.1), (1.5), (1.6), и (1.2), (1.6), (1.7) решаются простым выбором наименьших коэффициентов целевой функции, а именно, пусть в задаче вида (1.1), (1.5), (1.6)

$$c_{ij}^1 = \min_j c_{ij}^1, \text{ тогда } x_{ij} = 1$$

Точно так же решаются и задачи (1.2), (1.6), (1.7).

Предположим, что все  $2n$  задач (1.1), (1.5), (1.6) и (1.2), (1.6), (1.7) решены. Объединение оптимальных решений всех  $2n$  одномерных задач назовём псевдорешением исходной задачи о назначении, а соответствующую сумму значений целевых функций значением целевой функции псевдорешения. Очевидно, что значение целевой функции псевдорешения не превосходит значения целевой функции оптимального решения исходной задачи (1.1) — (1.4), причём этот факт не зависит от способа разбиения каждого  $c_{ij}$  на два слагаемых.

**Теорема 1.** Если объединение оптимальных решений всех  $2n$  задач (1.1), (1.5), (1.6) и (1.2), (1.6), (1.7) — (псевдорешение исходной задачи о назначении) является допустимым решением задачи исходной задачи (1.1) — (1.4), то оно является оптимальным решением задачи (1.1) — (1.4).

**2. Конструкции алгоритма.** Пусть объединение оптимальных решений  $2n$  задач (1.1), (1.5), (1.6) и (1.2), (1.6), (1.7) не является допустимым решением исходной задачи (1.1) — (1.4). В этом случае строим пошаговый процесс решения следующих двумерных оптимизационных задач. На первом шаге выпишем первое ограничение из (1.1), ( $i = 1$ ), и первое ограничение из (1.2), ( $j = 1$ ):

$$\sum_{j=1}^n x_{1j} = 1 \quad (2.1)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{i1} = 1 \quad (2.2)$$

Составим целевую функцию:

$$\sum_{j=1}^n c_{1j}^1 x_{1j} + \sum_{i=1}^n c_{i1}^2 x_{i1} \rightarrow \min \quad (2.3)$$

и рассмотрим задачу (1.6), (2.1) — (2.3).

При решении задачи (1.6), (2.1) — (2.3) могут иметь место три случая.

Первый случай:

$$c_{11} < \min_{j \neq 1} c_{1j}^1 + \min_{i \neq 1} c_{i1}^2 \quad (2.4)$$

Тогда полагаем  $x_{11} = 1$  и задача (1.6), (2.1) — (2.3) решена. После решения задачи (1.6), (2.1) — (2.3) найдём



новые  $c_{11}^1$  и  $c_{11}^2$  сначала из системы уравнений

$$\begin{cases} c_{11}^1 + c_{11}^2 = c_{11} \\ \min_{j \neq 1} c_{1j}^1 - c_{11}^1 = \min_{i \neq 1} c_{i1}^2 - c_{11}^2 \end{cases}$$

Затем, при необходимости, округлим  $\max(c_{11}^1, c_{11}^2)$  до ближайшего целого в меньшую сторону, а  $\min(c_{11}^1, c_{11}^2)$  — в большую сторону.

Второй случай:

Пусть

$$c_{11} = \min_{j \neq 1} c_{1j}^1 + \min_{i \neq 1} c_{i1}^2 \quad (2.5)$$

Тогда обозначим  $c_{1j}^1 = \min_{j \neq 1} c_{1j}^1$  и  $c_{i1}^2 = \min_{i \neq 1} c_{i1}^2$ , вместо решения выписываем ограничения  $x_{11} + x_{1j}^* = 1$ ,  $x_{11} + x_{i1}^* = 1$ . Вычисляем новые значения  $c_{11}^1 = c_{1j}^1$  и  $c_{11}^2 = c_{i1}^2$ .

Третий случай:

$$c_{11} > \min_{j \neq 1} c_{1j}^1 + \min_{i \neq 1} c_{i1}^2 \quad (2.6)$$

Тогда, очевидно, что  $x_{1j}^* = 1$ ,  $x_{i1}^* = 1$  и задача (1.6), (2.1) — (2.3) решена. Далее, найдём новые  $c_{11}^1$  и  $c_{11}^2$  из системы уравнений

$$\begin{cases} c_{11}^1 + c_{11}^2 = c_{11} \\ c_{1j}^1 - c_{11}^1 = c_{i1}^2 - c_{11}^2 \end{cases}$$

Округлим до целого так же, как и во втором случае. Сформируем с новыми значениями  $c_{11}^1$  и  $c_{11}^2$  две одномерные задачи. Первая задача

$$\sum_{j=1}^n c_{1j}^1 x_{1j} \rightarrow \min \quad (2.7)$$

при ограничениях (1.6), (2.1) и вторая задача

$$\sum_{i=1}^n c_{i1}^2 x_{i1} \rightarrow \min \quad (2.8)$$

при ограничениях (1.6), (2.2).

Имеет место следующее утверждение.

**Теорема 2.** Во всех вышеперечисленных случаях (выполняется соотношение (2.4), (2.5) или (2.6)) объединение оптимальных решений одномерных задач (1.6), (2.1), (2.7) и (1.6), (2.2), (2.8) с новыми значениями  $c_{11}^1$  и  $c_{11}^2$  является оптимальным решением двумерной задачи (1.6), (2.1) — (2.3).

**Теорема 3.** Объединение решений одномерных задач является оптимальным решением исходной задачи о назначении (1.1) — (1.4).

**Теорема 4.** Любое допустимое решение редуцированной задачи о назначении, полученной в результате пошагового процесса есть её оптимальное решение.

Итак, оптимальное решение исходной задачи о назначении есть объединение значений переменных, опреде-

лённых однозначно в итоге пошагового процесса с произвольным допустимым решением редуцированной задачи о назначении.

Рассмотрим, наконец, случай когда в результате пошагового процесса для некоторых переменных в одной из одномерных задач получено некоторое значение, а в другой — ограничение совместно с другими переменными. В этом случае допустимое решение исходной задачи может быть ещё не достигнуто. Возможна ситуация, когда система итоговых ограничений формирует ограничения задачи о назначении с запретами, которая может не иметь допустимых решений. Это будет рассмотрено после примера 1. Верно, однако, следующее утверждение.

**Лемма.** Оптимальное решение задачи о назначении не изменится, если при сохранении неотрицательности продолжительности выполнения работ изменить на одну и ту же величину все продолжительности выполнения работ одного исполнителя или продолжительность выполнения одной работы всеми исполнителями.

Дальнейшие конструкции алгоритма будут использовать результаты леммы. Они направлены на увеличение количества переменных, входящих в ограничения за счёт переменных с найденным значением. В итоге все переменные окажутся записанными в ограничениях или же оставшиеся переменные с найденным значением не нарушают допустимого решения исходной задачи.

Итак, пусть в результате пошагового процесса допустимое решение исходной задачи о назначении (оно же и оптимальное) не получено. Пусть, для простоты и определённости превышено ограничение первой группы с номером  $i_0$ , в котором имеет место  $x_{i_0 j_1} + x_{i_0 j_2} + x_{i_0 j_3} = 1$ , но в ограничениях второй группы имеют место равенства  $x_{i_0 j_1} = b_{j_1}^*$ ,  $x_{i_0 j_2} = b_{j_2}^*$ ,  $x_{i_0 j_3} = b_{j_3}^*$ ,  $b_{j_k}^* = 1$  или 0,  $k = 1, 2, 3, 4$  и, кроме того

$$b_{j_1}^* + b_{j_2}^* + b_{j_3}^* > 1. \quad (2.9)$$

Обозначим через  $c_{i_0 j_1}^2 = \min_i c_{i j_1}^2$  для  $c_{i j_1}^2 \geq c_{i_0 j_1}^2$  в ограничении  $j_1$ , а так же  $c_{i_0 j_2}^2 \geq c_{i_0 j_2}^2$  в ограничении  $j_2$  и, наконец,  $c_{i_0 j_3}^2 \geq c_{i_0 j_3}^2$  в ограничении  $j_3$ . При этом, очевидно,  $x_{i_0 j_1} = 0$ ,  $x_{i_0 j_2} = 0$ ,  $x_{i_0 j_3} = 0$ . Вычислим  $\Delta c_{i_0 j_1} = c_{i_0 j_1} - c_{i_0 j_1}^1 - c_{i_0 j_1}^2$ , где  $x_{i_0 j_1}^*$  и  $x_{i_0 j_1}^*$  — переменные, попавшие в ограничения по итогам итерационного процесса (т.е. рассматриваемые на предмет присвоения им положительных значений), и по аналогии обозначим  $\Delta c_{i_0 j_2}$  и  $\Delta c_{i_0 j_3}$ .

Далее пусть  $\Delta c = \min(\Delta c_{i_0 j_1}, \Delta c_{i_0 j_2}, \Delta c_{i_0 j_3})$ . Тогда очевидно, что, если, пользуясь утверждением Леммы, передать из целевой функции одномерной задачи (возможно увеличив её предварительно на достаточную величину) с номером ограничения  $i_0$  величину  $\Delta c$  в одномерные задачи с номерами  $j_1$ ,  $j_2$  и  $j_3$  соответственно, то, по крайней мере, в одной из пар задач с номерами ограничений  $i_1, j_1$  ( $i_2, j_2$  или  $i_3, j_3$ ) в ограничениях появится ещё одна переменная, которая может быть больше нуля,

и тем самым неравенство (2.9) станет содержать больше переменных. После некоторого (заведомо меньшего, чем  $n + m$ ) количества таких процедур будет получено оптимальное решение исходной транспортной задачи.

*Литература:*

1. Тизик А.П., Цурков В.И. Метод последовательных изменений параметров функционала в задаче о назначении // Автоматика и телемеханика. 2011. №12.
2. Гольштейн Е.Г., Юдин Д.Б. Задачи линейного программирования транспортного типа, М.: Наука, 1969 г.

## 2. ЭЛЕКТРОНИКА, РАДИОТЕХНИКА И СВЯЗЬ

### Разработка термостабильного источника опорного напряжения

Жаворонкова Мария Сергеевна, кандидат технических наук, доцент;

Бондарь Сергей Николаевич, кандидат технических наук, доцент

Ставропольский государственный аграрный университет

В последние годы в электроэнергетику стали активно внедряться цифровые микропроцессорные устройства и системы автоматического управления. Они находят применение при: автоматическом регулировании возбуждения синхронных генераторов (АРВ); автоматическом регулировании частоты вращения и активной мощности синхронных генераторов; автоматической частотной разгрузке (АЧР) электроэнергетической системы; автоматическом повторном включении (АПВ); автоматическом включении резерва (АВР); автоматическом включении синхронных генераторов на параллельную работу.

Связано это с тем, что цифровые микропроцессорные устройства и системы автоматического управления являются более эффективными по сравнению с их аналоговыми предшественниками. Их преимущества: точность; гибкость (возможность изменения алгоритма функционирования); меньшая стоимость; возможность построения сложных систем; возможность подключения к компьютерной сети.

Они содержат в своей структуре как цифровую (дискретную), так и аналоговую (непрерывную) части. Для согласования этих частей в системе используются аналого-цифровые (АЦП) и цифро-аналоговые преобразователи (ЦАП). От точности используемых в системе АЦП и ЦАП напрямую зависит достоверность информации о значениях измеряемых параметров, а, следовательно, результативность принимаемых на их основе решений и качество управления.

В свою очередь такие показатели точности преобразователей как шум квантования АЦП и погрешность преобразования ЦАП связаны с применяемыми при их работе источниками опорного напряжения (ИОН). А именно, со стабильностью температурных параметров ИОН.

Нами были проанализированы существующие на сегодняшний день разновидности источников опорного напряжения: на стабилитронах, с напряжением запрещенной зоны, на полевых транзисторах, на диодах. Отмечены их недостатки: низкая температурная стабильность и высокий уровень шумов. Была поставлена цель по разработке нового термостабильного ИОН, характеризующегося температурной стабильностью при одновременном снижении уровня шумов.

В основу была положена схема ИОН на диодах и операционных усилителях. Выполнена сравнительная оценка концепций, на которых базируется известный источник опорного напряжения на диодах и операционных усилителях и предлагаемый нами.

В основе работы предлагаемого устройства был положен ряд операций:

1. Генерация убывающего от роста температуры напряжения (напряжения характеризуемого отрицательным температурным коэффициентом).
2. Генерация возрастающего от роста температуры напряжения (напряжения характеризуемого положительным температурным коэффициентом).
3. Буферизация генерируемых напряжений.
4. Масштабное суммирование двух напряжений.
5. Буферизация суммированных напряжений.

Была разработана структурная схема предлагаемого устройства, рисунок 1. Для анализа его работы была создана модель в программе схемотехнического анализа MicroCAP-8.

В источнике опорного напряжения применены однотипные резисторы с одинаковым температурным коэффициентом сопротивления. На операционном усилителе  $A_1$ , резисторах  $R_3$ ,  $R_4$  и  $R_5$  собран самозапускающийся инвертирующий усилитель.

Определяющее условие работы устройства заключается в том, чтобы величина потенциала узла  $B$  значительно превышала величину потенциала узла  $A$ . Где узел  $B$  — это выход инвертирующего усилителя, а потенциал узла  $A$  задается диодом  $VD_1$ , операционным усилителем  $A_1$ , резистором  $R_2$ .

Рассмотрим за счет чего будет выполняться это условие и как в предлагаемом ИОН реализуются заявленные операции.

Так как диод  $VD_1$  характеризуется отрицательным температурным коэффициентом, то в свою очередь, потенциал узла  $A$  характеризуется убывающим от роста температуры напряжением.

Так как операционный усилитель  $A_1$  характеризуется отрицательным токовым коэффициентом по температуре и напряжению (ток потребления уменьшается с ростом напряжения питания и температуры), то имеет место:

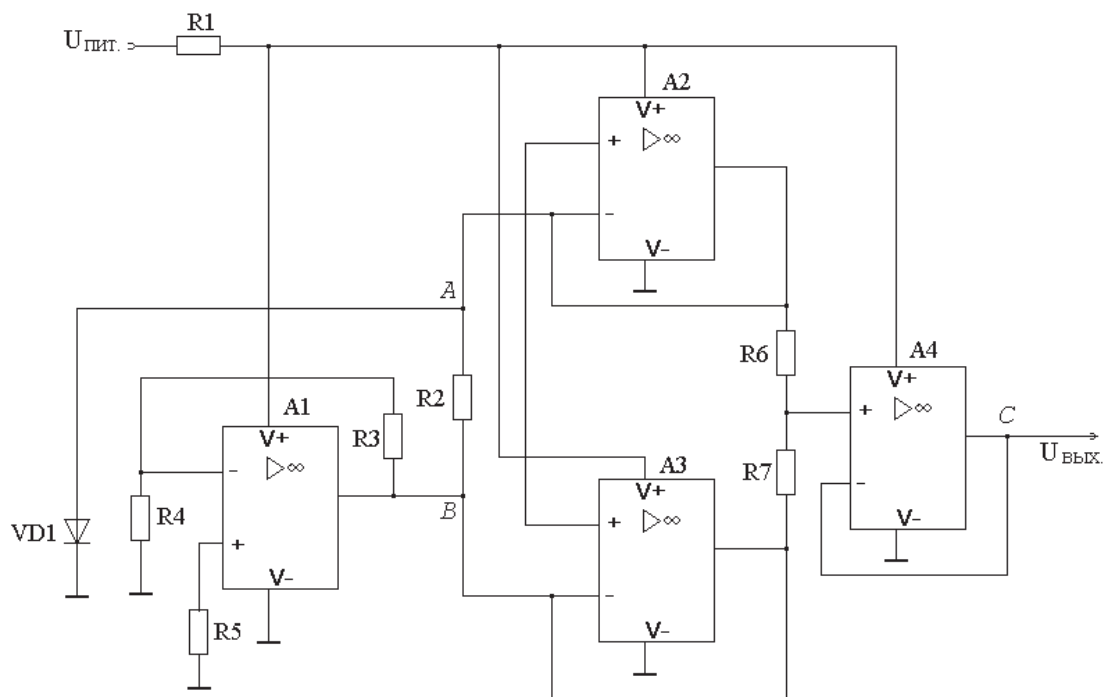


Рис. 1. Схема предлагаемого устройства

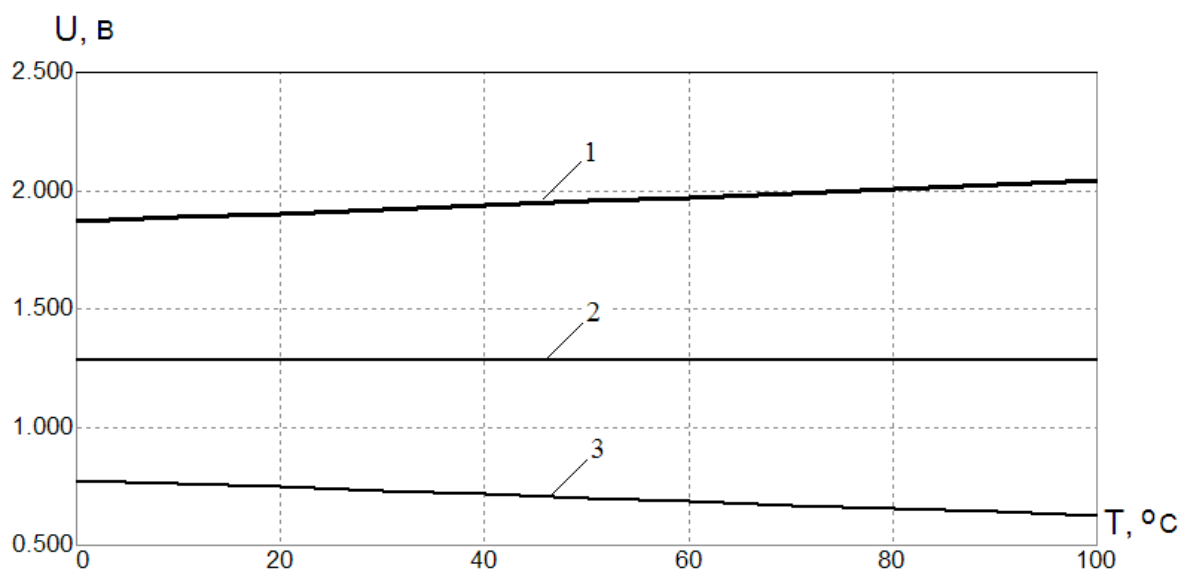
1) -  $U_{ou1}$  (потенциал узла B); 2) -  $U_{вых}$  (потенциал узла C); 3) -  $U_д$  (потенциал узла A).

Рис. 2. Графики зависимости потенциалов в точках A, B и C от изменения температуры

1) эффект стабилизации напряжения на входе питания операционного усилителя  $A_1$  с коэффициентом более 1000;

2) эффект возрастания напряжения питания операционного усилителя  $A_1$  с ростом температуры. Поэтому на выходе узла B генерируется возрастающее от роста температуры напряжение.

Обобщая сказанное, на рисунке 2 показаны полученные зависимости изменения потенциалов узлов A (кривая 3) и B (кривая 1) от температуры.

Дальнейшая операция — буферизация генерируемых напряжений — осуществляется посредством операционных усилителей  $A_2$  и  $A_3$  выполняющих функцию защиты величин потенциалов узлов A и B от входных токов сумматора.

Сумматор собран на резисторах  $R_6$  и  $R_7$ . Входными сигналами для него служат подвергнутые буферизации потенциалы узлов A и B.

И наконец, заключительная операция — буферизация суммированных напряжений — выполняется посредством

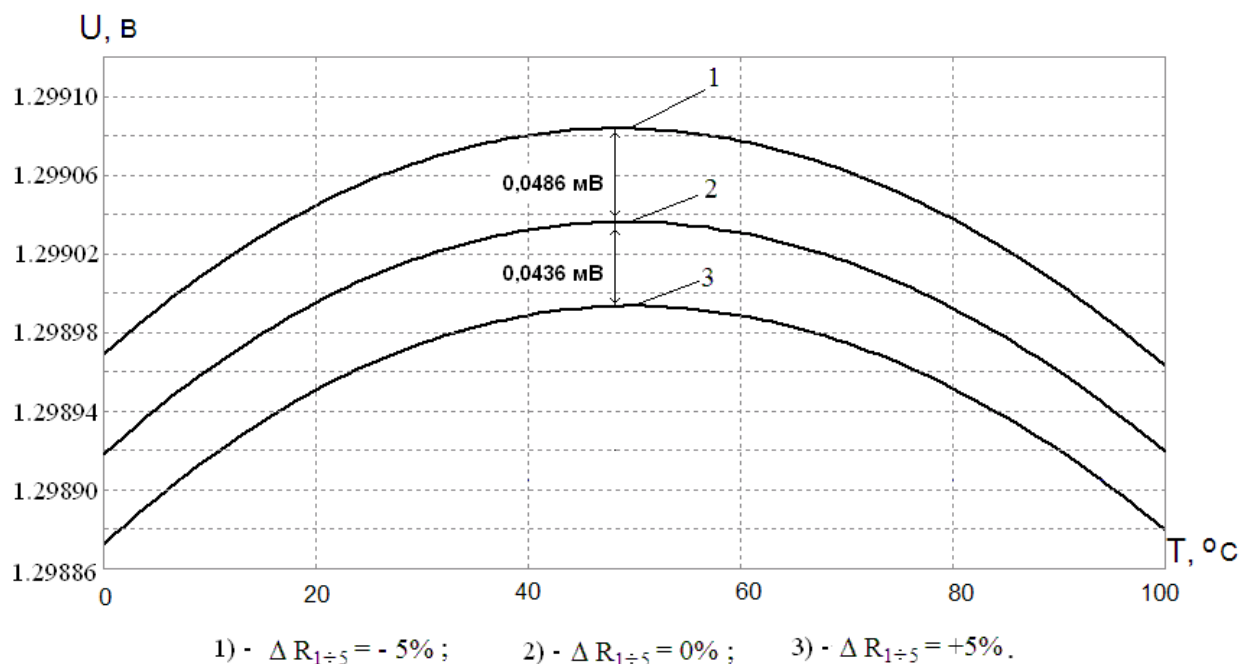


Рис. 3. Графики зависимости величины выходного опорного напряжения устройства при отклонении номиналов сопротивлений резисторов схемы на  $\pm 5\%$  от расчетного и неизменности сопротивлений резисторов сумматора

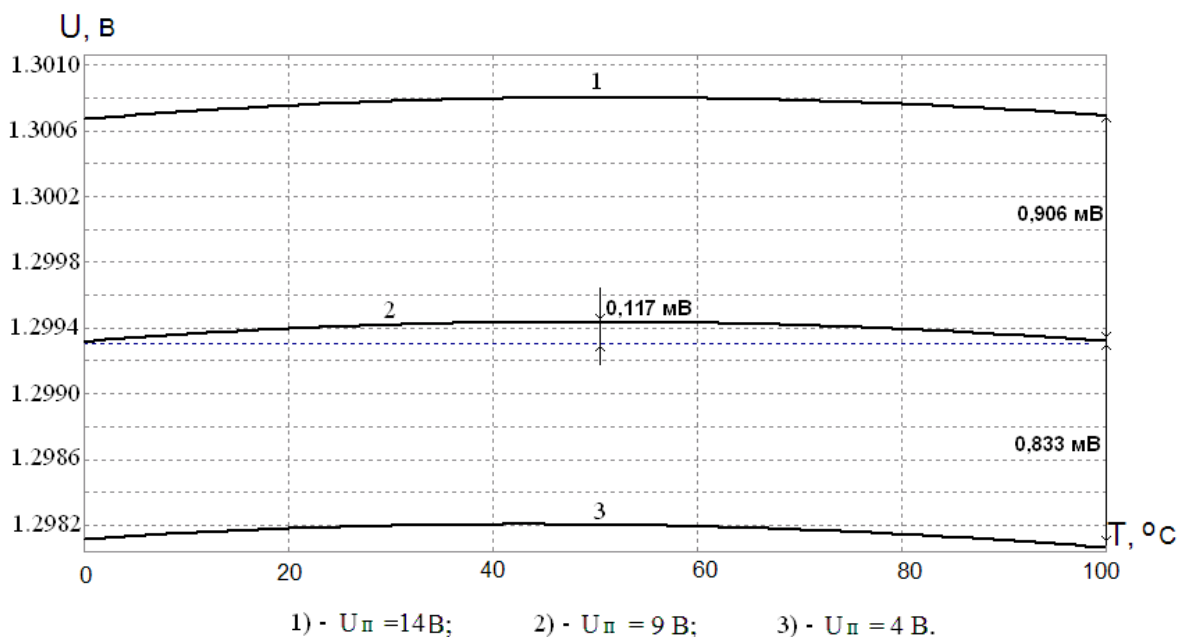


Рис. 4. Графики зависимости величины выходного опорного напряжения устройства при отклонении напряжения питания устройства на  $\pm 5\text{ В}$  от среднего (9 В)

повторителя напряжения, выполненного на базе операционного усилителя  $A_4$ . Он характеризуется малым выходным сопротивлением, благодаря чему источник опорного напряжения по своим параметрам приближается к идеальному.

Вольт-температурная характеристика на выходе устройства (узел С) показана на рисунке 2 (кривая 2).

Ее наклон задается соотношением номиналов сопротивлений резисторов  $R_6, R_7$  и входного сопротивления операционного усилителя  $A_4$ .

Как видно из принципа работы устройства, величина выходного опорного напряжения существенно зависит только от соотношения номиналов сопротивлений резисторов сумматора  $R_6, R_7$ .



Это справедливо, так как было установлено, что:

- во-первых, разброс параметров операционных усилителей и остальных резисторов не оказывает существенного влияния на величину выходного напряжения, как видно из рисунка 3.

- во-вторых, изменение напряжения питания слабо влияет на величину выходного напряжения, как видно из рисунка 4.

В итоге, при неизменности номиналов элементов схемы и напряжения питания в диапазоне температур  $1-100^{\circ}\text{C}$ , разработанное устройство характеризуется следующими параметрами:

- неравномерность выходного напряжения не превышает  $0,117\text{ мВ}$ ,
- $\text{TKH} = 1,17 \cdot 10^{-6}\text{K}^{-1}$ ,

#### Литература:

1. Патент РФ на изобретение № 2426170 от 10.08.2011. Источник опорного напряжения / Бондарь М.С.

- ток потребления устройства  $12 \div 522\text{ мкА}$ , при напряжении питания, соответственно,  $4 \div 14\text{ В}$ .

Таким образом, мы добились повышения точности формирования опорного напряжения в сравнении с известными устройствами, при одновременном снижении сложности реализации.

Также нами был выполнен выбор и синтез следующих элементов функциональной схемы разработанного ИОН. Разработана принципиальная схема устройства. В соответствии с принципиальной схемой разработана печатная плата устройства, которая в силу сложности имеет двусторонний монтаж.

Разработанный термостабильный источник опорного напряжения подтвержден патентом на изобретение [1].

## Навигационные комплексы наземных мобильных средств

Комраков Дмитрий Вячеславович, аспирант

Тамбовский государственный технический университет

Одним из методов определения местоположения подвижных объектов является метод навигационного числения пути, называемый также методом инерциальной навигации. Этот метод предполагает оснащение транспортного средства датчиками направления (курса) и пройденного пути, по показаниям которых определяется местоположение объекта. В зависимости от назначения и структуры системы, вычисление местоположения может производиться как непосредственно на самом транспортном средстве с помощью бортового навигационного компьютера, так и в диспетчерском пункте, через подсистему передачи данных, в качестве которых могут использоваться любые системы связи (сотовые, транкинговые, спутниковые и т.д.).

Существуют различные приемы определения направления движения и пройденного пути. Определение пройденного пути является более простой задачей по сравнению с вычислением курса. В большинстве систем местоопределения транспортных средств навигационный компьютер подключается к спидометру автомобиля. Современные электронные спидометры могут выдавать так называемые колесные импульсы через каждые 20 см пробега, что обеспечивает высокую точность измерения пройденного пути. В настоящее время прорабатываются и другие способы измерения расстояний, такие, как нанесение оптических лент на шины и размещение магнитных лент на колесах автомобиля. Они могут использоваться в тех случаях, когда подключение к спидометру не совсем

удобно с точки зрения компоновки и размещения аппаратуры. Более сложная задача, это определение курса, которая может решаться несколькими способами, например, с использованием магнитных полей Земли. Прибор, построенный на таком принципе, называется магнитный компас. Основным недостаткам такого прибора является невысокая точность, необходимость введения поправки на магнитное склонение и, главное, необходимость учета магнитных полей самой автомашины и других факторов искажения магнитного поля. Использование более точных геомагнитных приборов на основе магнитных датчиков (феррозондов) и мощных бортовых компьютеров, обеспечивающих учет поправки дирекционного угла, позволяет избавиться от части указанных недостатков. Однако главный недостаток подобных приборов, связанный с искажениями магнитного поля, не устраняется. Поэтому в ряде систем местоопределения автомашин магнитные датчики направления, представляющие, как правило, трехкомпонентные измерители магнитного поля Земли, дополняются другими приборами, позволяющими компенсировать искажения магнитного поля, возникающие из-за различных факторов. В качестве таких приборов наиболее часто используются датчики ускорения — акселерометры. Сочетание магнитных датчиков направления с акселерометром (при использовании бортового вычислительного устройства) иногда называют бесплатформенным магнитным компасом. Кроме акселерометров, в качестве корректоров геомагнитных приборов могут ис-

Таблица 1

## Сравнительный анализ современных навигационных комплексов

Название	Состав	Погрешность (СКО) определения координат в режиме спутниковой навигационной системы	Погрешность (СКО) определения координат в автономном режиме
Трона-1	гирокурсоуказатель (датчик угловой ориентации и датчик скорости); спутниковая навигационная система	10 м	0,7 % от пройденного пути (для гусеничных объектов); 0,9 % от пройденного пути (для колесных объектов)
ТНА-4	датчик угловой ориентации; датчик скорости; курсовая система «Маяк-2»	спутниковая навигационная система отсутствует	0,7 % от пройденного пути (для гусеничных объектов); 0,9 % от пройденного пути (для колесных объектов)
Азимут	датчик угловой ориентации; датчик скорости; спутниковая навигационная система	25 м	0,8–1,2 % от пройденного пути
Ориентир	датчики угловой ориентации (геомагнитный и гироскопический); датчик скорости; система дальней навигации («Чайка» и «LORAN-C»)	500 м	0,2 % от пройденного пути
КомпаНав-2Т	цифровой магнитный компас; датчик скорости; инерциальная система; спутниковая навигационная система	25 м	500 м (5 мин после пропадания сигнала СНС)
Малогабаритная навигационная аппаратура ФГУП НКТБ «ФЕРРИТ»	датчик магнитного поля; датчик линейного ускорения; спутниковая навигационная система	20 м	0,8–1,0 % от пройденного пути

пользоваться датчики угловой скорости на основе гироскопов. Механические гироскопы в системах местоопределения автомашин практически не используются в связи с их значительными габаритами и потребляемой мощностью. В системах возможно применение лазерных волоконно-оптических гироскопов.

В таблице 1 представлен сравнительный анализ современных навигационных комплексов выпускаемых как для гражданской, так и для военной промышленности [1–5].

Применение в составе навигационных комплексов нескольких одноименных датчиков, работа которых основана на различных физических принципах, дает меньшую погрешность определения координат в автономном режиме. Данные методы обладают рядом преимуществ. Например, по сравнению с приемниками спутниковых радионавигационных систем приборы инерциальной навигации не подвержены воздействию радиопомех. Они начинают работать сразу после включения (не требуются 1–2 мин. для загрузки информации со спутника), зона их действия практически не ограничена (не требуется прямая видимость нескольких спутников), в них

производятся курсоуказание, определение расстояния до ориентиров, измерение дирекционного угла. Совершенствование навигационных комплексов возможно за счет применения датчиков, принцип действия которых будет основан на применении новых технологий, а также за счет интеграции комплексов с системами сотовой связи и системами дальней навигации, что позволит увеличить точность местоопределения и устранить «мертвые зоны».

Следует также упомянуть, что многие компании, разрабатывают системы местоопределения подвижных объектов, путем интеграции сотовой связи с глобальной системой спутниковой радионавигации — GPS. К несомненным достоинствам подобных систем относится высокая точность местоопределения и глобальное покрытие. После снятия ограничений на точность определения местоположения с помощью системы GPS гражданские потребители имеют возможность узнать координаты своего местонахождения с точностью до 10 м. При этом определение местоположения может производиться и вне зоны действия сети сотовой связи.

*Литература:*

1. Система топографического ориентирования «Трона-1» [http://www.be-and-co.com/oaf\\_pdf/oaf040730.pdf](http://www.be-and-co.com/oaf_pdf/oaf040730.pdf).
2. Навигационная аппаратура «Азимут» для подвижных наземных объектов [http://www.sozvezdie.su/catalog/navigatsionnaya\\_apparatura\\_azimut/](http://www.sozvezdie.su/catalog/navigatsionnaya_apparatura_azimut/).
3. Навигационные комплексы для наземных мобильных систем [http://www.internavigation.ru/documents/magazine/NN\\_01\\_2009.pdf](http://www.internavigation.ru/documents/magazine/NN_01_2009.pdf).
4. Оперативный тактический навигационный комплекс «АВТОНАВ» [http://www.teknol.ru/pdf/rus/AvtoNav\\_A\\_SO.pdf](http://www.teknol.ru/pdf/rus/AvtoNav_A_SO.pdf).
5. Малогабаритная комплексная навигационная аппаратура для подвижных наземных объектов (транспортных средств) <http://leters.ru/other/навигационная-аппаратура/>.

## Разработка коммутационного элемента параллельных пространственных коммутаторов

Кутузов Денис Валерьевич, кандидат технических наук, доцент;  
Утешева Анастасия Юрьевна, ассистент;  
Моторина Екатерина Алексеевна, студент  
Астраханский государственный университет

При реализации различных режимов коммутации значительную роль играют механизмы настройки коммутационных схем. Настройка коммутационной системы — это процесс установления составляющих ее коммутационных элементов в определенные состояния, для того чтобы реализовать необходимые соединения. Чтобы установить необходимые соединения источников и приемников информации в системе пространственной коммутации или передать пакет в системе пакетной коммутации, необходимо изменить состояния некоторых или всех элементов схемы.

Параллельные пространственные системы коммутации обычно реализуются как системы с самонастройкой. В подобных системах ячейки коммутации должны иметь собственное локальное управляющее устройство [1].

Наиболее простой коммутационной ячейкой является схема [2], представленная на рис. 1. Она состоит из элемента сложения по модулю два, RS-триггера и ключевого элемента И.

Данная коммутационная ячейка является элементом коммутации в параллельном коммутаторе, реализующем разовый режим коммутации (рис. 2). Он имеет следующий алгоритм работы.

Режим настройки каналов связи начинается подачей на вход начальной установки сигнала, который поступает на прямые входы триггеров всех коммутационных элементов SE и готовит их к работе.

Непосредственная настройка начинается подачей настроечных кодов на информационные входы и выходы коммутатора и сигнала, разрешающего настройку на вход разрешения настройки. Настроечные коды поразрядно

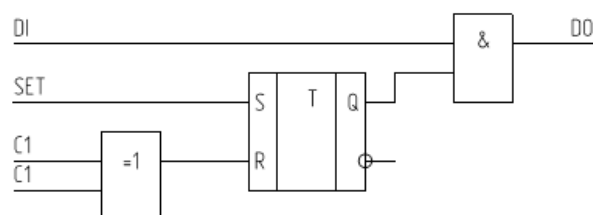


Рис. 1. Коммутационный элемент

поступают на входы сравнения коммутационных элементов. Элемент сложения по модулю два в каждом коммутационном элементе выделяет различие в соответствующих разрядах настроечных кодов. Если такое различие обнаружено, то сигнал с выхода элемента сравнения по модулю два сбрасывает триггер и тем самым фиксирует отсутствие канала связи через данный коммутирующий узел. Если в результате анализа настроечных кодов на выходе элемента сравнения по модулю два ни разу не выработался сигнал неравенства разрядов, то триггер остается в прямом состоянии и тем самым фиксирует наличие канала связи в данном коммутационном элементе.

После окончания настройки сигнал с входа разрешения настройки снимается. Для передачи информации через матричный коммутатор на управляющий вход разрешения передачи информации подается сигнал, разрешающий передачу информации.

Описанная выше схемотехническая реализация ячейки коммутации применима только для режима разовой ком-



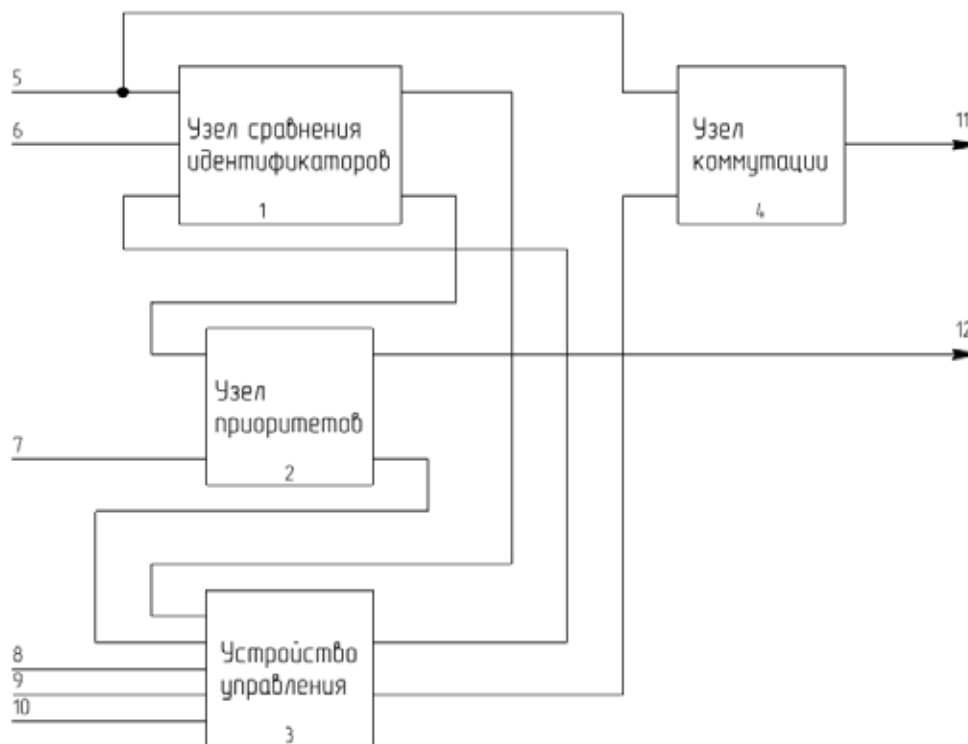


Рис. 3. Функциональная схема элемента коммутации параллельных пространственных коммутационных систем

действуя, как единая подсистема параллельной пространственной коммутационной системы.

Коммутационный элемент [5] является в данной системе наиболее сложным звеном. Однако он может быть представлен цифровым автоматом, состоящим из операционной и управляющей частей. В состав операционной части (рис. 3) входят такие узлы как узел сравнения идентификаторов, узел приоритетов и узел коммутации. Узел сравнения идентификаторов служит для сравнения идентификатора, содержащегося в заголовке пакета и идентификаторов, поступающего из блока генерации имен. Узел приоритетов служит для разрешения конфликта, возникающего при попытке установить соединение от двух или более входов к одному выходу. Узел коммутации служит для установления и удержания соединения, в случае если идентификаторы совпали, и узел приоритетов не заблокировал соединение.

Коммутационный элемент имеет следующий алгоритм функционирования. Изначально коммутационный элемент находится в состоянии ожидания сигнала «начало идентификации»

Если сигнал «начало идентификации» подан, то проверяется, нет ли блокировок столбца (наличия сигнала «блокировка столбца», строки, а также собственной блокировки.

В случае отсутствия этих сигналов выдается сигнал разрешения сравнения идентификаторов в блоке сравнения. Проверка блокировок производится с целью исключения попытки установить соединение в заблокированном столбце. Если же один из сигналов присутствует, то коммутационный элемент переходит в состояние ожидания, то есть в начальное состояние.

Проверяется внешний сигнал «конец передачи идентификаторов». Если сигнал установлен, и устройство сравнения идентификаторов определило совпадение идентификаторов, то выдается сигнал на проверку возможных конфликтов. Иначе коммутационный элемент переходит в состояние ожидания.

Проверяется и разрешается конфликт: определяется приоритет коммутационного элемента, который устанавливает соединение. Устанавливаются сигналы блокировки строки, столбца и собственно соединения.

Ожидается сигнал конец пакета, который переводит элемент коммутации в исходное состояние, снимаются сигналы блокировок.

Параллельные пространственные коммутационные системы, базирующиеся на таких ячейках коммутации позволяют сократить время установления соединений и потери, обусловленные занятостью общего устройства управления.

#### Литература:

1. Дудко, А.Л. Неблокирующие коммутационные схемы / Дудко А.Л. — М.: ВЦ АН СССР, 1990. — 59 с. : ил.



2. Каляев, А.В., Жила В.В. Матричный коммутатор с параллельной настройкой: Описание изобретения к а.с. №1441471
3. Мальцева, Н.С. Коммутационная структура с параллельной идентификацией для многопроцессорных вычислительных систем [Текст]: дис. канд. техн. наук / Мальцева Наталия Сергеевна. — Астрахань, 2008.
4. Пат. №73568. Российская федерация. Ячейка коммутации для многокаскадных коммутирующих систем / Жила В.В., Мальцева Н.С., Барабанова Е.А.; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО Астраханский государственный технический университет. — №2007147277; заявл. 18.12.2007; опубл. 20.05.2008, бюл. №14
5. D.Kutuzov, A.Utesheva. Switching Element for Parallel Spatial Systems / International Siberian Conference on Control and Communications (SIBCON-2011), Proceedings. — Krasnoyarsk: The Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). Russia Siberia Section of the IEEE Siberian Federal University. The Tomsk IEEE Chapter & Student Branch. The IEEE GOLD Affinity Group SIBCON, september 15–16, 2011, pp. 60–62.

## Одиночный элемент антенной решетки станции дифференциальных поправок GPS в микрополосковом исполнении

Сиротенко Роман Юрьевич, магистрант

Научный руководитель: Семенихин А.И., кандидат технических наук, профессор

Технологический институт «Южного федерального университета» в г. Таганроге

К радиотехническим устройствам, работающим в СВЧ диапазоне, предъявляются весьма жесткие требования по снижению себестоимости, уменьшению габаритов и веса, повышению надежности. Использование миниатюризации элементов и узлов на СВЧ в современной радиоэлектронике остается актуальной задачей.

Если сравнить микрополосковые схемы и обычную аппаратуру, то первые более трудоемки в разработке. Связь между элементами схемы более трудно поддается учету за счет краевых полей и полей излучения, расчет многих элементов схемы производится приближенно из-за затруднения подстройки готовых схем. Поэтому окончательные размеры всех конструкций приходится отрабатывать путем перебора множества вариантов.

Микрополосковые антенны способны излучать энергию с линейной, круговой и эллиптической поляризацией. Допускаются удобные конструктивные решения для обеспечения работы в двух- или многочастотных режимах. Это легко позволяет объединить многие элементарные излучатели в ФАР и расположить их на поверхностях сложной формы.

Использование дифференциальной DGPS (Global Positioning System) позволяет значительно повысить точность глобальной системы местоопределения (рис. 1). Однако DGPS также имеет свои ограничения. Наземная станция рассчитывает дифференциальную коррекцию для собственного расположения и времени.

Антенна, предназначенная для системы определения координат DGPS, должна обладать определенными свойствами: равномерным излучением в верхней полуплоскости, а также иметь круговую поляризацию.

Для качественного покрытия зоны обслуживания станциями дифференциальных поправок GPS в городских условиях достаточно использовать антенны с узкой диа-

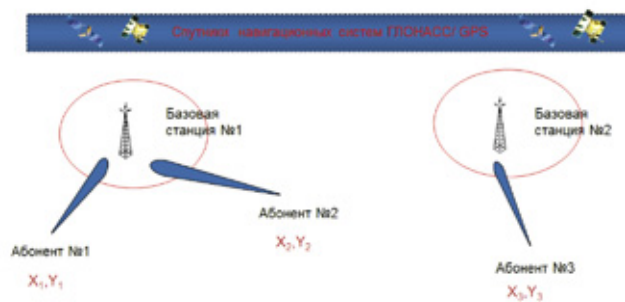


Рис. 1. Использование дифференциальной коррективы в глобальной системе местоопределения

граммой направленности (ДН) в вертикальной плоскости. Сужение ДН с ростом коэффициента усиления (КУ) может быть реализовано в вертикальной антенной решетке.

В отличие от традиционных резонансных МПИ широкополосные излучатели позволяют реализовать полосу рабочих частот от 30% до 100% и больше (и не только по входному сопротивлению) [1]. Проанализировав известную научно-техническую литературу, к сожалению, не удалось выявить подходящих конструкций МПИ с необходимыми характеристиками.

Микрополосковое антенное устройство часто представляет собой лист диэлектрика небольшой толщины с нанесенным с обеих сторон тонким медным покрытием. На одной стороне изготовлены излучающий элемент, цепи питания, управления и согласования. Другая металлическая сторона антенной платы служит экраном [2, 3].

В рамках этой работы предпочтение было отдано конструктивно более технологичным однослойным МПИ (на одной, возможно подвешенной диэлектрической под-

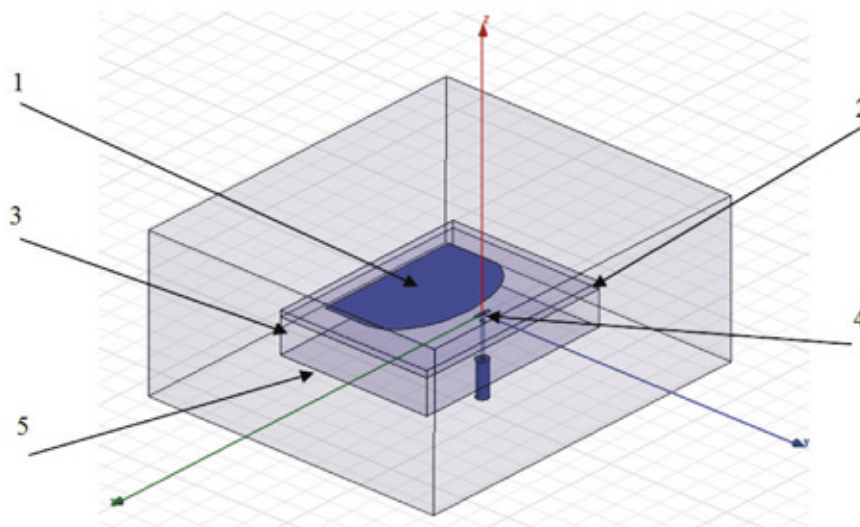


Рис. 2. Модель МПИ.

1 – излучатель, 2 – диэлектрический слой, 3 – проводящая подложка, 4 – питающий полосок с коаксиальной линией, 5 – отражающий экран

ложке). Несмотря на простоту таких МПИ, известны различные способы значительного расширения их рабочей полосы частот [1].

В докладе рассматривается одиночный микрополосковый элемент антенной решетки станции DGPS, функционирующего в полосе частот 1,8...2,4 ГГц (рис. 2).

Конструкция МПИ рассчитана методом конечных элементов (FEM – FiniteElementMethod), положенным в основу работы программного пакета Ansoft HFSS (HighFrequencyStructureSimulator) [4]. Пакет Ansoft HFSS общепризнан как достоверный высокопроизводительный инструмент проектирования самых различных трехмерных микрополосковых, волноводных и антенных структур на строгом электродинамическом уровне [5].

Моделирование МПИ в HFSS проводилось в частотной области с адаптивным итерационным методом решения граничной задачи [6]. Начальная сетка тетраэдральных конечных элементов генерировалась с помощью базовых примитивов HFSS. Затем она уплотнялась в области решения задачи до полной сходимости решения. Критерием сходимости задавалась максимальная величина  $\Delta S \leq 0,02$  изменения модулей S-параметров между двумя последовательными итерациями решения задачи.

Особенностью рассмотренной модели МПИ является коаксиальное питание. Между питающей коаксиальной линией и излучателем вводится слабая емкостная связь, что обеспечивает широкополосность (рис. 3). Достоинство МПИ – решетка таких излучателей может быть реализована на единой однослойной подложке.

Основными частями элемента антенной решетки являются излучатель и устройство возбуждения. Излучатель (1) имеет модифицированную форму (рис. 2). Он располагается на тонком диэлектрическом слое (2) с проводящей подложкой (3). Возбуждение осуществляется при

помощи прямоугольного полоска с коаксиальной линией (4). На обратной стороне проводящей подложки расположен отражающий экран (5).

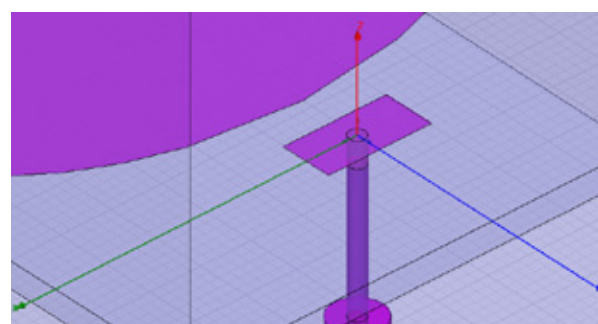


Рис. 3. МПИ, небольшой питающий прямоугольный полосок и центральная жила вертикального коаксиального входа

Параметризация этой модели проводилась также для обеспечения заданной полосы рабочих частот по уровню КСВН не более 2...2,5. Изменялись следующие параметры модели:

- длина  $L$  микрополоскового излучателя;
- ширина  $w$  микрополоскового излучателя;
- ширина  $S$  малого полоска;
- толщина  $g$  пенопластового слоя под диэлектрической подложкой;
- расстояние  $d$  между излучателем и малым питающим полоском;
- расстояние  $D_s$  от края микрополоска до края подложки.

Рассчитанные в результате параметризации изменения основных характеристик излучателя (КСВН,  $|S_{11}|$ , КНД) и поведение токов в модели приведены на рисунках 4–7.

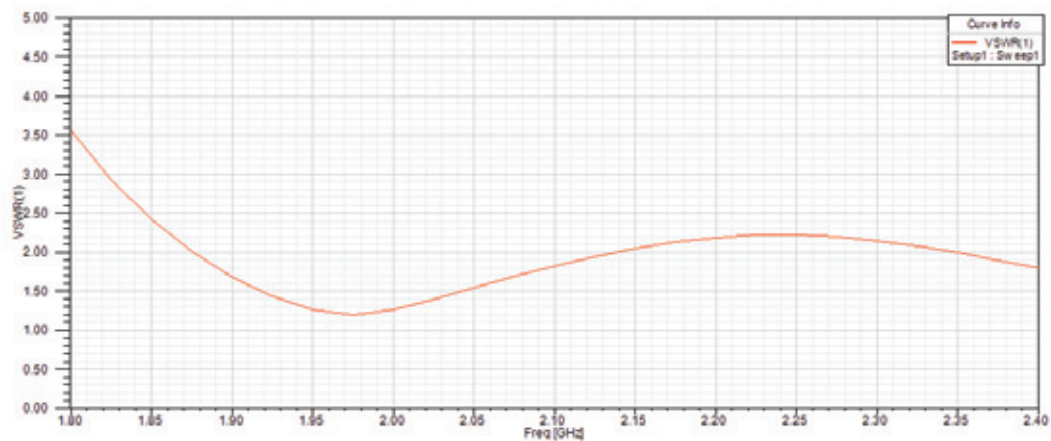
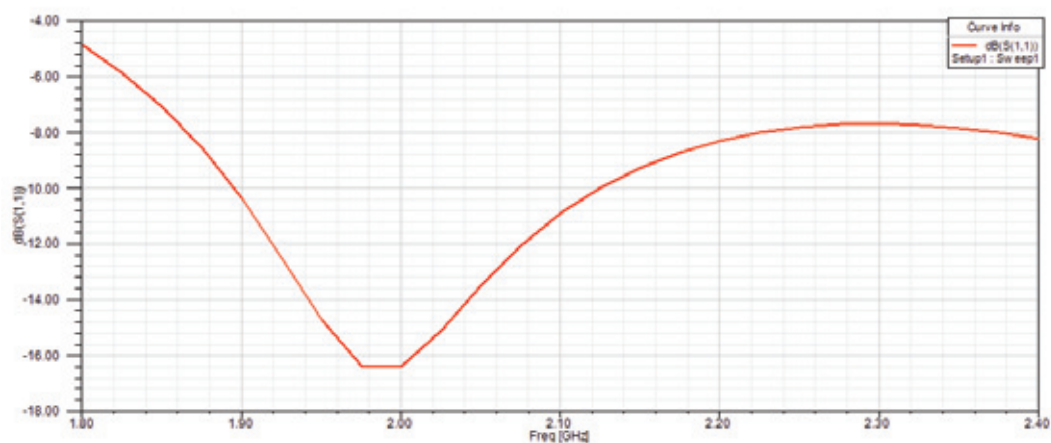
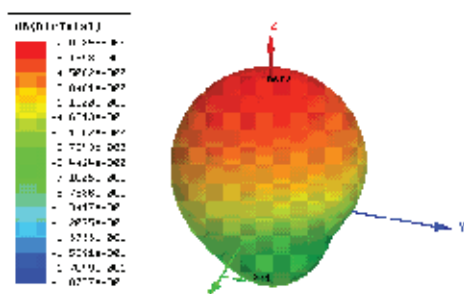
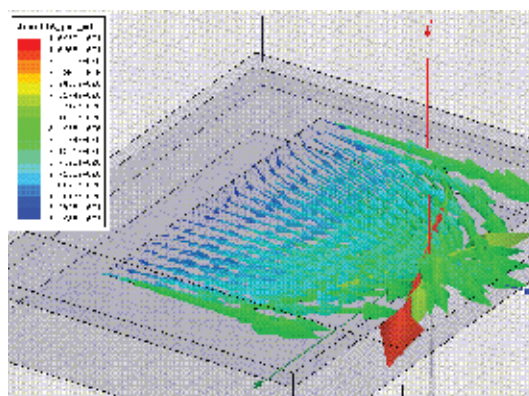


Рис. 4. КСВНМПИ

Рис. 5. Частотная характеристика  $|S_{11}|$ МПИРис. 6. Трехмерная диаграмма КНДМПИ  
на частоте 2,4 ГГц. КНД<sub>max</sub>=7,8дВРис. 7. Линии поверхностного тока  
на излучателе (на частоте 2,4 ГГц)

Показано, что одиночный МПИ хорошо согласован — КСВН не более 2,0...2,5 в полосе частот 1,8...2,4 ГГц (рис. 4).

Важным параметром антенны является ширина полосы. Эффективность и направленность в диапазоне частот комбинируется с полосой по усилению.

По рисунку 6 видно, что в верхней полуплоскости излучение равномерно. Это удовлетворяет свойствам антенн стандарта GPS.

Таким образом, разработана конструкция микрополоскового излучателя антенной решетки станции дифференциальных поправок GPS в микрополосковом исполнении на диэлектрической подложке ( $\epsilon_r=3,66$ ), позволяющая обеспечить хорошее согласование (КСВН не более 2,0...2,5) в полосе частот 1,8...2,4 ГГц. Размеры одиночного элемента компактны и составляют 87мм×67мм×17мм.

#### Литература:

1. Панченко Б.А., Нефёдов Е.И. Микрополосковые антенны, Москва «Радио и связь», 1986, 144 с.
2. Учебное пособие. Проектирование полосковых устройств СВЧ, Ульяновск, 2001, 129 с.
3. Kumar G., Ray K.P., Broadband Microstrip Antennas, Artech House, Norwood, Mass, USA, 2003.
4. www.ansoft.com.
5. Банков С.Е., Курушин А.А. Расчет антенн и СВЧ структур с помощью HFSS Ansoft-M, ЗАО «НПП «РОДНИК», 2009, 256 с.
6. Банков С.Е., Курушин А.А. Электродинамика и техника СВЧ для пользователей САПР, Москва, 2008, 276 с.

## Расчет резонансного усилителя с быстрым установлением выходного напряжения

Федоров Константин Александрович, кандидат технических наук, доцент  
Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления;

Федорова Надежда Константиновна, старший специалист  
Управление Пенсионного фонда в г. Улан-Удэ, филиал ОПФР по Респ. Бурятия

**Р**езонансный усилитель с быстрым установлением выходного напряжения относится к области радиолокации, системам многоканальной связи. Он предназначен для усиления и выделения полезной информации, которая передается с помощью последовательностей прямо-угольных радиоимпульсов или фазоманипулированных колебаний.

Известен резонансный усилитель, содержащий биполярный транзистор типа п-р-п, собранный по схеме с общим эмиттером, нагрузкой электронного прибора служит фильтр, представляющий параллельный колебательный L-С контур, настроенный на частоту несущей гармоники [1].

К недостаткам этого устройства относятся:

1. При воздействии прямоугольных радиоимпульсов огибающая на выходе запаздывает относительно огибающей входного сигнала.
2. При фазоманипулированном колебании скачок фазы входного сигнала приводит к изменению амплитуды выходного сигнала, т.е. возникновению паразитной амплитудной модуляции.

Таким образом, целью предлагаемой работы является повышение быстродействия колебательного контура и тем самым приближение выходного сигнала к масштабной копии входного сигнала.

Отличительными признаками предлагаемого резонансного усилителя являются: выполнение колебательного контура из индуктивной катушки, соединенной последовательно с параллельно включенным конденсатором, резонансной цепочкой, выполненной из последовательно соединенных индуктивной катушки и конденсатора, резистивной нагрузки. Реактивные элементы образуют колебательный контур, настроенный на частоту несущей гармоники, которая выделяется на резистивной нагрузке. Резонансная цепочка, настроенная на частоту кратную двум несущей частоте шунтирует на этой частоте резистивную нагрузку. Параметры элементов колебательного контура обеспечивают установление выходного сигнала за половину периода несущей частоты, тем самым обеспечивается приближение выходного сигнала к масштабной копии входного сигнала.

На рис. 1 представлена электрическая схема резонансного усилителя, а на рис. 2 — временные диаграммы фазоманипулированного входного и выходного сигналов:

$u_{\text{вх}}(t)$  — напряжение на входе колебательного контура с нормированной частотой  $\omega_0$ ,

$u_{\text{вых}}(t)$  — напряжение на выходе резонансного усилителя, время установления выходного сигнала не превышает половины периода несущей частоты входного сигнала.



Резонансный усилитель с быстрым установлением выходного напряжения содержит транзистор, колебательный контур, источник постоянного напряжения  $U_{ко}$ , источник напряжения смещения  $U_{бо}$  и источник усиливаемого сигнала  $u_{сигн}(t)$ .

Резонансный усилитель работает следующим образом. Появившийся на входе усилителя сигнал в виде радиоимпульса  $u_{сигн}(t)$  проходит через транзистор, где он усиливается до напряжения  $u_{вх}(t)$  и подается на вход колебательного контура.

Работу колебательного контура поясним на основе следующих выкладок.

Для получения схемного решения, позволяющего плавно на интервале времени  $\frac{1}{2} T_0$  выделить несущую гармонику, применим синтез реактивных электрических цепей во временной области [2]

Рассмотрим интегратор, осуществляющий преобразование входного сигнала  $u_{вх}(t)$  в выходной сигнал  $u_{вых}(t)$  по следующему закону

$$u_{сбх}(t) = \frac{1}{T_0} \int_{t-T_0}^t u_{сх}(t) dt, u_{сбх}(t) = \frac{1}{T_0} \int_{t-T_0}^t u_{сх}(t) dt. \quad (1)$$

Определенный интеграл, входящий в уравнение, равен очевидно, разности двух значений первообразной сигнала  $u_{сх}(t)$  одно из которых вычисляется при аргументе  $t$ , а другое — при аргументе  $t-T_0$ . Используя соотношения для спектральной плотности сигнала, смещенного во времени  $u(t-T_0) \leftrightarrow U(\omega)e^{-j\omega T_0}$  и учитывая, что спектр первообразной

$$U(\omega) = \frac{F(\omega)}{j\omega} \quad (2)$$

получаем формулу связи между спектральными плотностями сигналов на входе и выходе

$$S_{сбх}(\omega) = \frac{S_{сх}(\omega)}{j\omega T_0}. \quad (3)$$

Функция передачи по напряжению рассматриваемого интегрирующего устройства

$$H(j\omega) = \frac{S_{сбх}(\omega)}{S_{сх}(\omega)} = \frac{1}{j\omega T_0} (1 - e^{-j\omega T_0}) \quad (4)$$

Чтобы получить интегрирующее устройство с функцией передачи (4) воспользуемся хорошо разработанным методом синтеза линейных электрических цепей во временной области.

При нормированной амплитуде входного сигнала  $U_{вхн}=1$  и приняв  $T_0=\pi$ ,  $j\omega=s$  получим

$$H(s) = \frac{2}{\pi s} * \frac{\frac{s\pi}{2} - e^{-\frac{s\pi}{2}}}{\frac{s\pi}{2}} = \frac{2}{\pi s} * \frac{2sh \frac{s\pi}{2}}{\frac{s\pi}{2}} = \frac{2sh \frac{s\pi}{2}}{\pi s (\frac{\frac{s\pi}{2} + e^{-\frac{s\pi}{2}}}{2} + \frac{\frac{s\pi}{2} - e^{-\frac{s\pi}{2}}}{2})} = \frac{2sh \frac{s\pi}{2}}{\pi s (ch \frac{s\pi}{2} + sh \frac{s\pi}{2})}. \quad (5)$$

При  $s=j\omega$

$$H(j\omega) = \frac{2}{\pi s} * \frac{\sin(\frac{\omega\pi}{2})}{\cos(\frac{\omega\pi}{2}) + j \sin(\frac{\omega\pi}{2})} \quad (6)$$

Нулями функции передачи (6) являются нули синуса, лежащие на оси  $\omega$

$$(\omega\pi/2) = \pm j\pi, \omega_k = \pm 2k (k=0, 1, 2, \dots).$$

Напишем числитель аппроксимирующей дроби

$$M(s) = A_1 \prod_{k=1}^n [s^2 + 4k^2] \quad (7)$$

Нулями вещественной и мнимой частей знаменателя являются нули косинуса и синуса

$$\omega_k = (2k+1), \omega_k = \pm 2k (k=0, 1, 2, \dots).$$

Запишем четную и нечетную части знаменателя дроби (6)

$$N_2(s) = \prod_{k=1}^n [s^2 + (2k+1)^2]$$

$$A_2 s N_1(s) = A_2 \prod_{k=1}^n [s^2 + 4k^2] \quad (8)$$



Учтя конечное число гиперболических функций получаем функцию передачи интегрирующего устройства  $n$ -го порядка

$$G(s) = \frac{A_1 \prod_{k=0}^n [s^2 + 4k^2]}{\prod_{k=0}^n [s^2 + (2k+1)^2] + A_2 s \prod_{k=1}^n (s^2 + 4k^2)}. \quad (9)$$

Коэффициенты  $A_1$  и  $A_2$  найдем из условия приравнивания  $H(s)$  и  $G(s)$  при  $s=0$ ,  $s=j$ :

$$S = 0, H(0) \rightarrow 1, G(0) = \frac{A_1 \prod_{k=1}^n 4k^2}{\prod_{k=0}^n (2k+1)}.$$

Отсюда

$$A_1 = \frac{\prod_{k=0}^n (2k+1)^2}{\prod_{k=1}^n 4k^2} \quad (10)$$

$$S = j; H(j) = \frac{2}{j\pi}; G(j) = \frac{A_1}{jA_2}; A_2 = \frac{\pi A_1}{2}. \quad (11)$$

При  $n=1$ , получим цепь четвертого порядка

$$G(s) = \frac{2,25(s^2 + 4)}{(s^2 + 1)(s^2 + 9) + 1,125\pi s(s^2 + 4)}. \quad (12)$$

Функцию передачи реализуем в виде реактивного четырехполюсника по двум элементам матрицы проводимостей  $Y_{21}$  и  $Y_{22}$ . Из условия обеспечения нечетности параметра  $Y_{21}$ , получаем

$$-Y_{21} = \frac{2}{s\pi}; Y_{22} = \frac{(s^2 + 1)(s^2 + 9)}{1,125s\pi(s^2 + 4)}.$$

Проводимость передачи  $-Y_{21}$  имеет нуль при  $s = \infty$ . Проводимость  $Y_{22}$  имеет избыточные полюса  $s = \pm j2$ .

Реализацию начинаем с выделения из  $Y_{22}$  избыточного полюса, соответствующего проводимости

$$Y_1 = \frac{b_1 s}{s^2 + 4}, b_1 = \frac{(s^2 + 4)Y_{22}}{s} \Big|_{s^2 = -4} = 1,06.$$

Эта проводимость реализуется ветвью из последовательной резонансной цепочки с индуктивностью 5  $L_3=0,94$  и емкостью 6  $C_4=0,26$ , соединяемой параллельно резистору 7  $R_H=1$ .

Остающаяся проводимость

$$Y'_{22} = Y_{22} - Y_1 = \frac{(s^2 + 1)(s^2 + 9)}{1,125s\pi(s^2 + 4)} - \frac{1,061s}{s^2 + 4} = \frac{(s^2 + 4)(s^2 + 2,25)}{1,125s\pi(s^2 + 4)} = \frac{1}{1,125s\pi} + \frac{2}{s\pi},$$

реализуется индуктивностью 3  $L_1=1,57$  и емкостью 4  $C_5=0,28$ . Полученная схема показана на рис. 1.

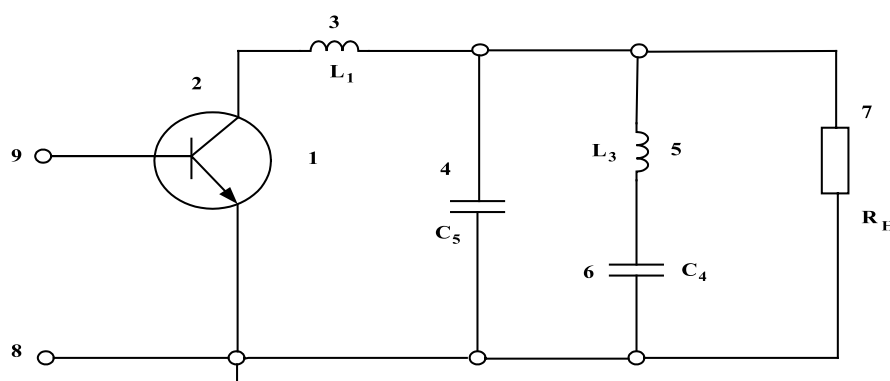


Рис. 1

Пересчет параметров на заданное выходное сопротивление  $R_H \neq 1$  и несущую частоту  $\omega_0$  (денормировка) производится по соотношениям:

$$\hat{L} = \frac{L \cdot R_H}{\omega_0} \quad \hat{C} = \frac{C}{\omega_0 \cdot R_H}$$

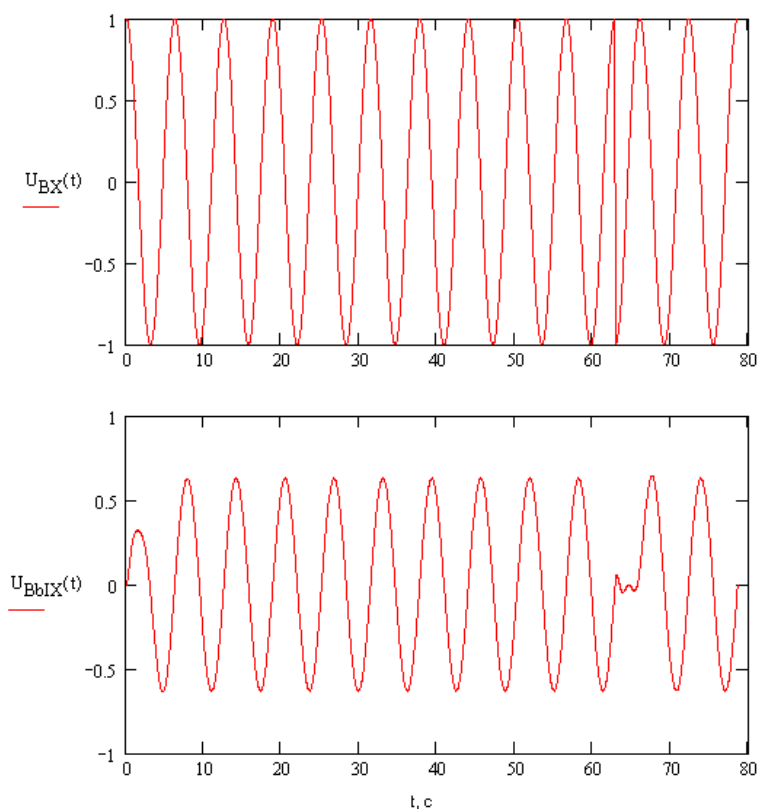


Рис. 2

Рассмотренная схема резистивного усилителя относится к области радиолокации и системам многоканальной связи. Известные резонансные усилители рассчитываются в частотной области и обладают одним существенным недостатком — не учитываются временные характеристики, так например огибающая сигнала на выходе резонансного усилителя, возбуждаемого фазоманипулированными сигналами ( $\varphi_0 = 180^\circ$ ), вначале плавно уменьшается до нуля, затем вновь возрастает до первоначального уровня за интервал нескольких постоянных времени контура. Рассматриваемая модель позволяет значительно сократить время установления выходного сигнала.

#### Литература:

1. Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы. — М : Высшая школа, 2005.
2. Матханов П.Н. Основы синтеза линейных электрических цепей. — М.: Высшая школа, 1980.

## Многоканальная связь как способ увеличения пропускной способности телекоммуникационных систем и сетей

Юсупов Фирнафас, кандидат технических наук, доцент;

Юсупов Файзулла Анварович, студент

Ургенчский филиал Ташкентского университета информационных технологий (Узбекистан)

Современные тенденции развития многоканальных телекоммуникационных систем (ТС) связаны с повышением их пропускной способности, приданием им свойств надежности и экономичности, что достигается дальнейшим усложнением протекающих процессов информационного обмена. Усложнение процессов информационного обмена связано с постоянным увеличением числа параллельно

функционирующих каналов, дополнительных подсистем (трактов) передачи сообщений, развитием новых информационных технологий поддержки передачи сообщений.

Увеличивающийся объем информации, генерируемый современным обществом, требует новых подходов по обработке и передаче сообщений в телекоммуникационных системах и сетях. Одним из способов увеличения про-

пускной способности телекоммуникационных систем и сетей является использование принципа многоканальной связи. Суть многоканальности заключается в передаче большого числа сообщений от различных источников информации по общей линии связи. Фундаментальной основой технологий многоканальной связи являются основополагающие парадигмы ортогональных преобразований функциональных пространств Фурье, Гильберта, Хаара, Уолша, Котельникова и др.

С целью достижения новых качественных показателей эффективности в действующих многоканальных системах необходимо обеспечить согласованную интеграцию всех процессов информационного обмена из-за постоянного изменения условий эксплуатации, вызванных локально-пространственным и временным изменением трафика, вида и характера шумовой обстановки в зоне обслуживания, случайными изменениями параметров каналов связи.

Многоканальность передачи сообщений обеспечивается при помощи использования методов сигнального уплотнения: частотного, временного, кодового и др. Однако вышеперечисленные традиционные методы сигнального уплотнения в некотором смысле уже исчерпывают свои возможности по увеличению пропускной способности телекоммуникационных сетей, например, из-за ограниченности физических характеристик средств передачи сообщений, параметров среды распространения сигналов, достаточной дороговизны линейного оборудования и т.д. При этом также возникает необходимость увеличения пропускной способности уже действующих, эксплуатирующихся телекоммуникационных систем, к которым, в частности, можно отнести системы теле- и радиовещания. Следовательно, можно говорить об актуальности задачи увеличения пропускной способности многоканальной телекоммуникационной системы с минимальными затратами материальных средств и времени, и сохранением функциональности ее отдельных элементов и узлов. Эту задачу можно решить при помощи применения альтернативных методов канального уплотнения, к которым можно отнести уплотнение гомогенных сигналов на основе вторичного использования широкополосных каналов (которое также будем называть вторичным уплотнением).

Основная особенность уплотнения гомогенных сигналов (вторичного уплотнения) заключается в том, что уплотняемые сигналы многоканальной телекоммуникационной системы имеют взаимно пересекающиеся спектрально-временные характеристики. При этом уплотняемые сигналы сопоставимы по ширине спектров (базе), коррелированы и являются стационарными (такие сиг-

налы в дальнейшем будем называть гомогенными). Следует отметить, что возможность уплотнения гомогенных сигналов обуславливается тем, что многие широкополосные сигналы (особенно аудио-, видеосигналы) близки по своей природе, характеризуются значительной информационной избыточностью и допускают некоторую степень потери информации, при которой эта потеря практически не ощущается человеком. Другими словами, в уплотняемых сигналах можно выделить некоторое общее информационное «ядро», при этом логично думать, что нет необходимости в образовании новых каналов связи для передачи практически одной и той же информации.

Однако решение задачи уплотнения гомогенных сигналов связано со многими сложностями. Среди них можно выделить сложности, связанные с взаимным искажением уплотняемых сигналов из-за наложения друг на друга (пересечения) их спектрально-временных характеристик, трудности обеспечения линейной независимости и ортогональности уплотняемых сигналов с целью их выделения на приемной стороне, отсутствием эффективных методов и алгоритмов синтеза частотных и временных характеристик уплотняемых сигналов. Следует также отметить, что известные методы вторичного уплотнения не в полной мере учитывают особенности восприятия человеком поступающей информации, что уменьшает эффективность этих методов и делает актуальной задачу разработки методов и алгоритмов вторичного уплотнения гомогенных сигналов с перекрывающимися спектрально-временными характеристиками, которые позволяют увеличить пропускную способность и информационную емкость широкополосных каналов передачи.

Необходимо разработать методы и алгоритмы вторичного уплотнения гомогенных сигналов с перекрывающимися спектрально-временными характеристиками, которые позволяют увеличить пропускную способность и информационную емкость широкополосных каналов передачи в существующих и вновь разрабатываемых многоканальных телекоммуникационных системах.

При этом будут использованы положения теории электрической связи, теории автоматического управления, теории функций комплексных переменных, теории кодирования, также будут применены методы математического моделирования, в том числе компьютерного.

В будущем путем имитационного моделирования будет показана возможность использования предложенных методов и алгоритмов вторичного уплотнения сигналов для повышения пропускной способности систем передачи изображений широкого класса.

#### Литература:

1. ITU-R recommendation BT.653—3: Teletext Systems. 1998. 21 p.
2. Лев А.Ю. Теоретические основы многоканальной связи. Учебник для электротехн. ин-тов связи. М., «Связь», 1978. 192 с.
3. Красильников Н.Н. Теория передачи и восприятия изображений. М. «Радио и связь», 1986. 248 с.
4. Янушевский Р.Т. Теория линейных оптимальных многосвязных систем управления. — М.: Наука, 1973. — 464 с.

### 3. АВТОМАТИКА И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

#### Релейные блоки для систем железнодорожной автоматики и телемеханики

Касалапова Татьяна Александровна, студент;

Селиверов Денис Иванович, заместитель директора по учебно-производственной работе, преподаватель

Саратовский техникум железнодорожного транспорта – филиал Самарского государственного университета путей сообщения

Наиболее распространенными приборами в системах железнодорожной автоматики и телемеханики по настоящее время являются электромеханические реле, при помощи которых осуществляются процессы автоматического управления огнями светофоров и стрелочными электроприводами, контроля участков пути и положения стрелок, регулирования движением поездов, выполняются зависимости стрелок и сигналов, необходимые для обеспечения безопасности движения поездов. На железных дорогах нашей страны находятся в эксплуатации десятки миллионов реле, на основе которых и выстраиваются сложные логические схемы автоматики управляющей движением поездов. [4, с. 320]



В системах железнодорожной автоматики и телемеханики эксплуатируются 4 поколения электромеханических реле типов НР, НШ, НМШ, РЭЛ. Все необходимые для монтажа электрических схем реле устанавливаются на специальных стативах в релейных помещениях на станции или релейных шкафах расположенных непосредственно на перегонах. Каждое реле имеет свою индивидуальную штепсельную плату. А далее уже специалисты с обратной стороны статива с применением гибких проводов собирают и паяют схемы автоматики, которая будет управлять движением поездов. В начале 60-х годов прошлого столетия у специалистов в области железнодорожной автоматики и телемеханики появилось интересное предложение типовые схемы управления стрелками,

огнями разных светофоров и рельсовых цепей, монтируемые на стативах свободным монтажом, сконцентрировать в отдельных релейных блоках под общим колпаком с уже смонтированной внутри на заводе схемой.

Так начиная с 1966 года, наборная и исполнительная группы реле строящихся систем автоматики уже стали иметь блочный вид. Это позволило значительно сократить объём монтажных работ на месте при строительстве систем автоматики, и ускорить введение в действие устройств, а в дальнейшем также существенно улучшились условия их обслуживания, улучшить ремонтпригодность при эксплуатации действующих установок. [3]

Самой распространённой системой релейной централизации сейчас является блочно-маршрутная БМРЦ. Проектирование БМРЦ сведено к набору и соединению типовых схемных блоков, размещенных по путевому развитию заданной станции. Релейные блоки имеют штепсельное включение в действующую схему, что позволяет при неисправности в блоке произвести замену блока, не нарушая работу всей системы электрической централизации.



Однако в блоках БМРЦ имеются недостатки. В системе БМРЦ на каждые три статива блочного монтажа приходится один статив свободного монтажа, что усложняет эксплуатационное обслуживание такой системы. Слабым местом являются приборы и технология их установки. Достаточно частыми бывают случаи потери контактов в штепсельных разъемах блоков. При их установке на статив гнутся контакты штепсельных розеток и нарушаются контакты в электрических цепях. [2]

Система БМРЦ крупной станции содержит большое число реле, контактов, предохранителей, контрольных ламп, паяк и других элементов, которые могут являться источниками неисправностей. Наибольшее число отказов связано с перегоранием предохранителей, потерей контактов в штепсельном разъеме блока, обрывом цепи на контакте реле и плохой регулировке реле. Однако задача поиска отказов упрощается в связи с тем, что в электрических схемах БМРЦ каждый элемент участвует в задании, размыкании или разделке небольшого числа маршрутов. [1]



В дальнейшем произошло усовершенствование релейных блоков БМРЦ. Блоки ЭЦ-МН модернизированные отличаются от блоков релейных БМРЦ тем, что с освоением производства новых реле четвертого поколения типа РЭЛ позволило провести модернизацию выпускаемых с 1959 года ранее описанных блоков релейных исполнительной группы, в которых применены реле третьего поколения типа НМШ. В системе ЭЦ-МН блоках исключены ненадежные элементы — конденсаторы. Наличие электрических конденсаторов внутри БМРЦ блоков требовало периодической их замены, после чего необходима была полная проверка блоков. Отказались производители и от общего колпака. [6, с. 371]

Коммутационный ресурс реле РЭЛ в 1,5 раза больше, чем у реле НМШ. Реле РЭЛ имеют меньшую материалоемкость. Замена реле НМШ на РЭЛ позволила уменьшить стоимость блоков, повысить их надежность, увеличить межремонтный срок службы. Всё это позволило разработать более совершенные, модернизированные релейные блоки исполнительной группы электрической централизации, производство которых осуществляется с 1997 года.

В начале 90-х годов появилась принципиально новая система автоматики управляющая движением поездов на станции — электрическая централизация с индустриальной системой монтажа ЭЦ-И. Особенностью систем типа ЭЦ-И является не только высокая степень унификации схем установки и размыкания маршрутов, кодирования, увязок с перегонными системами, переездами, устройствами ограждения составов и местного управления, но и технология соединения также изменившихся

по внешнему виду блоков. В новой системе на стативах с блоками отсутствует монтаж, а соединение блоков выполняется с применением уже изготовленных на заводе соединительных шлангов. Штепсельные разъемы у блоков ЭЦ-И расположены также с задней стороны.

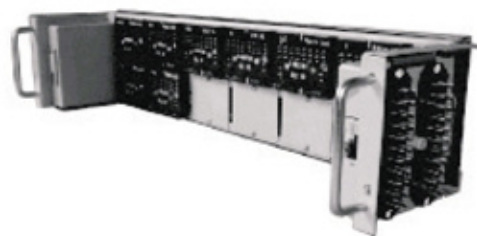


Блок устанавливается на блочную стойку, находящуюся в капитальном помещении поста электрической централизации. В одном блоке ЭЦ-И максимально можно установить 12 реле: 6 реле в верхнем ряду и 6 реле в нижнем ряду.

Однако и у блоков такой системы в процессе эксплуатации выявился ряд недостатков. Так для ремонта блока ЭЦ-И нужно вскрывать заднюю крышку для замены реле. Имеется трудоемкая операция отсоединения реле от основного жгута блока.

Но в настоящее время ведутся работы по модернизации блоков ЭЦ-И. Модернизация блоков заключается в установке на шасси блоков розеток. Принцип установки реле в блоках будет аналогичен установке реле на стативах. В результате этого блоки будут более ремонтнопригодными в условиях эксплуатации. [5, с. 328]

В системах электрической централизации на новой элементной базе вместо отдельных функциональных блоков со штепсельным включением применяются панельные блоки, подключение которых осуществляется через штепсельные разъемы, установленные на боку блока. Конструкции специальных стативов обеспечивают установку панельных блоков с обеих сторон статива, что уменьшает размер статива и экономит площади релейного помещения. В таком блоке получившем название панельный обеспечивается размещение 12 реле типа РЭЛ или Н.



Масса самого блока значительно меньше в отличие блоков ЭЦ-И, так как в блоке отсутствуют встроенные реле не входящие в комплект поставки с завода изготовителя. Всего налажено производство 12 разных типов панельных блоков. [7]

Не смотря на стремительное развитие и внедрение современных микропроцессорных систем автоматики и телемеханики устройства электрической централизации, построенные с применением электромеханических реле,



будут ещё очень долго находиться в эксплуатации на сети железных дорог России, а значит, тема совершенство-

вания существующих релейных блоков ещё долго будет актуальна.

#### Литература:

1. Блок микропроцессорной релейной защиты БМРЦ. Руководство по эксплуатации. ДИВГ.648228.001 РЭ.
2. «Железнодорожные дороги» общий курс, М.М.Уздина, Москва, «Транспорт», 1991
3. Железнодорож. трансп. Энциклопедия — М.: Большая Российская энциклопедия, 1994
4. Казаков А.А., Бубнов В.Д., Казаков Е.А. Автоматизированные системы интервального регулирования движения поездов: Учебник для техникумов ж.д. трансп. — М.: Транспорт, 1995.
5. Новиков М.А., Петров А.Ф., Степнов Н.М. Проектирование автоматической блокировки на железных дорогах — М., Транспорт, 1979.
6. Сороко В.И., Разенберг Е.Н. Аппаратура железнодорожной автоматики и телемеханики: Справочник. 2-ой том. 3-е издание НПФ «Планета» 2000 г.
7. Панельные блоки. ketz.ru

## Обзор методов формирования баз знаний

Логунова Елена Александровна, аспирант

Национальный исследовательский университет «МЭИ» (г. Смоленск)

Во многих предметных областях используются системы, основанные на знаниях. Они нашли широкое применение для решения большого количества неформализованных или плохо формализованных задач, таких как обучение, диагностика, управление, прогнозирование и др. [3]

Системы баз знаний давно признаны одним из самых эффективных инструментов в проектировании информационных систем. Качество функционирования системы существенно зависит от содержимого его базы знаний. Существуют две основные группы методов получения знаний: прямые (интервью, изучение литературы и др.) и косвенные (анализ обучающего множества примеров, наблюдения за экспертом и др.). Практика показывает, что при принятии решений большую предпочтительность имеют методы второй группы. При этом большая часть систем, встречающихся на практике, используют продукционную модель для решения практических задач [4].

Методы реализации продукционных правил прошли эволюционный процесс с середины XX века.

**Продукционные системы** были впервые использованы американским логиком Эмилем Постом. Основная идея Поста заключалась в том, что, на основе логической и математической систем, можно представить набор правил, устанавливающий порядок преобразования строки символов в другой последовательный набор символов. Это означает, что продукционное правило, после получения входной строки (антецедента), способно произвести новую строку (консеквент).

В самом простом виде правила продукций близки по смыслу импликации «Если — то», поэтому для правил

продукций можно принять обозначение или, раскрыв условие применимости, эта запись примет вид:

$$P^1 \times P^2 \times P^3 \dots P^n \rightarrow B,$$

где  $P_{i(i=1,2,n)}$  — условия применимости, образующие конъюнкцию;

$B$  — заключение или действие, которое имеет место при истинности конъюнкции.

Например:

*Если внутреннее тестирование прошло и имеет место многократная перезагрузка операционной системы, то залипание клавиш или сбой ОЗУ.*

Следует отметить, что манипуляции со строками основанные на синтаксисе, а не на семантике. Иными словами продукционная система Поста применяется лишь как способ преобразования одной строки в другую, без понимания значения слов.

Основным ограничением продукционных правил Поста, с точки зрения программирования, является отсутствие стратегии управления, которая позволяла бы регламентировать применение правил. Понять это ограничение можно легко, представив гипотетическую ситуацию с визитом в библиотеку. Если для поиска нужной книги не использовать никакой системы управления процессом, можно потратить уйму времени просматривая все возможные варианты.

Следующим значительным шагом в разработке методов применения продукционных правил стало открытие, сделанное Марковым, которое позволило определить структуру управления для производственных систем.

**Марковский алгоритм** — это упорядоченная группа продукций, применяемых согласно приоритетов к входной

символьной строке. Если правило с высшим приоритетом является непригодным, то используется следующее правило с низким приоритетом и т.д. Марковский алгоритм завершает свою работу после выявления одного из следующих условий: во-первых, последняя продукция не была применима к строке или, во-вторых, была применена продукция, которая заканчивается точкой.

Например, следующее правило меняет местами символы А и В строке, если между ними находится любой единственный символ:

$$AxB \rightarrow BxA$$

Марковский алгоритм может, но он не является достаточно эффективным способом создания систем с большим количеством правил. Такие системы требуют алгоритма, который имеет полную информацию обо всех правилах, и может применить любое из них, не делая попытки последовательно проверять каждое.

Решением этой проблемы является **rete-алгоритм**, разработанный Чарльзом Л. Форго в 1979 году. Rete-алгоритм функционирует как сеть, предназначенная для хранения большого объема знаний. Он основан на использовании динамической структуры данных, которая автоматически реорганизуется с целью оптимизации поиска аналогично В-дереву, который применяется при индексации структур реляционных баз данных.

Rete-алгоритм является высокоскоростным средством сравнения фактов с шаблонами, быстрое действие которого достигается благодаря хранению в оперативной памяти информации о правилах, которые находятся в сети. В rete-алгоритме воплощены два эмпирических наблюдения, на основании которых была предложена структура данных, положенных в основу:

Временная избыточность — действие, оказываемое в результате запуска одного из правил, обычно связана с несколькими фактами.

Структурное сходство — один и тот же шаблон часто находится в левой части более чем одного правила.

В rete-алгоритме в циклах «распознавание-действие» контролируются только изменения в согласованиях, поэтому в каждом цикле нет необходимости согласовывать факты с каждым правилом. Благодаря этому существенно повышается скорость согласования фактов между антецедентами, поскольку статистические данные, которые не изменяются от цикла к циклу, могут быть проигнорированы.

Необходимым условием практической реализации концепции продукционных правил является использование **формальной системы определения продукций** — система обозначений, которая выполняет роль метаязыка для определения синтаксиса других языков. Языки подразделяются на несколько типов: естественные языки, логические языки, языки математики, компьютерные языки и т.д. Синтаксис языка определяет его форму, а семантика — значение ее слов.

Одной из формальных систем обозначений, используемых для определения продукций, есть нормальная форма

Бэкуса-Наура (BNF). Для ее детального рассмотрения воспользуемся простым правилом грамматики английского языка, представленным в виде продукционного правила:

$$\langle sentence \rangle ::= \langle subject \rangle \langle verb \rangle \langle end-mark \rangle$$

Согласно системе обозначений формы Бэкуса-Наура предложения (sentence) состоит из подлежащего (subject) и сказуемого (verb), за которыми следует знак препинания, обозначающий конец предложения (end-mark). В этом правиле угловые скобки ( $\langle \rangle$ ) и символ « $::=$ » — являются символами метаязыка. Символ « $::=$ » означает «определен как». Он используется вместо символа « $=$ », который применялся в Марковских алгоритмах продукционных правил.

Интуитивно определенное выражение метаязыка, представляющее собой формальный идентификатор объекта, носит название **терма**. Термы, помещенные в угловые скобки, принято называть нетерминальным символами. Нетерминальный символ — это переменная, представляет другой терм. В свою очередь, в качестве такого «другого» терма может использоваться нетерминальный или терминальный символ.

Терминальный символ не может быть заменен другим символом и поэтому является константой. С его помощью реализуется последнее звено цепи образований. Например, следующие правила позволяют раскрывать значение нетерминальных символов, поскольку они терминальные символы, которыми они могут быть заменены:

$$\langle subject \rangle ::= \text{Гривна} \mid \text{Доллар} \mid \text{Евро}$$

$$\langle verb \rangle ::= \text{дорожает} \mid \text{дешевеет}$$

$$\langle end-mark \rangle ::= . \mid ! \mid ?$$

В данном метаязыке вертикальная черта означает «или».

Все возможные предложения языка, то есть продукции, могут быть созданы путем последовательной замены каждого нетерминального символа соответствующими ему нетерминальным или терминальными символами, взятыми из правой части правил, до тех пор, пока не будут устранены все нетерминальные символы. В качестве примера применения продукций данного языка можно привести такие предложения:

*Гривна дорожает. Доллар дешевет! Евро дешевет?*

Последовательность терминальных символов называется **строкой символов языка**. При условии, если строка символов может быть получена из начального символа путем замены нетерминальных символов с применением правил, которые определяет, то это не называется действительным предложением. В противном случае, строка не считается действительным предложением, например:

$$\text{Евр одешевшаедешевшае}$$

Полный набор продукционных правил, однозначно определяет язык, называется ее **грамматикой**. Рассмотрены в примере правила определяют некоторую грамматику, но она является очень ограниченной, поскольку обеспечивает создание небольшого количества воз-

можной продукции. Сложность грамматики увеличивается за счет различных дополнений, например:

`<sentence> ::= \<subject> <verb> <object> <end-mark>`

`<object> ::= на 1% | на 5% | на 10%`

Однако, несмотря на уровень достигнутой сложности грамматики, принцип системы определения продукции остается неизменным [4].

Основным недостатком производственных систем является резкое замедление проведения логического вывода при росте числа правил в базе знаний. При этом именно в системах, работающих в режиме реального времени, ключевую роль играет скорость обработки информации. Поэ-

тому разработка математических моделей представления знаний, ускоряющих работу производственных систем, является важной, актуальной и практически значимой задачей [2].

Традиционно база знаний создается предметным экспертом, но такой подход не всегда может гарантировать качество управления. Эта проблема может быть устранена на основе использования нейросетевых методов и технологий, нечеткой логики, технологий мягких вычислений, а также введением физических и информационных ограничений в формализованное описание модели объектов управления.

#### Литература:

1. Балашов О.В., Круглов В.В. Подход к извлечению производственных правил для систем поддержки принятия решений [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.smolensk.ru/user/sgma/MMORPH/N-12-html/borisov/balashov-2/balashov-2.htm>.
2. Иванов А.С. Математические модели и алгоритмы функционирования производственных баз знаний: автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук (05.13.18 — математическое моделирование, численные методы и комплексы программ) / А.С. Иванов; рук. работы Сперанский Д.В. — С., 2007. — 117 с.
3. Катасёв А.С. Нейронечеткая система обнаружения производственных зависимостей в базах данных / А.С. Катасёв // Программные продукты и системы. — 2011. — №3. — с. 12.
4. Методы реализации производственных правил [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://homehelper.in.ua/blog/expertsystems/110.html>.

## Методы улучшения условий труда линейных работников хозяйства автоматики и телемеханики

Бейбулатова Светлана Ивановна, студент; Селиверов Денис Иванович, преподаватель  
Саратовский техникум железнодорожного транспорта – филиал Самарского государственного университета путей сообщения

На Российских железных дорогах к безопасности движения поездов предъявляются исключительно высокие требования, поэтому поддержание систем автоматики и телемеханики (СЦБ) управляющих движение поездов на станциях и перегонах в надлежащем рабочем состоянии крайне важно. Существует несколько основных работ по техническому обслуживанию устройств СЦБ выполняемых электромеханиками и электромонтёрами. Это, прежде всего регулярный осмотр напольных устройств, периодическая регулировка электрических параметров и характеристик элементов устройств СЦБ и приведение их к требуемым нормам, чистка, покраска. Наиболее частыми видами работ по ремонту системы СЦБ являются: проверка исправности их действия и восстановление исправного действия устройств СЦБ при их отказах, замена приборов на отремонтированные и проверенные.

Главным методом технического обслуживания и ремонта систем СЦБ является планово-предупредительный, а само обслуживание устройств СЦБ должно осуществляться при обеспечении безопасности движения железно-

дорожных составов без нарушения графика их движения, что достигается путем использования технологических перерывов в движении поездов. [1]

Однако отказы устройств железнодорожной автоматики и телемеханики, к сожалению не редкость. Они происходят как вследствие ненадежности технических средств СЦБ, используемых на сети дорог, атмосферных явлений, случаев вандализма, по причине несанкционированных действий сторонних организаций, так и при ненадлежащем исполнении работ по техническому обслуживанию, основной причиной которого в настоящее время является недоукомплектованность штата дистанций сигнализации, централизации и блокировки. Для выполнения работ по техническому обслуживанию децентрализованной аппаратуры СЦБ находящейся на станциях и перегонах электромеханикам и электромонтёрам приходится преодолевать огромные расстояния, зачастую пешком по железнодорожным путям. При этом всё необходимые для выполнения работ приборы, инструменты и материалы им приходится нести самим. Поэтому крайне

необходимо уделять внимание улучшению условий труда эксплуатационников, которые напрямую влияют на качество выполняемых ими работ и как следствие на безопасность движения поездов.



Вот и встал вопрос создания специализированного автомобиля для оснащения дистанций сигнализации, централизации и блокировки с целью механизации и автоматизации технического обслуживания и ремонта устройств СЦБ бригадами эксплуатационников. Первыми такими разработками стали специализированный автомобиль старшего электромеханика СЦБ «СМШ» и мобильный комплекс для обслуживания и ремонта кабельной сети и напольного оборудования СЦБ «МКВР». Оба автомобиля представляют собой комплект оборудования, размещенный на базе автомобиля УАЗ, позволяющий в полевых условиях производить:

- оперативную доставку специалистов и необходимого оборудования к месту проведения работ;
- транспортировку оборудования СЦБ весом не более 300 кг с механизацией погрузо-разгрузочных работ;
- осмотр, регулировку, чистку, проверку исправности действия устройств СЦБ, измерение электрических параметров и характеристик устройств и приведение их к установленным нормам;
- замену неисправных приборов на отремонтированные;
- восстановление исправного действия устройств СЦБ при их отказах.

Более того состав комплексного автомобиля «МКВР» был дополнен специальным оборудованием для ремонта кабелей СЦБ: станция закачки кабелей гидрофобным заполнителем СЗК-001, сварочный агрегат, рельсосверлильная установка, комплект измерительного оборудования для обслуживания напольного оборудования и кабельных сетей.

Широкое применение в хозяйстве автоматики и телемеханики нашли именно эти специальные автомобили «СМШ» и «МКВР». Их использование оказалось действительно эффективным и подтверждается эксплуатационными показателями. За восьмичасовую смену бригада электромехаников СЦБ, оснащенная таким спецавтомобилем, выполняет в 2,45 раза больший объем работы, чем бригада без спецавтомобиля. Даже при нахождении объекта обслуживания рядом с базой производительность труда бригады электромехаников СЦБ, оснащенной спе-

цавтомобилем «СМШ», увеличивается в 1,78 раза. Максимальное расстояние до объекта обслуживания бригадой электромехаников СЦБ без спецавтомобиля и со спецавтомобилем составляет 13,75 и 200 километров соответственно. При сравнении бригады без спецавтомобиля и со спецавтомобилем «СМШ» на расстоянии 13,75 км, которое может обслуживать пешая бригада за восемь часов, производительность труда увеличивается более чем 3,5 раза. При использовании спецавтомобиля возможно изменение численности эксплуатационного штата. Вместо двух электромонтеров появится электромонтёр-водитель.



В результате с 2002 года в рамках ежегодных программ обновления и развития средств железнодорожной автоматики и телемеханики постоянно реализуется статья, связанная с поставкой специализированной автомобильной техники. [2]

В настоящее время компанией «ИНРУСКОМ» освоено и налажено серийное производство целого ряда специальных автомобилей для выполнения специальных работ в хозяйстве автоматики и телемеханики Российских железных дорог.



В 2010 году по поручению Департамента автоматики и телемеханики разработан новый специализированный автомобиль старшего электромеханика СЦБ на базе полноприводного пятиместного УАЗ-39094 «СМШ-2». Этот грузопассажирский автомобиль имеет утепленную пятиместную кабину и вместительный кунг. Он оснащён погрузо-разгрузочным механизмом грузоподъёмностью уже 500 кг, выдвижной стеллажной системой с ящиками для транспортировки инструментов. В фургоне так же размещён отсек для перевозки приборов и оборудования СЦБ.



Для перевозки аппаратуры на объекты для замены на станциях и перегонах на базе УАЗ-390945 создан специализированный автомобиль «АС-КИП-1». Этот грузопассажирский автомобиль для работников ремонтно-технологических участков дистанций СЦБ имеет фургон с боковыми роллерными дверями. Внутри оборудованы места, где размещается специализированная транспортная тара для приборов СЦБ.

Ещё одно новое транспортное средство — аварийно-ремонтная автомашина повышенной проходимости на базе КамАЗ-43118 «АРБ-СЦБ». Это полноприводный грузовой автомобиль для оперативной доставки специалистов и оборудования к месту проведения работ. Для механизации погрузо-разгрузочных работ, монтажа напольного оборудования применяется кран-манипулятор с грузовой моментом до 8 тм. На автомобиле установлен съёмный технологический модуль с энергетическим, осветительным и другим оборудованием.

Достаточно много рабочего времени у эксплуатационного штата хозяйства автоматики и телемеханики занимает покраска напольного оборудования, как на станциях, так и перегонах. Чтобы автоматизировать этот процесс, на базе УАЗ-390945 разработана передвижная окрасочная станция «ПОС-1». В нём можно перевозить до пяти человек, а также оборудование и расходные окрасочные материалы. Современный автомобиль оснащён автономным генератором мощностью 4 кВт, электрическими шлифовальными машинками с набором щёток, краскопультами для нанесения различных видов красок. Есть тут и осветительное оборудование, набор специального инструмента, средства индивидуальной защиты [3, с. 53]



Благодаря всестороннему практическому анализу получены ожидаемые результаты применения специализированного автотранспорта линейными предприятиями хозяйства автоматики и телемеханики:

- снижение количества отказов в работе устройств СЦБ на 19 процентов;
- сокращение времени устранения повреждений устройств СЦБ на 0,5 часа;
- повышение производительности труда эксплуатационниками на 18 процентов;
- срок окупаемости капиталовложений составит около 6,5 лет;

— улучшение условий труда и соблюдение требований техники безопасности.

Все это подтверждает правильность выбранной стратегии и необходимость оснащения дистанций СЦБ специализированным автотранспортом в приоритетном порядке. [2]

К новым системам улучшения условий труда линейных электромехаников и электромонтёров СЦБ относятся современные модульные системы типов ТМ-Л и ТМ-С. Они предназначены для хранения запасного оборудования материалов и инструментов для плановых и ремонтно — восстановительных работ непосредственно вблизи места их проведения.



С их помощью обеспечивается сохранность запасного оборудования СЦБ во время транспортировки и хранения. Также сокращаются материальные и трудовые затраты на доставку инструментов и оборудования к месту проведения работ.

Модуль ТМ-Л представляет собой навесной металлический шкаф, который устанавливается на типовые релейные шкафы типа ШРУ-М или другие шкафы аналогичной конструкции расположенные на станции или перегоне. Внутри изделия есть регулирующие по высоте полки и крепления для запасного оборудования, тяжёлых инструментов и принадлежностей. Он оснащён вандальным запором и имеет долговечное полимерное покрытие. При установке модуль навешивается на грузовые петли релейного шкафа и фиксируется болтами к его стенке. Для большей устойчивости релейного шкафа предпочтительнее крепить два модуля с разных сторон. В конструкции предусмотрена дополнительная опора, позволяющая снизить нагрузку. Установка шкафа не требует грузоподъёмных механизмов или специальных приспособлений и выполняется в течение нескольких минут.

Модуль ТМ-С — металлический напольный шкаф — предназначен для транспортировки оборудования, необходимых инструментов общим весом до одной тонны и хранения его на станции. При его разработке особое вни-



мание было уделено вандализационности. Конструкция перекрытий и соединений выполнена таким образом, что даже при значительных повреждениях доступ посторонних лиц ограничен.



Модуль устанавливается на бетонное основание или винтовые сваи, фиксирующиеся изнутри при помощи болтов, без изъятия которых его невозможно демонтировать. Внутри модуля ТМ-С есть слесарные тиски, предусмотрен ввод электрического кабеля, полка, которая является верстаком. Благодаря этому, модуль вполне можно использовать и как мобильное рабочее место электромеханика СЦБ. [3, с. 54]

Не последняя роль в улучшении условий труда электромехаников СЦБ в настоящих условиях отводится универсальному инструменту для решения широкого спектра задач по обслуживанию устройств СЦБ. Современный носимый набор инструментов электромеханика СЦБ размещается в специализированном рюкзаке, содержит 47 наименований. Такой набор скомплектован с учётом многолетнего практического опыта и мнения эксплуатацион-

ников. Он обеспечивает линейного электромеханика СЦБ всеми необходимыми инструментами и инвентарем для проведения работ по техническому обслуживанию и ремонту устройств сигнализации, централизации и блокировки, железных дорог. Набор инструмента размещается в специализированном рюкзаке типа РЭМШ, который состоит из инструментальных и дополнительных отделений. Дополнительное отделение служит для хранения приборов, оборудования, комплектов запасных частей и габаритных личных вещей, при необходимости может отстегиваться от рюкзака и транспортироваться как отдельная сумка.



Практика использования такого набора показала, что он удобен в ношении потому как конструкция лямок максимально облегчает ношение рюкзака, поясная тяга используется при переноске набора на большие расстояния и служит для правильного распределения веса рюкзака и снятия части нагрузки с плеч. Более того цветовое исполнение улучшает заметность электромеханика СЦБ при нахождении его на железнодорожных путях, что повышает безопасность проведения работ. Рюкзак изготовлен из прочной влагонепроницаемой ткани сигнального цвета и оснащен световозвращающими элементами. [4]

#### Литература:

1. Устройства СЦБ на железной дороге. dalzdp.ru
2. Применение спецавтотранспорта линейными предприятиями хозяйства автоматики и телемеханики. Евразия Вести 2009. eav.ru
3. Новая продукция для хозяйства автоматики и телемеханики. Журнал АСИ №1 2011 г.
4. Специальный инструмент для электромехаников СЦБ. inruscom.com

## Современные методы восстановления кабельных линий железнодорожной автоматики и телемеханики

Селиверов Денис Иванович, заместитель директора по учебно-производственной работе, преподаватель;  
Козина Анастасия Михайловна, студент

Саратовский техникум железнодорожного транспорта – филиал Самарского государственного университета путей сообщения

**К**абельные линии и сети железнодорожной автоматики и телемеханики представляют собой комплекс конструкций и оборудования, предназначенных для обеспе-

чения передачи сигналов, функционирования устройств электрической централизации управляющих движением поездов.

Кабелями соединяют напольные устройства электрической централизации стрелочные электроприводы, светофоры и приборы рельсовых цепей с постовыми устройствами, и постовые устройства между собой. Для этого используют сигнально-блокировочные кабели следующих марок СБПБ, СБВБ, СБВГ, СБПБГ, СБВБГ, СБВу и СБПу. Кабели марок СБПБ, СБВБ, СБВу и СБПу предназначены для прокладок в земле, а остальные кабели используют для помещений и тоннелей. [1, с.352]

Большинство кабелей систем сигнализации и блокировки, находящихся в настоящее время в эксплуатации, не обладают продольной влагонепроницаемостью. Другими словами, в промежутках между жилами находится воздух. Он занимает примерно 45% от площади поперечного сечения кабеля. Вследствие этого при повреждении его наружной оболочки влага попадает внутрь кабеля. При этом влага начинает распространяться в обе стороны от места повреждения и проникает в пространство между жилами, а также между жилами и поясной изоляцией, вытесняя воздух и ухудшая электрические и механические параметры кабеля, что в итоге приводит к разрушению самих токопроводящих жил.

Так как вода «плохой» диэлектрик, то электрические параметры кабеля на участке проникновения воды, длина которого может достигать 100–200м, ухудшаются и, соответственно ухудшаются параметры всей кабельной линии. Нарушение изоляции между жилами в кабеле может привести к нарушению нормальной работы устройств автоматики на станции, а также к возникновению «опасных» отказов угрожающих безопасности движения поездов.

Радикальный способ устранения выше стоящих недостатков — использование кабелей влагонепроницаемых в продольном направлении. Для этих целей при изготовлении кабеля его сердечник на протяжении всей его длины заполняется гидрофобным заполнителем, который препятствует проникновению воды. [1, с.353]

Для заполнения междужилыного пространства сигнально-блокировочных кабелей широко применяется гидрофобный заполнитель типа «ГИЗАК». Гидрофобный заполнитель изготавливается на основе минерального масла с добавками полиэтилена, полиэтиленового воска и синтетического каучука. Гидрофобный заполнитель типа «ГИЗАК» предназначен для введения в сердечник кабеля в горячем виде. [2]

В настоящее время на сети дорог ОАО РЖД применяются и кабели с водоблокирующими материалами. Так в сердечник кабеля вводятся водонабухающие материалы (порошок, нити, ленты), которые под действием воды увеличиваются в объеме несколько раз, образуя пробку, и таким образом препятствует дальнейшему проникновению в него воды. [1, с.353]

Несмотря на то, что на практике при монтаже кабелей с гидрофобным заполнителем требуют тщательной очистки жил широкое распространение, как за рубежом, так и в России все-таки имеют именно кабели с заполнением сердечника жидким гидрофобом. Кабели СЦБ с ги-

дрофобным заполнителем сердечника имеют следующую маркировку: СБЗПБГ, СБЗБ, СБЗБбШп, СБЗПу. По сравнению с незаполненными кабели с гидрофобным заполнением имеют большой срок службы, более высокие эксплуатационные свойства и сохраняют свою работоспособность даже при повреждении наружной оболочки. В результате использования заполненных кабелей сокращается количество отказов, уменьшаются затраты на эксплуатацию и ремонт кабельных линий и увеличивается общий срок службы кабельных сетей. [2]



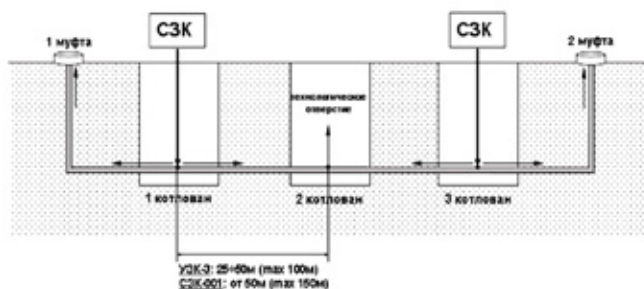
Из практики эксплуатации кабельных сетей автоматики и телемеханики известно, что 95% повреждений кабелей происходит из-за замыкания кабелей и подземных соединительных муфт. Эксплуатационникам приходится производить замену неисправных участков кабеля. В результате возникает необходимость установки дополнительных надземных или подземных соединительных муфт. Всё это влечёт за собой дополнительные эксплуатационные расходы, как на ремонт, так и дальнейшее обслуживание кабельных сетей.

Эффективным способом восстановления и стабилизации электрических характеристик цепей поврежденных (замокших) кабелей, герметизации подземных муфт является заполнение междужилыного пространства и технологических пустот полимеризующимся составом с гидрофобными свойствами — жидким гидрофобным заполнителем ЖГЗ. В процессе закачки ЖГЗ в сердечник кабеля влага, находящаяся в кабеле, вытесняется, а все пустоты сердечника кабеля заполняются ЖГЗ. При этом электрические характеристики цепей заполненного кабеля, такие как, сопротивление изоляции жил, пробивное напряжение восстанавливаются до существующих норм, рабочая емкость увеличивается на 10–15%. Спустя определенное время ЖГЗ полимеризуется и приобретает медообразную консистенцию, не вытекающую из сердечника кабеля.

Такой способ восстановления не требует замены вышедшего из строя участка кабеля на новый. Тем самым значительно сокращая эксплуатационные расходы. Закачка жидкого гидрофобного заполнителя производится эксплуатационниками прямо в действующий кабель, находящийся в грунте предварительно определив поврежденное (замокшее) место и заранее подготовленные шурфы в грунте для подключения закачивающего обо-

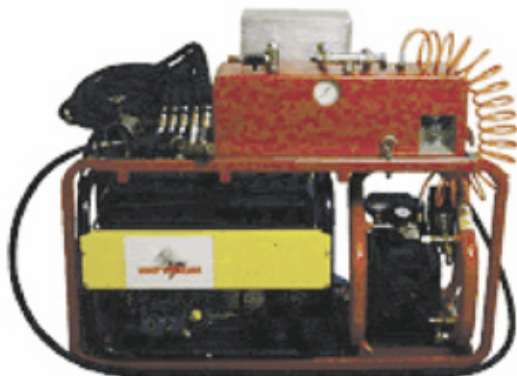
дования. При этом не прерывается работа устройств железнодорожной автоматики на время проведения восстановительных работ. В результате выполненных работ значительно увеличивается срок службы действующего восстановленного кабеля. Такая технология восстановления кабельных линий на протяжении уже 10 лет широко применяется на кабельных линиях сети железных дорог ОАО РЖД и доказала свою эффективность на практике.

#### ЗАКАЧКА ЖГЗ В КАБЕЛЬНЫЕ СЕТИ, ПРОЛОЖЕННЫЕ В ГРУНТЕ



Для этих целей разработан состав для герметизации кабельных изделий гидрофобный заполнитель типа ФП-65—2М-Т и специализированное оборудование — станция закачки кабеля СЗК-001 и установка закачки кабеля УЗК-3.

Станция СЗК-001 предназначена для ремонтно-восстановительных работ, повышения безопасности и эксплуатационной надежности кабельных сетей автоматики и телемеханики. В состав станции СЗК-001 входит вновь разработанная установка для закачки гидрофобного заполнителя с высокой производительностью до нескольких километров заполнения кабеля в смену и автономный электрогенератор 220В, 3 кВт. [2]



Оперативность работ на кабельных линиях обеспечивается полным функциональным набором оборудования, инструментов и материалов, скомплектованным на основе практического опыта обслуживания кабельных линий на дистанциях СЦБ. Поэтому станция СЗК-001 укомплектована современными портативными приборами по поиску трассы кабеля и его измерениям. Такие приборы позволяют легко определять место повреждения кабеля с погрешностью до 1 метра и характер этого повреждения, а также комплект монтажных инструментов, кабельной палаткой, насосом погружным электрическим для откачки воды из котлованов и колодцев. Основными досто-

инствами станции СЗК-001 являются высокая производительность по закачке жидкого гидрофобного заполнителя в сердечник кабеля, возможность одновременной работы с пятью кабельными линиями в одной траншее, независимость от внешних источников электроснабжения.

Установка для закачки кабелей с полиэтиленовой изоляцией жил УЗК-3 отличается от СЗК-001 меньшей мощностью. Она предназначена для работ по восстановлению и стабилизации электрических цепей поврежденных (замокших) кабельных сетей СЦБ проложенных в желобах, в грунте или на ремонтных базах.



Слабым местом кабельных сетей являются места их соединения — подземные кабельные муфты. Для решения этой проблемы разработано устройство герметизации подземных кабельных муфт УГМ и специальный полимеризующийся компаунд. Устройство герметизации подземных кабельных муфт УГМ, представляет собой ручной шприц-пресс для введения жидкого гидрофобного заполнителя в муфты соединения. Полимеризующийся гидрофобный компаунд предназначен для заполнения полиэтиленовых муфт и изготовлен на основе гидрофобного заполнителя ФП-65—2М. Монтаж кабелей с применением полимеризующегося компаунда отличается от широко распространенного метода монтажа кабелей с применением битумного компаунда тем, что не требует разогрева заливочной массы. Для приготовления полимеризующегося компаунда необходимо смешивание двух компонентов: заливочной массы и отвердителя.





Полимеризация начинается в течение 1-го часа и завершается не позднее 7-ми суток (активная фаза) с момента смешения. Заполимеризовавшийся компаунд представляет собой резиноподобную массу с гидрофобными свойствами и электрическими характеристиками близкими к полиэтилену. При этом обеспечивается надежная герметизация соединения кабелей, обеспечивающая стабильную работу и поддержание электрических

характеристик кабельных линий. [2]

Применение рассмотренных типов современных кабелей с гидрофобным заполнением повышает надежность работы кабельных сетей железнодорожной автоматики и телемеханики, а методы восстановления поврежденных действующих кабелей позволяют эффективно стабилизировать сопротивление изоляции жил по отношению к «земле» и между жилами.

#### Литература:

1. Станционные системы автоматики. И.Л. Рогачёва, А.А. Варламова, А.В. Леонтьев. УМЦ ЖДТ, 2007 г.
2. Материалы и оборудование для кабельных сетей. [inguscom.com](http://inguscom.com)

## Анализ и разработка измерительной установки для определения момента инерции тел вращения сложной формы

Сеферян Артур Ефремович, студент;

Нестеров Александр Владимирович, кандидат технических наук, доцент

Кубанский государственный технологический университет (г. Краснодар)

Целью данной научно-исследовательской работы является анализ, выявление достоинств и недостатков существующих методов, установок и приборов для определения динамических характеристик тел вращения сложной формы (рис. 1), на базе исследований разработать методику и прибор для определения момента инерции тел вращения. Основными критериями для разработки прибора является: простота измерения, точность, автоматизация.

Момент инерции является одной из важнейших характеристик деталей технических устройств, совершающих вращательное движение. В современной технике распространены установки, в которых измеряется момент инерции тел различной формы. Рассмотрим основные идеи реализации установок для определения момента инерции тел вращения. Первая работа такого типа опубликована в сборнике лабораторных работ физического факультета МГУ в 1946 г [1]. Прибор представляет собой маховое колесо М (рис. 2), которое может вращаться с очень малым трением относительно горизонтальной оси. На оси колеса укреплен деревянный вал В, на который намотана нить, к концу которой прикреплен груз массой  $m$ . Если колесо освободить, то груз начнет опускаться, приводя маховое колесо во вращение, которое можно считать равноускоренным.

Момент инерции колеса (вместе с осью и валом) вычисляется по формуле:

$$j = \frac{mr^2(gt^2 - 2h)}{2h},$$

в которой все величины в ее правой части доступны непосредственным измерениям, а ускорение свободного падения  $g$  считается известным. Чтобы найти момент

инерции только лишь колеса, следует из полученного значения вычесть момент инерции оси и вала. Их значения находят вычислением по формулам для однородных цилиндрических тел известной геометрии и плотности их материала [2].

Момент инерции твердого тела фигурирует и в работе физического практикума физического факультета МГУ «Изучение вращательного движения твердого тела» [3]. Позже эта лабораторная работа с колесом была усовершенствована. В работе используются два способа экспериментального определения момента инерции: метод колебаний и метод вращения. Первый основан на использовании зависимости периода колебаний физического маятника от его момента инерции. Второй — на анализе инерционных свойств твердого тела, закрепленного на оси, при его вращательном движении. Кроме этого, проводится прямой расчет момента инерции исследуемого тела известной геометрии. Основной частью установки является сплошное колесо (рис.2), которое может вращаться вокруг горизонтальной оси. К цилиндру, расположенному на оси колеса, с помощью нити прикреплен груз. Помещая груз в устройство для его крепления, получаем физический маятник, который может колебаться около положения равновесия. Угол отклонения может быть определен по угломерной шкале. Установка снабжена системами регистрации периода колебаний колеса и времени опускания груза [2].

При анализе работ выявлены основные недостатки, предложенных методов:

- установки громоздкие, имеют гибкие элементы;
- высокая вероятность ошибки из-за нарушения процедуры измерения.

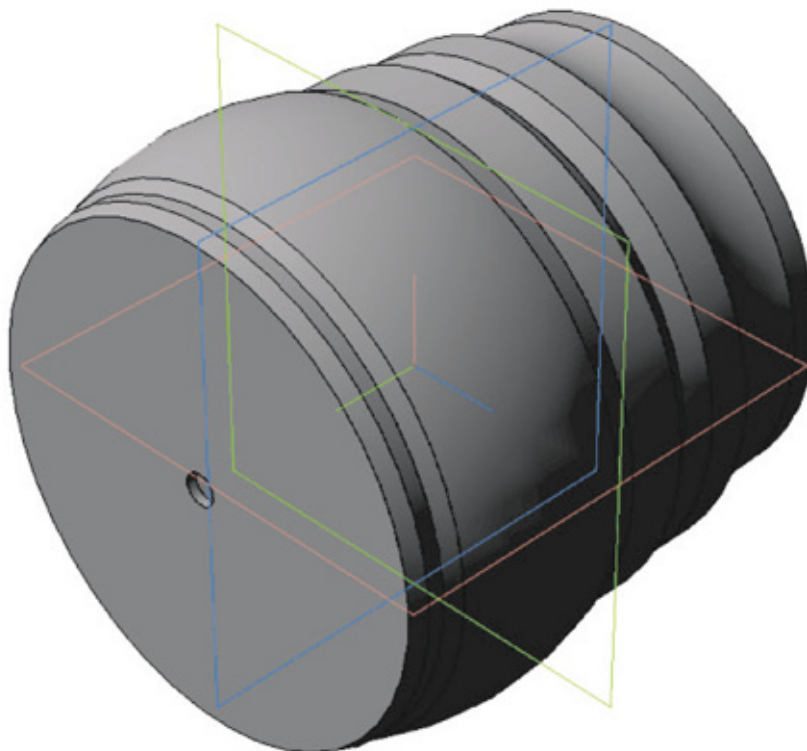


Рис. 1. Тело вращения сложной формы

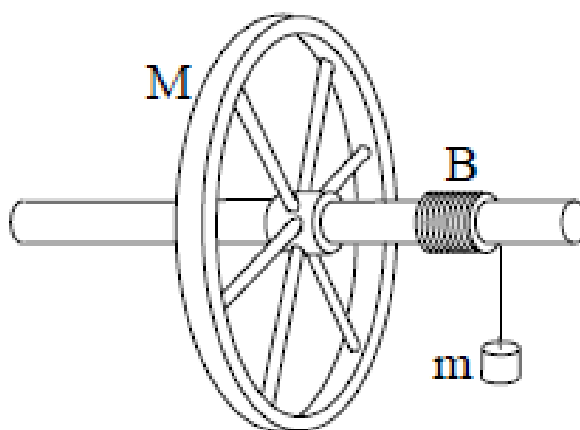


Рис. 2. Прибор для определения момента инерции тела, методом падающего груза

При исследовании современного рынка измерительных устройств Российской Федерации не обнаружены приборы для определения динамических характеристик тел вращения, удовлетворяющих следующим требованиям:

- малые габариты;
- отсутствие гибких элементов;
- полностью автоматическое вычисление;

Для устранения вышесказанных недостатков разработан метод, основанный на свободном выбеге ротора электродвигателя. Основная идея реализации измерительной установки основана на нахождении постоянной времени ротора двигателя  $T$ , которая определяется следу-

ющим образом. Как известно момент вращения двигателя складывается из двух моментов, момента статического сопротивления и динамического момента:

$$M_{вр} = M_{ст} + M_{дин}.$$

При выбеге двигателя момент вращения двигателя равен нулю. Таким образом из основного уравнения электропривода возможно найти интересные параметры, такие как постоянная времени. Принимаем, что степень полинома первого порядка [4]. Получаем, что основное уравнение электропривода в данном случае является дифференциальным уравнением первого порядка. Можно



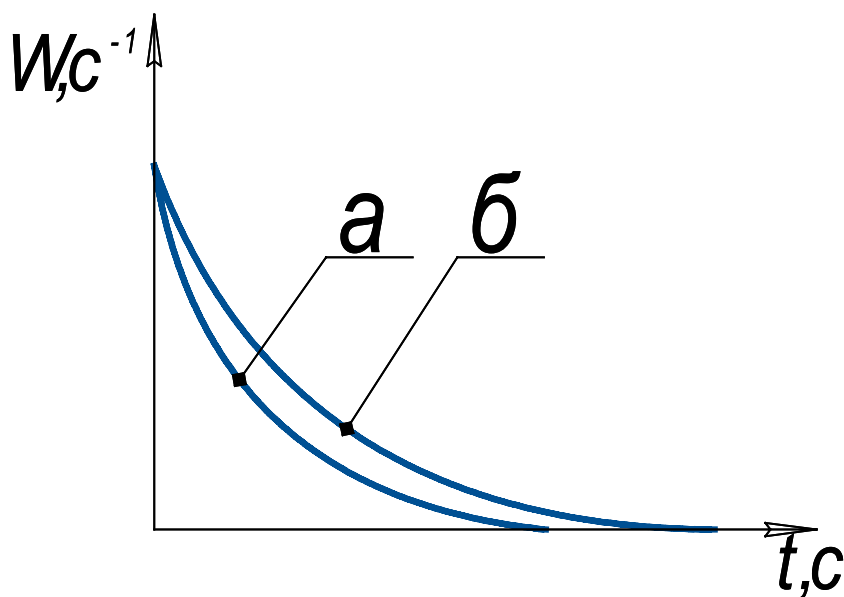


Рис. 3. К определению постоянной времени

сделать вывод, что выбег электродвигателя описывается аperiodический звеном первого порядка [5]:

$$M_{ep} = M_{conp},$$

$$M_{conp} = M_{ст} + M_{дин},$$

$$0 = k \cdot w + j \frac{dw}{dt},$$

$$W(s) = \frac{1}{js + k} = \frac{\frac{1}{k}}{s + \frac{j}{k}} = \frac{K}{Ts + 1}.$$

Следовательно, если записать осциллограмму скорости выбега ротора двигателя ротора, можно вычислить  $T$ . Если же нагрузить ротор двигателя телом вращения и снова записать осциллограмму скорости, то получим другое значение  $T_1$ . В первом случае  $T$  равен (рис. 3а) [6]:

$$T = \frac{j_p}{k}, \quad (1)$$

где  $j_p$  — момент инерции ротора двигателя,  $k$  — коэффициент трения.

Во втором случае  $T_1$  равен (рис. 3б):

$$T_1 = \frac{j_p + j_m}{k}, \quad (2)$$

где  $j_m$  — момент инерции тела вращения.

Разрешив уравнение 1 через 2, несложно найти искомое значение момента инерции тела вращения:

$$j_m = \frac{j_p}{T} \cdot T_1 - j_p$$

Для проверки предложенного метода собран стенд, состоящий из программной и аппаратной части. В аппаратную часть входит:

- а) двигатель постоянного тока Siemens 1G.5100—0EC4. —6WV1;
- б) датчик скорости — тахогенератор L117—61026B1—04;
- в) АЦП-ЦАП Siemens simatic S7—400;
- г) Вычислительная машина IBM PC.

Программная часть измерительной установки состоит из прикладной программы «Меркурий» (рис. 4), написанной на языке C++. Общий алгоритм работы программы представлен на рисунке 5.

Двигатель постоянного тока, оснащенный крепежным механизмом для закрепления тел вращения, расположен горизонтально. Встроенный аналоговый тахогенератор подключен к АЦП. Силовой кабель электродвигателя замкнут через твердотельные ключи к ЦАП. ЦАП-АЦП непосредственно подключена к вычислительной машине IBM PC. Управление ЦАП-АЦП происходит непосредственно через прикладную программу «Меркурий».

Общий принцип работы установки. Оператор размещает испытуемое тело на крепежном механизме. По команде оператора через программу «Меркурий» ЦАП подает напряжение на двигатель, параллельно обращаясь к АЦП для отслеживания скорости вращения ротора двигателя. По достижению требуемой скорости «Меркурий» снимает напряжение с двигателя и начинает запись сигнала с тахогенератора. После остановки ротора двигателя «Меркурий» проводит регрессионный анализ полученного сигнала. По полученной регрессионной модели вычисляет постоянную времени, а затем и момент инерции.

Разрабатываемая испытательная установка обладает рядом преимуществ:

- малые габариты;

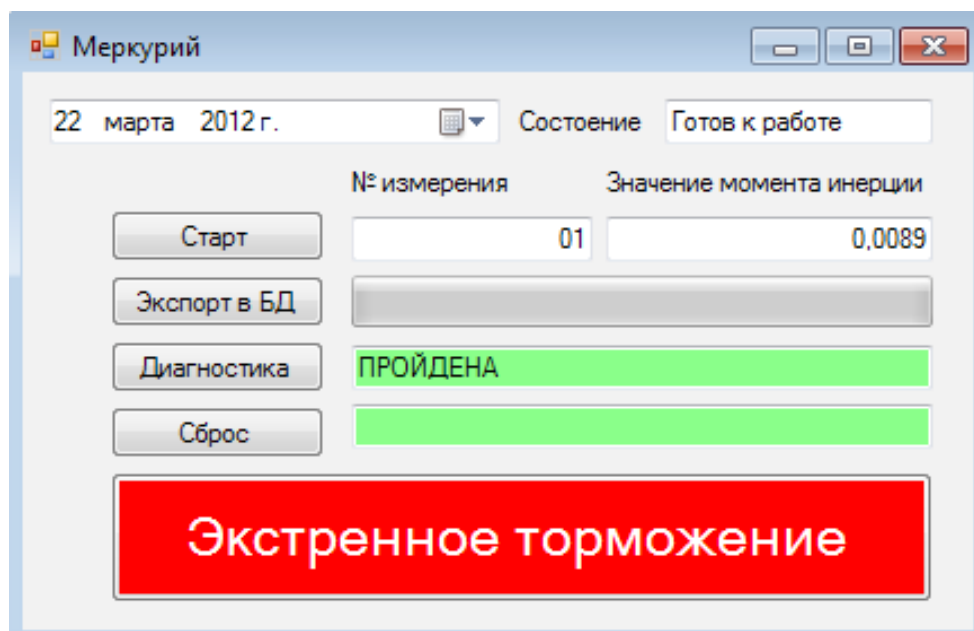


Рис. 4. Интерфейс программы «Меркурий»

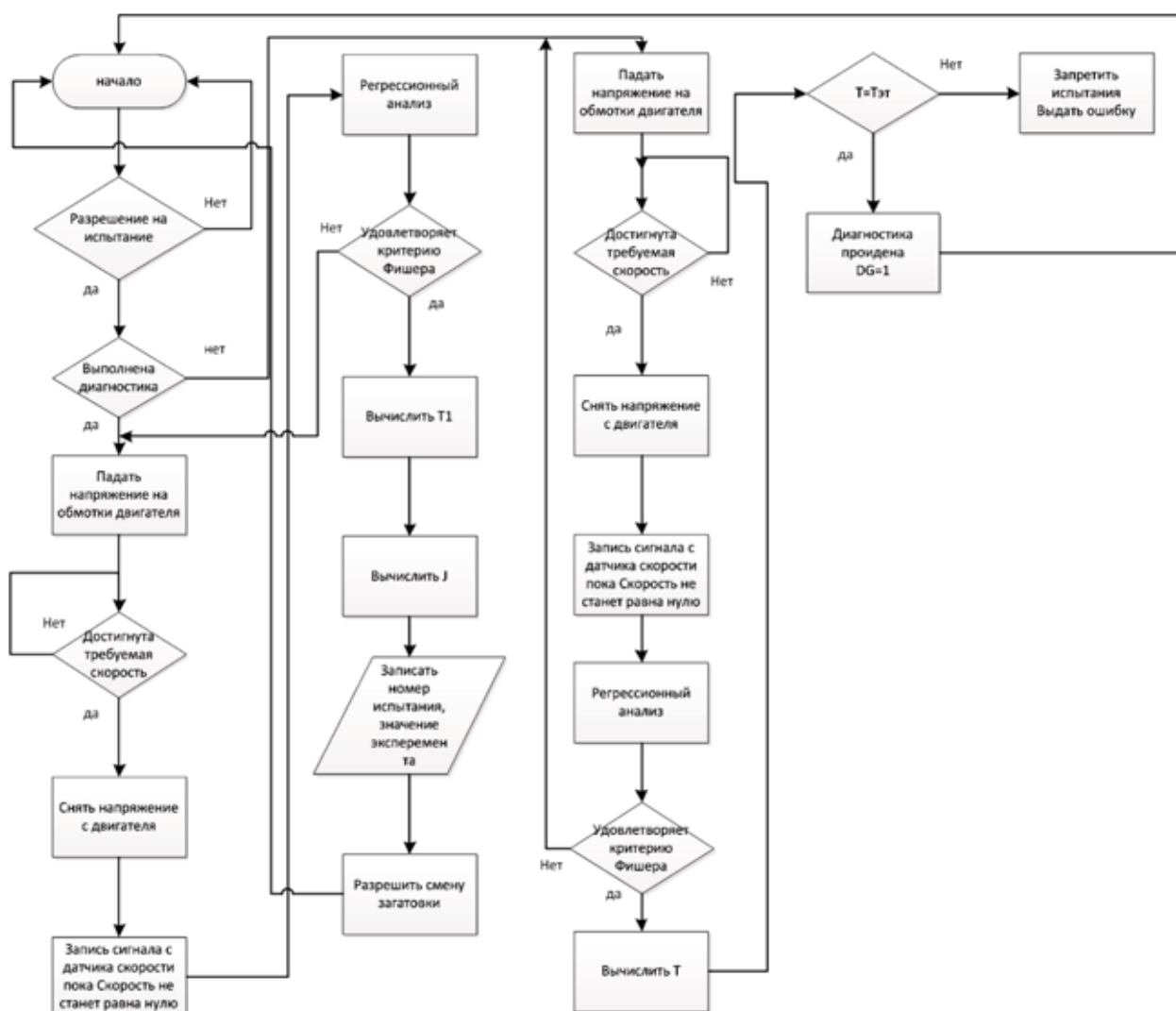


Рис. 5. Алгоритм программы

- отсутствие гибких элементов;
- полностью автоматическое вычисление;
- наличие БД для хранения истории измерений.

На данный момент выдуться испытания стенда. По-

лученные промежуточные данные свидетельствуют о состоятельности метода. По завершению испытаний испытательного стенда планируется приступить к промышленному испытанию.

#### Литература:

1. К.П. Яковлев. Определение момента инерции махового колеса динамическим методом. Физ. практикум. Работа 2а.ОГИЗ. М.-Л.,1946 — с. 85—88
2. Козлов В.И. Измерение момента инерции твердых тел в физическом практикуме. Материалы международной научно-технической конференции ААИ «Автомобиле- и тракторостроение в России: приоритеты развития и подготовка кадров», посвященной 145-летию МГТУ «МАМИ».М.,2012 — с. 213—218
3. Изучение вращательного движения твердого тела. Физический практикум. Лабораторная работа 10. Под ред. В.И. Ивероновой. М., 1962, — С. 86—90.
4. Вольдек А.И. Электрические машины. — Л.: Энергия, 1974. — 84 с.
5. Сеферян А.Е. Разработка метода идентификации математической модели электродвигателя бесконтактным способом. Машиностроение. Кр-р, 2011 — с. 80—84.
6. Сеферян А.Е., Топчий А.Ю., Нестеров А.В. Бесконтактная параметрическая идентификация вращающихся машин. Научно-технический вестник Санкт-Петербургского государственного университета информационных технологий, механики и оптики.2011, вып.6 (76). — с. 142—143.

## Устройства для анализа и оценки состояния дорожного покрытия

Целых Дмитрий Сергеевич, аспирант  
Астраханский государственный университет

Привалов Олег Олегович, кандидат технических наук доцент  
Камышинский технологический институт (филиал) Волгоградского государственного технического университета

*В статье рассматривается степень значимости автомобильных дорог в жизни любой страны и проблемы поддержания автомобильных дорог в надлежащем виде. Также рассмотрены способы анализа и диагностики состояния дорог. В статье имеются описания устройств, наиболее используемых на данный момент и самых современных еще практически неиспользуемых. Проведен анализ этих устройств, в процессе которого были выявлены их недостатки. Так же в статье приведено описание разрабатываемого устройства спроектированного у учетом выявленных недостатков и пожеланий специалистов, работающих в сфере дорожного строительства. Представлена структурная схема устройства оценки состояния дорожного покрытия и полное описание функционирования всех узлов разрабатываемого устройства. В заключительной части статьи произведен анализ положительных эффектов от внедрения разрабатываемого устройства. Определены сферы применимости устройства и позиции, выгодно отличающие его от используемых в данный момент аналогов.*

**Ключевые слова:** кривизна дорожного покрытия, поперечный уклон, продольный уклон, дорожная одежда, динамический прогиб, видеонаблюдение

### Введение

Автомобильная дорога — объект транспортной инфраструктуры, включающий в себя комплекс функционально связанных конструктивных элементов и искусственных инженерных сооружений, специально предназначенных для обеспечения безопасного движения автомобильных и других транспортных средств с расчётными скоростями, нагрузками и габаритами, с заданной интенсивностью движения в течение дли-

тельного времени, а так же участки земель, предоставленные для размещения этого комплекса и пространство в пределах установленного габарита. Определение понятия «дорога» в России закреплено законодательно. Согласно Федеральному закону от 10.12.1995 № 196-ФЗ «О безопасности дорожного движения», дорога — обустроенная или приспособленная и используемая для движения транспортных средств полоса земли либо поверхность искусственного сооружения. Дорога включает в себя одну или несколько проезжих частей, а



Рис. 1.

также трамвайные пути, тротуары, обочины и разделительные полосы при их наличии.<sup>1</sup>

Суммарная протяженность автомобильных дорог России сегодня составляет 904,7 тыс. километров, в том числе 759,3 тыс. км дорог с твердым покрытием и 145,4 тыс. грунтовых дорог<sup>2</sup>. В современном мире автомобильные дороги являются стратегически необходимой частью инфраструктуры любой страны. Поэтому поддержание дорог в надлежащем состоянии является государственной задачей, решение которой не может стоять на втором плане.

На сегодняшний день в России существуют специальные службы, комитеты, и даже институты задачами которых является обеспечение надлежащего качества автомобильных дорог. В их функции входит как проведение плановых осмотров, диагностик и изучение физико-химических характеристик дорожных одежд, так и необходимый ремонт и прокладка нового дорожного сообщения.

Проведение качественного анализа состояния дорожного покрытия и его ремонта невозможно без специальных приспособлений и устройств. Поэтому на сегодняшний день существует множество разнообразных устройств помогающих человеку быстро и качественно проводить укладку нового дорожного покрытия, а так же выполнять оперативный ремонт.

### **Дорожные устройства**

Особую роль выполняют устройства для анализа состояния дорожного покрытия. Данные устройства помогают человеку выявлять на ранней стадии места где начался или может начаться процесс разрушения дорожного покрытия. Что в свою очередь позволит с минимальными затратами ликвидировать или локализовать процесс разрушения дорожного покрытия. Данные устройства условно можно разделить на две категории наблюдения рис. 1. Оба вида наблюдений являются чрезвычайно важ-

ными для проведения диагностики состояния автомобильных дорог.

Устройства для глубинной оценки позволяют увидеть плотность дорожного покрытия, а также глубину слоя, состав и размер фракций дорожной одежды. Для этого разработаны приборы использующие принцип эхолота, которые способны определить плотность дорожного покрытия, а также наличие пустот в 30 сантиметровом слое дорожной одежды. Так же для исследований такого рода рабочими производятся вырубки и засверливания дорожного полотна для получения образцов дорожной одежды. После чего образцы проходят исследования по физико-химическим характеристикам в лабораторных условиях.

Устройства второго вида предназначены для проведения оценок характеристик состояния дорожного покрытия, которые можно сделать визуально. К таким характеристикам относят:

1. Кривизна дорожного покрытия
2. Поперечный уклон
3. Продольный уклон
4. Протяженность
5. Наличие неровностей
6. Качество разметки
7. Коэффициент сцепления
8. Наличие трещин
9. Наличие впадин
10. Наличие вспучиваний
11. Освещенность полосы
12. Ширина проезжей части

Исследования данного вида являются основными в процессе эксплуатации автомобильных дорог. Результаты исследований используются не только для текущей оценки состояния дорожного покрытия, но так же и для создания и ведения паспортизации дорог, что позволяет видеть динамику состояния дорожного покрытия. Поэтому исследования данного вида должны производиться при завершении работ строительных работ дорожного по-

<sup>1</sup> Пospelов, П.И. Дороги — Большая Российская энциклопедия, Т.9. — С. 285.

<sup>2</sup> Осин М.С. Дороги России — «Российская газета» — Специальный выпуск №5314.

лотна и периодически обновлять весь срок эксплуатации автомобильных дорог. Данная диагностика позволит объективно и своевременно выявить разрушения дорожного покрытия на ранних стадиях, что в итоге приведет к существенной экономии финансовых средств на капитальном ремонте дорожного полотна.

Для данного вида диагностики на данный момент разработано множество устройств и комплексов позволяющие оперативно и качественно проводить оценку состояния дорожного покрытия.

Первые приборы для оценки состояния дорожного покрытия появились довольно давно, многие из них претерпев некоторые изменения и сегодня используются в дорожном строительстве.

### **Дорожная рейка**

Дорожная рейка — одно из самых распространенных на данный момент устройств оценки состояния дорожного покрытия. Дорожная рейка представляет собой 3 метровую рейку изготовленную из алюминиевого профиля с нанесенными на нее делениями и снабженного устройствами для измерения уклонов. Данное устройство является примитивным измерительным устройством разработанным к моменту развития дорожно-строительных служб, и практически не претерпевшим существенных модернизаций до сегодняшнего момента.

Основным назначением дорожных реек является измерения неровностей поверхности покрытий и оснований автомобильных дорог и аэродромов по ГОСТ 30412–96 п.4. Определение продольных и поперечных уклонов проезжей части дорог и аэродромных покрытий в соответствии с требованиями СНиП 2.05.02–85, СНиП 32–03–96, СНиП 2.05.11–83.

Данное устройство позволяет оценить такие характеристики дорожного покрытия как:

1. неровность поверхности,
2. толщина слоев дорожной одежды,
3. продольные и поперечные уклоны,
4. крутизна заложения откоса, насыпей и выемок
5. ширина трещин
6. линейные измерения

Данное устройство является примитивным и не позволяет провести объективную оценку состояния дорожного полотна. Оценка состояния дороги с помощью рейки требует непосредственного присутствия сотрудника дорожных служб. Данный метод не является оперативным и требует большого количества трудовых активов.

### **Дорожное колесо**

Дорожное колесо — устройство примитивного типа применяется для измерения расстояний. Данное устройство является примитивным, применяется для определения больших расстояний. Устройство представляет собой колесо, закрепленное на конце трости и оснащенное

прибором для подсчитывания количества оборотов совершенное колесом. Процесс измерения предусматривает прокатывание колеса по траектории, расстояние которой необходимо измерить.

Данное устройство является примитивным. Оценка состояния дороги с помощью рейки требует непосредственного присутствия сотрудника дорожных служб. Позволяет провести оценку только одному параметру.

### **Многоколесная диагностическая станция**

Многоколесная диагностическая станция — устройство прицепного типа имеющая в составе от 8 до 12 колесных осей. При прогоне данного устройства по поверхности дорожного полотна устройство фиксирует все динамические изменения в колесной базе и в платформе тележки. Это устройство позволяет оценить такие характеристики дорожного полотна как:

1. неровность поверхности
2. продольные и поперечные уклоны
3. крутизна заложения откоса
4. сцепление и линейные измерения
5. Линейные измерения

Недостатками данного метода оценки состояния дорожного покрытия заключается в отсутствии возможности оценки устройством мелких трещин и дефектов, а также дефектов, не попавших под колесо многоколесной платформы. Результаты исследований должны оцениваться экспертами вручную.

### **Передвижной диагностический комплекс**

Передвижной диагностический комплекс — представляет собой передвижную исследовательскую автоматизированную лабораторию для оценки состояния дорожного полотна. Отличительной особенностью комплекса является удобство эксплуатации и высокая производительность работы.

При помощи данной лаборатории в автоматическом режиме производятся измерения параметров:

1. Пройденный путь;
2. Скорость движения;
3. Ровность покрытия (в том числе продольный профиль и международный индекс ровности);
4. Продольный и поперечный уклоны проезжей части;
5. Углы поворота трассы и радиусы кривых в плане;
6. Коэффициент продольного сцепления (определяется с помощью приборов ПКСН, в комплект комплекса не входит);
7. Динамический прогиб дорожной конструкции, приведенный к показаниям установки

Недостатком данного исследовательского комплекса является не объективность оценки наличия и состояния дефектов, так как для оценки этих параметров используется только анализ видеоизображения полученного с видеокамеры. Дорожная лаборатория является базой сбора



информации с привязкой ее к координатам глобального позиционирования, оценка состояния дорожного полотна выносятся экспертами на основе анализа собранного системой материала. Не ведется паспортизация состояния дорожного полотна.

### **Программно-аппаратный комплекс видеопаспортизации дорог «СВПД»**

Программно-аппаратный комплекс видеопаспортизации дорог «СВПД» является одной из последних разработок в сфере передвижных дорожных лабораторий. Комплекс является модульным и оснащен множеством датчиков оценки состояния дорожного покрытия. Дорожная лаборатория может автоматически вести регистрацию таких параметров состояния дорожного полотна как:

1. кривизна дорожного покрытия,
2. поперечный и продольный уклон,
3. протяженность дорожного полотна,
4. наличие неровностей,
5. качество разметки,
6. коэффициент сцепления,
7. колеиность.

Измерение ведется с дискретностью 1 метр и привязкой к координатам глобального позиционирования или к существующим километровым знакам.

Недостатками работы данного комплекса является отсутствие представления данных мелких дефектах в наглядном виде, отсутствие алгоритмов сопряжения данных видеокамеры и сканирующего лазера для определения дефектов дорожного полотна. Отсутствие алгоритмов автоматической оценки состояния дорожного покрытия.

Все рассмотренные устройства имеют недостатки и не обеспечивают желаемый уровень детализации дорожного покрытия и не имеют встроенной системы экспертной оценки.

К устройствам такого рода предъявляются следующие требования:

1. Обеспечивать определение основных параметров дорожного покрытия
2. Осуществлять привязку измеренных параметров координатам глобального позиционирования
3. Работать в автоматическом режиме.
4. Обеспечивать измерения с уровнем дискретности не более 1 сантиметра.
5. Все узлы устройства должны быть модульными для легкого конфигурирования под определенные задачи
6. Обеспечивать возможность ведения видеопаспортизации дорог.
7. Иметь встроенную систему экспертных оценок для оценки состояния дорожного покрытия.

Предъявляемым требованиям не удовлетворяет ни одно устройство дорожной лаборатории, разработанное и используемое в данное время. Разработки в данном направлении за последнее время увеличились, что говорит об актуальности работ в данном направлении.

### **Предлагаемое решение**

Устройство оценки состояния дорожного (УОСД) покрытия должно проектироваться с учетом предъявляемых сформированных ранее критериев требований к разработке. Все узлы разрабатываемого устройства должны быть модульными для обеспечения простоты установки и конфигурирования готового устройства. Это подразумевает использования единого интерфейса подключения устройств, а так же протокола обмена и получения данных между управляющими узлами и периферийными устройствами. Состав измерительных устройств должен обеспечивать определение всей необходимых, для оценки состояния дорожного покрытия, параметров, но не должен быть избыточным и затруднять или замедлять работу управляющих и обрабатывающих устройств. Так же измерительная часть устройства должна обеспечивать максимальный уровень точности. Устройство должно обеспечивать привязку собранных данных к координатам глобального позиционирования, что позволит быстро и эффективно определять точное место, где были собранные данные. Работать УОСД должно в автоматическом режиме без вмешательства человека в работу системы, так же в автоматическом режиме система должна выводить экспертные оценки состоянию дорожного полотна.

Состав измерительных устройств обсуждался и был определен в присутствии сотрудников дорожных служб.

1. видеокамера используется для получения видеоряда изображения дорожного покрытия, который в дальнейшем анализируется на выявление дефектов, а так же для подготовки документов видеопаспортизации, дорог.

2. сканирующий лазерный дальномер используется для получения значений высот дорожного покрытия. Данные полученные с дальномера помогут устройству более адекватно различать наличие количество и состав дефектов дорожного покрытия.

3. цифровые гироскопы предназначены для получения цифрового значения продольных и поперечных уклонов.

4. GPS приемник используется для получения абсолютных координат глобального позиционирования. Все данные упаковываются в пакеты с определенной дискретностью. Пакет получает свой маркер с координатами от приемника.

5. ПК используется как устройства для сбора всей необходимой информации, упаковки ее в пакеты. Из полученных пакетов формируется база данных о параметрах дорожного покрытия. После окончания процесса сбора данных на компьютере происходит процесс анализа собранных данных, по результатам которой выносятся оценки общему состоянию дорожного покрытия, безопасности движения и безопасности для автомобиля. Так же по результатам анализа собранной информации автоматически формируется отчетная документация.

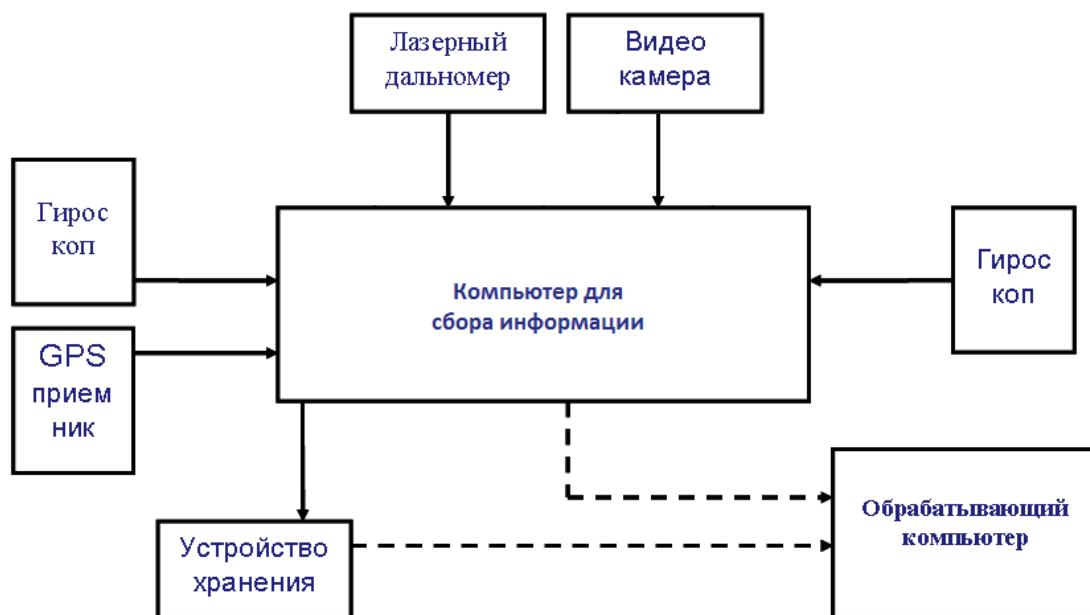


Рис. 2. Структурная схема устройства оценки состояния дорожного покрытия

6. устройство хранения информации. Вся собранная информация, а так же результаты ее анализа записывается для удобства на съемном носителе.

Структурная схема устройства оценки состояния дорожного покрытия представлена на рис 2.

### Заключение

Предлагаемое устройство отвечает все требованиям, предъявляемым к устройствам данного типа. В отличие от имеющихся аналогов оно реализует новый метод анализа видеоизображения дорожного полотна на основании двух данных источников информации видеокамеры и сканиру-

ющего дальномера, что существенно снизит количество ошибок связанных с распознаванием видео образов. Система имеет встроенную экспертную систему для вынесения оценок исследуемому участку дороги. Данное устройство существенно упростит процесс исследования состояния автомобильных дорог, для диагностики разрушений и дефектов дорожного покрытия, а так же подготовит всю необходимую документацию. Система поможет быстрее и качественнее анализировать состояние дороги при снижении трудозатрат экспертного отдела. Данное устройство необходимо при сдаче дороги в эксплуатацию, для оценки ее состояния, и на всем протяжении эксплуатации дороги, для оценки ее динамического изменения.

### Литература:

1. Осин М.С. Дороги России-»Российская газета» — Специальный выпуск №5314
2. Пospelов. П.И. Дороги — Большая Российская энциклопедия Т.9. — с. 285
3. <http://ru.wikipedia.org/wiki/Дорога> «Дорога»
4. <http://www.atlasmetr.com/index.pl?act=PRODUCT&id=348> «Рейка дорожная универсальная РДУ-КОНДОР»
5. <http://www.gisinfo.ru/projects/29.htm> «Программно-аппаратный комплекс видеопаспортизации дорог «СВПД»»
6. [http://www.promspravka.com/catalog/D/M/34/1/10/5/54/910/3/Podemniki\\_48.html](http://www.promspravka.com/catalog/D/M/34/1/10/5/54/910/3/Podemniki_48.html) «Передвижной диагностический комплекс»
7. <http://www.rdt.ru/taxonomy/term>

## 4. ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

### Исследование несинусоидальных периодических цепей переменного тока в различных программных средах

Касимова Ботакоз Рахметоллаевна, кандидат технических наук, доцент

Баксултанов Дархан Ерсайинович, студент

Евразийский национальный университет им Л.Н. Гумилева (г. Астана, Казахстан)

*Данная работа посвящена вопросам компьютерного моделирования электротехнических схем различными компьютерными средствами. Проведено сравнение между редактором Multisim 11 и прикладным пакетом MatLab. Отмечены достоинства и недостатки методов создания компьютерных приложений. С использованием разных средств программирования проведена оценка эффективности построения модели. В качестве примеров рассмотрены ряд модели цепей, в которых используются методы анализа Фурье.*

**Ключевые слова:** математическая модель, моделирование, анализ, анализ Фурье, спектральная характеристика, Multisim, MatLab, SimuLink.

#### Введение

Современная эпоха характеризуется феноменом глобализации, одним из аспектов которого является информационная индустрия. Наиболее ярким продуктом информационной индустрии выступает глобальная компьютерная сеть. В этой связи можно говорить об информационных технологиях получения новых знаний, как в естественнонаучных, гуманитарных, так и технических областях знаний. К такого рода информационным технологиям относятся методологии компьютерного моделирования и проектирования, вычислительного эксперимента, программирования, а также концепция виртуальной реальности.

Анализ современных тенденций в методологии производства научного знания показывает значительное усиление роли метода моделирования и сквозного проектирования.

В настоящее время в образовательном процессе и для решения научных задач широко используются программные пакеты компании National Instruments. National Instruments является ведущим предприятием в области разработки и изготовлении аппаратно-программных средств автоматизации управления, измерения и диагностики в широком спектре приложений. Компания National Instruments является разработчиком виртуальных приборов — инновационной технологией, которая в корне изменила методику проведения диагностики и создания систем автоматизации. [2, с. 15]

В данной статье выполнено сравнение компьютерных моделей, построенные в среде программирования Multisim 11 и MatLAB. В качестве примеров использованы

модели цепей сосредоточенными параметрами, в которых используются основные методы анализа.

#### Основная часть

Разработка любого устройства сопровождается, как правило, физическим или математическим моделированием. Физическое моделирование связано с большими материальными затратами, поскольку требуется изготовление макетов и их исследование, которое может быть весьма трудоемким. Поэтому часто применяют математическое моделирование с использованием средств и методов вычислительной техники. Одной из таких программ является электронная система моделирования Multisim, отличающаяся простым и легко осваиваемым пользовательским интерфейсом. Широкое распространение Multisim получила в средних и высших учебных заведениях, где она используется в учебных целях в качестве лабораторного практикума по целому ряду предметов (физика, основы электротехники и электроники, основы вычислительной техники и автоматики и др.). [5, с. 15]

В электронной системе Multisim имеется несколько разделов библиотеки компонентов, которые могут быть использованы при моделировании.

Панель контрольно-измерительных приборов содержит цифровой мультиметр, функциональный генератор, двухканальный осциллограф, измеритель амплитудно-частотных и частотных характеристик, генератор слов (кодированный генератор), 8-канальный логический анализатор и логический преобразователь, а также некоторые другие приборы (например, виртуальные мульти-

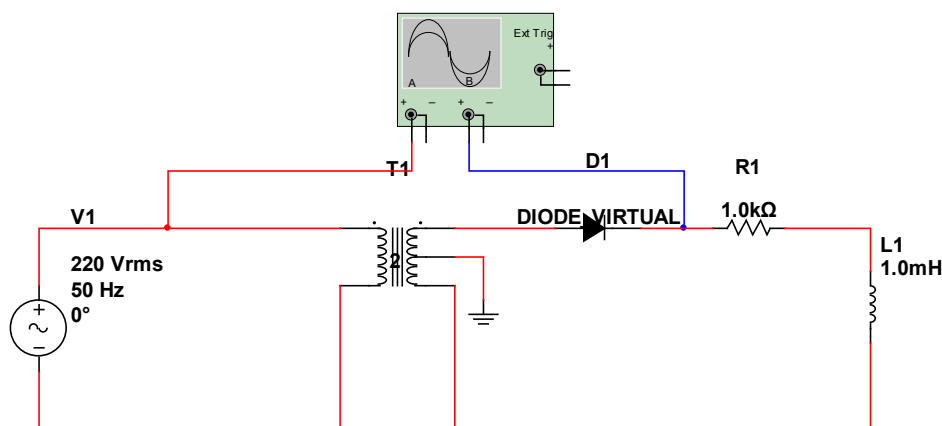


Рис. 1. Схема преобразования входного напряжения

метр, функциональный генератор, осциллограф фирмы Agilent). [3, с. 35]

В данной статье в качестве примера рассмотрен анализ Фурье выполненный редакторами Multisim 11 и MatLAB. Для начала рассмотрим анализ Фурье выполненный в программе Multisim 11.

#### Analysis Fourier в редакторе Multisim 11

Функция Analysis Fourier позволяет определить, какие составляющие ряда Фурье образуют сигнал, и вычислить степень его искажения.

Рассмотрим схему изображенная на рисунке 1. В данной цепи мы имеем: синусоидальный ЭДС, трансформатор, резистор, индуктивная катушка и диодный выпрямитель. Из — за наличия диода в цепи, происходит искажение входного сигнала.

Из курса электротехники известно, что при преобразования сигнала, выпрямители вносят значительные искажения. Кривая входного напряжения представляла собой синусоиду с частотой 50 Гц, а кривая выходного по форме отличается от синусоиды.

С помощью двухканального осциллографа можно контролировать форму искаженного сигнала. (рис. 2)

С данной осциллограммы можно заметить, что первоначальный сигнал был искажен. В результате преобразования на выходе диодной схемы получается пульсирующее напряжение вдвое большее частоты напряжения на входе. Благодаря анализу Фурье, мы можем разложить данную функцию на синусоидальные кривые с различными частотами и фазами углами.

Результаты анализа отображаются в виде текста, а также на графике. Результаты в виде текста дают нам на более подробную информацию (рис. 3)

Данные результаты дают нам достаточную информацию, для того чтобы разложить нашу функцию в ряд Фурье. Стоит отметить, что в данном анализе рассчитывается коэффициент гармонического искажения (THD). По

результатам анализа коэффициент искажения составляет 22,5%. Коэффициент гармонического искажения определяется следующей формулой: [3, с. 396]

$$K_H = THD = \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + U_4^2 + \dots + U_n^2}}{U_1}$$

Результаты анализа Фурье показывают, что амплитуда кривой при частоте 100Гц составляют 33,01В, а при частоте 200Гц равна 6,6В. Используя эти сведения, рассчитаем напряжение:

$$u = 49,5 + 33,01\sin(2 \cdot \pi \cdot 100t - 90^\circ) + 6,6\sin(2 \cdot \pi \cdot 200t - 90^\circ) + 2,8\sin(2 \cdot \pi \cdot 300t - 90^\circ) + \dots$$

А теперь, обратим внимание на результаты, отображенные в виде графика: (рис. 4)

График показывает, что сигнал состоит из пяти частот, некоторые частоты очень малы, чтобы можно было их увидеть на графике.

#### FFT Analysis – быстрое преобразование Фурье (БПФ) в среде Simulink

Simulink — это графическая среда имитационного моделирования, позволяющая при помощи блок-диаграмм в виде направленных графов, строить динамические модели, включая дискретные, непрерывные и гибридные, нелинейные и разрывные системы. Интерактивная среда Simulink, позволяет использовать уже готовые библиотеки блоков для моделирования электросиловых, механических и гидравлических систем, а также применять развитый модельно-ориентированный подход при разработке систем управления, средств цифровой связи и устройств реального времени. Дополнительные пакеты расширения позволяют решать весь спектр задач от разработки концепции модели до тестирования, проверки, генерации кода и аппаратной реализации. Simulink интегрирован в среду MATLAB, что позволяет использовать встроенные математические ал-

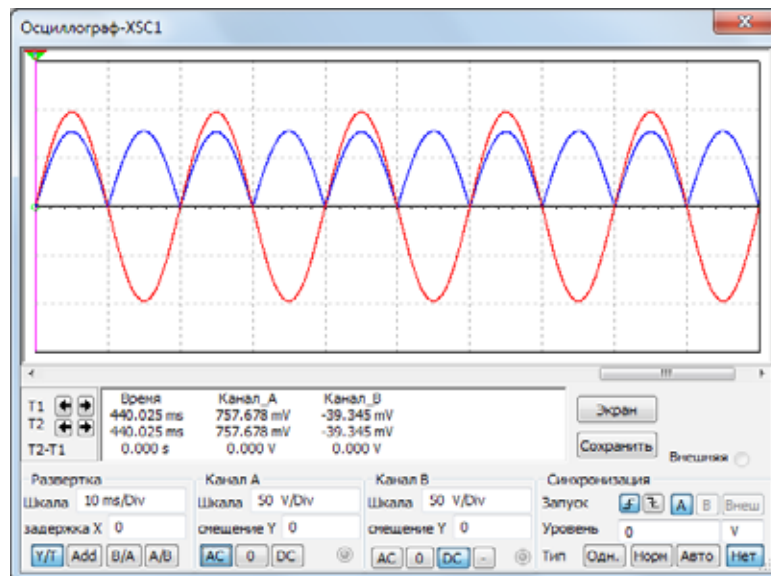


Рис. 2. Осциллограмма напряжений

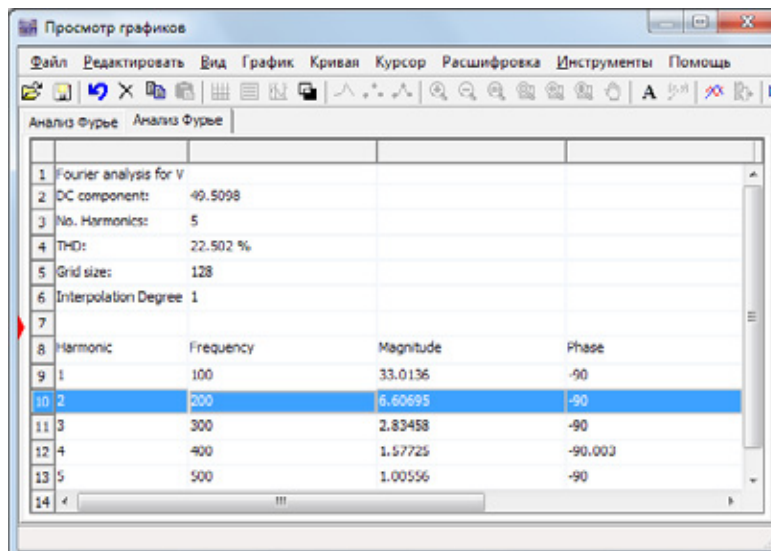


Рис. 3. Результаты анализа в виде текста

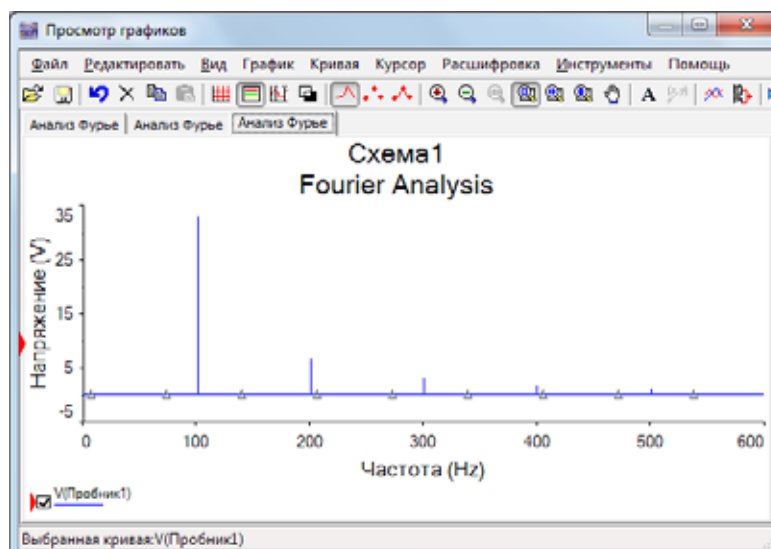


Рис. 4. Амплитудно-частотный спектр



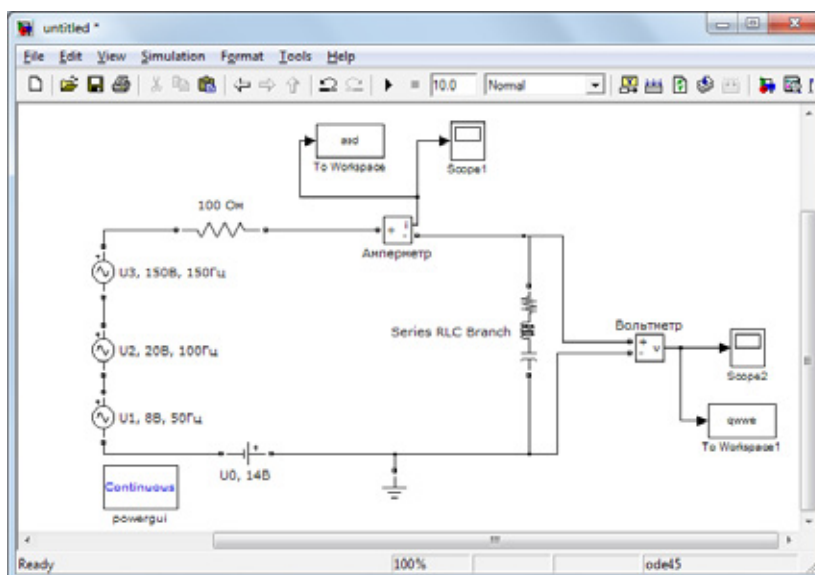


Рис. 5. Схема собранная в Simulink

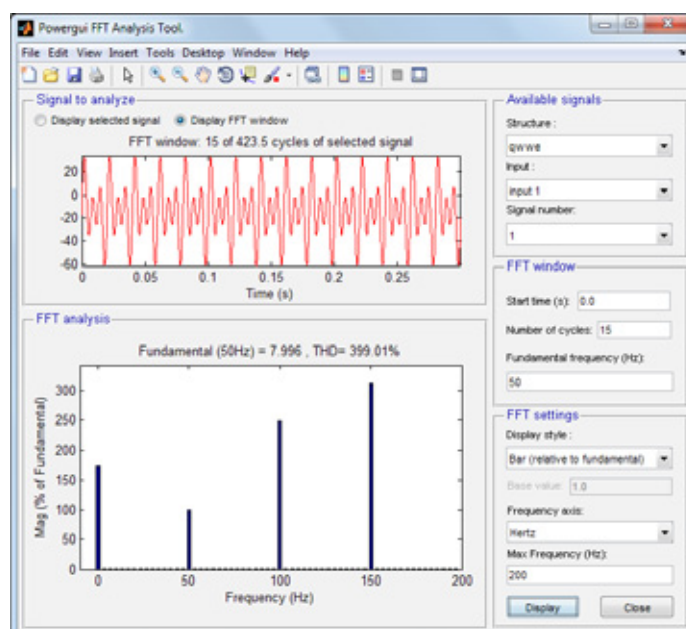


Рис. 6. Результаты анализа FFT

горитмы, мощные средства обработки данных и научную графику. [2, с. 70]

В данной схеме мы создадим несинусоидальный сигнал, с помощью тремя синусоидальными ЭДС разной частоты и амплитуды, и одним источником постоянного напряжения. (5 рис.)

Для проведения Анализа Фурье необходимо предусмотреть вывод исследуемых сигналов в рабочую область MATLAB. Для этого можно настроить осциллограф Scope. Расчитываем модель, после этого как необходимо открыть окно блока Powergui и нажать кнопку FFT Analysis – быстрое преобразование Фурье. После этого откроется окно Powergui FFT Tools, в котором необходимо нажать кнопку Display для отображения результатов. Настройка процедуры гармонического анализа выполняется

с помощью параметров задаваемых в окне Powergui FFT Tools. [4, с. 35]

Фурье анализ предназначен для перевода временного сигнала в частотный. Это позволяет проанализировать сигнал более детально.

### Заключение

В ходе работы в среде Multisim 11 мы использовали функцию Analysis Fourier. С помощью чего, мы разложили несинусоидальную периодическую функцию в ряд Фурье, а также получили амплитудно-частотный спектр. Данная программа имеет понятный пользовательский интерфейс и возможность работы с файлами. По пользованию программой имеется достаточно подробная справка.

Надежность алгоритмов подтверждена идентичными результатами, полученными в широко распространенной среде математического моделирования MatLab. В прикладном пакете MatLab имеется библиотека Simulink, предназначенная для моделирования динамических систем, модели которых состояются из отдельных блоков (компонентов).

Результатом работы явилась проведение анализа

Фурье для несинусоидальных периодических функций различными средствами программирования. Результаты анализа были отображены в качестве таблицы, а также с помощью графика. Рассмотренные нами программные средства являются относительно простыми, универсальными, набор встроенных функций позволяют на их основе создавать модели, применяемые в различных областях.

#### *Литература:*

1. Дьяконов В.П. Simulink 5/6/7: Самоучитель. — М.: ДМК-Пресс, 2008. — 784 с. : ил.
2. Лурье М.С., Лурье О.М. Применение программы MATLAB при изучении курса электротехники. Для студентов всех специальностей и форм обучения. — Красноярск: СибГТУ, 2006. — 2008 с.
3. Хернтер Марк Е. Multisim 7: Современная система компьютерного моделирования и анализа схем электронных устройств. (Пер. с англ.) / Пер с англ. Осипов А.И. — М.: Издательский дом ДМК-Пресс, 2006. — 488 с. : ил.
4. Черных И.В. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB. SimPowerSystems и Simulink. — М.: ДМК-Пресс, 2007. — 288 с., ил.
5. Multisim. Руководство пользователя. National Instruments Corporation, 2007.

## 5. ЭНЕРГЕТИКА

### Расчет работы твердооксидных топливных элементов в составе комбинированных ГТУ

Лоскутников Александр Александрович, кандидат технических наук, доцент;

Сенюшкин Николай Сергеевич, кандидат технических наук, доцент;

Горюнов Иван Михайлович, кандидат технических наук, профессор;

Ялчибаева Лилия Ренатовна, студент

Уфимский государственный авиационный технический университет

В связи с ростом цен на энергоносители, все большее значение приобретают работы по повышению КПД энергоустановок. Тем более что даже незначительный рост КПД, при длительном сроке эксплуатации дает существенную экономию ресурсов.

Для повышения КПД энергоустановок (ЭУ) на базе ГТД разрабатываются и создаются комбинированные ЭУ (КЭУ), различной степени сложности. В последнее время в такие КЭУ активно внедряются топливные элементы (ТЭ), которые в перспективе могут обеспечить КПД ЭУ до 80 % [7,8].

ТЭ — это устройство, в котором химическая энергия топлива (восстановителя) и окислителя, непрерывно и раздельно подводимых к электродам, непосредственно превращается в электрическую энергию.

В отличие от обычного гальванического элемента электроды в ТЭ в процессе работы не изменяются, так как окислители и восстановители в состав электродов не входят. Вследствие этого ТЭ в основном работает в стационарном режиме.

Принцип действия ТЭ состоит в том, что при пропускании кислорода и водорода через пористые трубки, находящиеся в сосуде со щелочным электролитом, происходит соединение атомов водорода с гидроксильным остатком ОН, полученным в результате распада электролита на ионы и остаток ОН. При этом образуется вода, и высвобождаются электроны [5].

В то же время на положительном электроде происходит соединение кислорода с водой и образование гидроксильного остатка ОН.

В качестве отрицательного электрода может служить не только водород, но и любое углеводородное топливо (метан, водяной газ, природный газ, окись углерода и другие). Положительным электродом служат кислород или воздух, а также сильные окислители.

Из множества существующих классификаций ТЭ на-

иболее удачной является классификация по типу электролита: щелочные (ЩТЭ), фосфорнокислые (ФКТЭ), протонпроводящие или твердополимерные (ТПТЭ), с расплавленным карбонатом (РКТЭ) и твердооксидные (ТОТЭ).

В ЩТЭ электролитом служит раствор КОН, рабочая температура 90...200°C. В ФКТЭ применяется 95—98 % фосфорная кислота, рабочая температура 200°C. Ионным проводником в ТПТЭ служит протонообменная мембрана, рабочая температура 80—90°C. Электролитом в РКТЭ являются расплав карбонатов щелочных металлов. РКТЭ работают при температуре 600—700°C [1,7].

Наиболее перспективными для использования в энергетике являются ТОТЭ (SOFC — Solid oxide fuel cell), особенность которых заключается в том, что электрическая проводимость электролитов на основе оксидов циркония и иттрия становится приемлемой при температуре выше 1173K. ТОТЭ также наиболее эффективны при совместной работе с газотурбинными установками (ГТУ) за счет рабочей температуры 1173—1273K.

Основным видом топлива в ТОТЭ служит водород, а окислителем — кислород воздуха. Отличительной способностью ТОТЭ является возможность производить как электроэнергию, так и высокопотенциальную теплоту, которую можно использовать в циклах ГТУ, паротурбинной установки (ПТУ) или парогазовой установки (ПГУ).

КПД по выработке электроэнергии КЭУ на базе ГТУ и ТЭ может достигать более 70 %. В настоящее время диапазон рассматриваемых мощностей таких КЭУ — от 200 кВт до 10 МВт. Крупные корпорации уже проявили интерес к таким КЭУ, продемонстрировав первые КЭУ мощностью 1 МВт (Rolls-Royce Fuel Cell Ltd развивает ТЭ пригодные для КЭУ от 20 кВт до ЭУ мегаваттного класса с КПД порядка 90 %) [7].

Для подбора оптимальной схемы включения, а также расчета основных параметров КЭУ на базе ГТУ и ТОТЭ

требуется эффективный, надежный и простой в эксплуатации модуль, способный рассчитывать параметры как отдельного ТЭ, так и КЭУ на их основе.

Известные в настоящее время математические модели и программные средства моделирования ГТД: комплексные математические модели ЦИАМ, ГРАД, GasTurb, GSP, GECAT, Ebsilon Professional, United cycle, ОГРА, АСТРА, некоторые программы, например, GasTurb, АСТРА, ОГРА — предназначены для моделирования определенных схем ГТД, другие являются универсальными и предоставляют большие функциональные возможности, обеспечивают естественную среду для создания и модификации модели.

Анализ особенностей работы ТЭ и систем математического моделирования выявил необходимость разработки алгоритма расчета ТОТЭ, который позволит достаточно точно и оперативно проводить расчеты различных схем и режимов работы КЭУ с ТОТЭ. Учет основных значимых факторов элементов ЭУ позволит осуществлять учет влияния изменения физических свойств рабочего тела на характеристики элементов КЭУ.

Топливоподготовка проходит с использованием пароводяной конверсии (ПВК) углеводородного топлива в среде водяного пара, для выделения водорода и монооксида углерода. В анодной полости ТОТЭ на трехфазной границе твердый электролит-электрод-газ происходит окисление топлива кислородом воздуха, ионизированном на трехфазной границе с катодом и прошедшем через твердый электролит в виде двухзаряженного иона. Протекают основные электрохимические реакции окисления водорода и  $CO$ , в результате которых выделяются водяной пар и  $CO_2$  [1,7].

К основным критериям оценки эффективности ТЭ согласно [7] относятся: напряжение, мощность, КПД (термический, общий, по напряжению, фарадеевский), а также генерируемая в ТЭ теплота.

Напряжение, измеряемое на зажимах работающего ТЭ, меньше ЭДС из-за наличия поляризации, падения напряжения вследствие наличия сопротивления электролита, а также разности между ЭДС и напряжением разомкнутой цепи. На основании [7] принимаем, что напряжение разомкнутой цепи равно ЭДС (для случая,

когда стационарные потенциалы равны равновесным потенциалам электродов).

Термический КПД ТЭ зависит от изменения энтропии, если оно близко к нулю, то термодинамический КПД ТЭ равен единице и практически не зависит от температуры. Термический КПД ТЭ ниже 100% в случаях, когда изменение энтропии имеет отрицательный знак. Так как энтропия газообразных веществ обычно выше энтропии твердых и жидких веществ, то основной вклад в энтропию реакции вносят газообразные реагенты и продукты реакции.

Для снижения себестоимости электрической и тепловой энергии ОАО «НПП «Мотор» создало блочно — модульную ГТЭ-10/95БМ номинальной электрической мощностью 8—10 МВт и тепловой производительностью 17—19 Гкал/час с суммарным коэффициентом использования топлива более 80% [2]. Установка ГТЭ-10/95БМ создана конвертированием авиационного двигателя Р95Ш.

Разработанная и реализованная авторами в системе математического моделирования DVIgWT математическая модель ТОТЭ — SOFC, учитывающая внутренние электрохимические процессы в ТОТЭ, с достаточной для инженерных расчетов точностью позволяет определять параметры ТОТЭ на различных режимах работы.

Адекватность описания рабочих процессов и применимость разработанной математической модели SOFC подтверждается согласованностью результатов расчетов ТОТЭ с экспериментальными данными.

Рассмотрены несколько схем повышения эффективности ГТЭ-10/95 при совместной работе с ТОТЭ:

- автономная ЭУ с ЭХГ на базе ТОТЭ;
- КЭУ на базе ГТЭ-10/95 и ЭХГ, работающем на отборе воздуха за КНД, характеризуется минимальной модернизацией исходной ГТЭ;
- КЭУ с ЭХГ, установленном вместо камеры сгорания на ГТЭ-10/95, требует значительных переделок базовой ГТЭ;
- КЭУ на базе каскада НД ГТУ и ЭХГ характеризуется значительной доработкой базовой ГТЭ.

Очевидно, что для оценки эффективности каждой представленной схемы КЭУ необходимо провести расчетные исследования ЭУ на различных режимах для сравнения основных показателей ее работы.

#### Литература:

1. Введение в термодинамику топливного элемента / В.Н. Борисов, И.Г. Лукашенко, М.А. Ахлюстин / Твердоокисленные топливные элементы: Сборник научно — технических статей. — Снежинск: Издательство РФЯЦ — ВНИИТФ, 2003. С. 9—15.
2. Газотурбинная энергоустановка ГТЭ-10/953—002. Руководство по эксплуатации и техническому обслуживанию. ГТП 953.00.0.0000РЭ. Уфа: ФГУП «НПП»Мотор», 2004. — 458 с.
3. Горюнов И.М. Структурно-параметрический синтез и анализ ГТД и ЭУ / Вестник УГАТУ. — Уфа. УГАТУ, 2008. Т. 11 №2 (29). — С. 30—38.
4. Горюнов И.М. Термогазодинамические расчеты ГТД и теплоэнергетических установок с использованием системы DVIgWT // Вестник УГАТУ, 2006. Т 7, №1 (14). С. 61—70.
5. Захаренков Е.А. Исследование и оптимизация схем и параметров гибридных электростанций на основе топливных элементов и газотурбинных установок. Автореферат на соискание ученой степени кандидата техни-

- ческих наук по специальности 05.14.01 — «Энергетические системы и комплексы». — М.: МЭИ (ТУ), 2009. — 20 с.
6. Исследование электрических характеристик планарного твердооксидного топливного элемента / Д.В. Белов, А.В. Устюгов, В.Ф. Чухарев // Твердооксидные топливные элементы: Сборник научно-технических статей. — Снежинск: Издательство РФЯЦ — ВНИИТФ, 2003. С. 334–339.
  7. Коровин Н.В. Топливные элементы и электрохимические энергоустановки. — М.: Издательство МЭИ, 2005. — 280 с.
  8. Липилин А.С. Состояние и будущее индивидуальной энергетики. Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология» №9 (77) 2009, с. 139–152.

## Испытание диэлектрических резиновых ковров. Назначение и общие требования

Мальцев Максим Сергеевич, аспирант

Иркутский государственный университет путей сообщения

**Д**иэлектрические ковры должны быть изготовлены согласно ГОСТа 4997–75.

Они применяются как дополнительное электрозащитное средство в электроустановках до и выше 1000В в закрытых электроустановках, кроме сырых помещений, а также в открытых электроустановках в сухую погоду.

В зависимости от назначения и условий эксплуатации диэлектрические резиновые ковры должны изготавливаться двух групп:

Первая — для работы при температуре от минус 15 до плюс 40°C;

Вторая — маслобензостойкая, для работы при температуре от минус 50 до плюс 80°C, при этом при плюс 80°C — не более 3000 ч.

Ковры изготавливаются толщиной  $6 \pm 1$  мм, длиной от 500 до 8000 мм и шириной от 500 до 1200 мм.

Они должны быть одноцветными и иметь рифленую лицевую поверхность.

### Электрические испытания

Проверку ковров на испытательное напряжение и ток утечки производят переменным током с частотой  $(50 \div 0,2)$  Гц при  $(25 \pm 10)$ °C и относительной влажности  $(45–75)$ % не ранее 6 ч. после вулканизации.

Испытание ковров проводят одним из трех методов.

#### Метод 1

Ковры протягиваются между металлическими валиками диаметром  $200 \pm 25$  мм, которые служат электродами. Нижний валик заземлен и приводится в движение принудительно со скоростью  $(3 \pm 0,3)$  см/с.

Верхний валик соединен с источником высокого напряжения и свободно вращается. Длина электродов должна обеспечивать испытание ковра по всей ширине, за исключением 50 мм с каждой стороны ковра.

Испытательное напряжение 20 кВ подают на электроды и снимают с них на расстоянии 50 мм от линии соприкосновения электродов до краев ковра.

#### Метод 2

Испытание проводят на коврах с размером 750x750 мм.

В металлическую ванну наливают воду, которая служит заземленным электродом. Затем испытуемый образец ковра укладывают в ванну так, чтобы края его выступали над краями ванны приблизительно на 50 мм.

На лицевую поверхность испытуемого образца наливают воду и опускают второй электрод. При этом края испытуемого образца шириной приблизительно 50 мм должны оставаться сухими.

За начало испытания принимают момент установления напряжения в 20 кВ. При этом напряжении образец выдерживают в течение 1 мин. Ток утечки должен быть не более 67 мА.

#### Метод 3

Ковер помещают между двумя плоскими электродами. Углы и боковые поверхности электродов должны быть закруглены. Радиус закругления боковой поверхности электродов должен быть равен половине толщины электрода.

Размер электродов должен быть таким, чтобы их края не доходили до краев ковра с каждой стороны на 50 мм.

Допускается применять электроды, площадь которых меньше площади ковра. В этом случае испытания проводят последовательно по всей поверхности ковра таким образом, чтобы смежные испытуемые участки поверхности ковра не подвергались воздействию испытательного напряжения более одного раза.

Переменное напряжение промышленной частоты 50 Гц плавно повышают до 20 кВ, после чего выдерживают 1 мин. Контролируют ток утечки, которая должна быть не более 160 мА/м².

В ГОСТе указано, что первый метод более предпочтителен, но его сложно реализовать. Второй метод применим только для ковров с размером 750x750 мм, а вот третий метод самый простой в эксплуатации.

Ковры, полученные для эксплуатации от заводов-изготовителей или со складов, а также после ремонта, должны быть проверены по нормам приемо-сдаточным испытаниям; в процессе эксплуатации их осматривают 1 раз в 6 мес. и непосредственно перед применением.



## Повышение эффективного использования компенсирующих устройств на промышленных предприятиях ядерной отрасли

Третьякова Елена Семеновна, аспирант

Новосибирский государственный технический университет

Отрицательные явления, связанные с генерацией и передачей реактивной мощности к промышленному предприятию, проявляются в следующих негативных экономических последствиях:

- наличие реактивной мощности приводит к необходимости завывшения сечений проводов и кабелей, выбору большей мощности трансформаторов;
- наличие реактивной мощности в электрических сетях является причиной значительного увеличения потерь активной мощности.

В настоящее время взаимоотношения между электросетевыми организациями и потребителями электроэнергии в части условий потребления реактивной мощности планируется регулировать в соответствии с новыми нормативными документами. Так, приказом Министерства промышленности и энергетики РФ от 22 февраля 2007 г. № 49 был утвержден порядок расчета значений соотношения потребления активной и реактивной мощности ( $\tan \varphi$ ) в зависимости от номинального напряжения сети, к которой присоединен потребитель. Причем при превышении договорных значений  $\tan \varphi$  предусмотрена санкция — увеличение оплаты за потребленную электроэнергию путем применения повышающего коэффициента к тарифу на услуги по передаче электрической энергии. Ранее в РАО «ЕЭС России» также был издан приказ от 11.12.2006 № 893 «О повышении устойчивости и технико-экономической эффективности распределительных электрических сетей и систем электроснабжения потребителей за счет управления потоками реактивной мощности и нормализации уровней напряжения».

Одним из важнейших аспектов этой комплексной проблемы является обоснованный выбор источников реактивной мощности, как средств компенсации реактивных нагрузок в распределительных электрических сетях. При проектировании и эксплуатации сложных систем приходится сталкиваться с одним и тем же рядом проблем, плохо пригодных для решения традиционными методами, поэтому как следствие появляются и внедряются проекты, в которых не обоснованно устанавливаются источники реактивной мощности. В качестве такого примера может служить ОАО «Ангарский электролизный химический комбинат».

ОАО «АЭХК» является достаточно энергоемким предприятием. В стоимости продукции порядка 10% составляют затраты на электрическую энергию. Схема электроснабжения приведена на рис. 1

В основном производстве используются гистерезисные двигатели (ГД) специальной конструкции, технические характеристики которых приведены в таблице 1. Из

технических характеристик следует, что компенсацию реактивной мощности таких двигателей следует предусмотреть на стадии проектирования производства, что и было сделано.

Для компенсации реактивной мощности и поддержания номинального уровня напряжения на шинах 0,4 кВ в щитах питания и шкафах конденсаторов (ШК) установлены статические конденсаторы типа ЭС-400—1,5—3УЗ или ЭМ-400—1,5—3УЗ с емкостью 18 мкФ и мощностью 27 кВар.

Для снижения несинусоидальности напряжения и компенсации реактивной мощности в сети 10 кВ используются фильтро-компенсирующие устройства (ФКУ). Схема ФКУ приведены на рис. 2.

В последние годы, когда государственные предприятия ядерной отрасли стали акционерными обществами, появилась конкуренция среди родственных предприятий за рынок сбыта. Перед комбинатом встала задача снижения себестоимости продукции. С целью снижения затрат на электроэнергию было проведено ряд мероприятий, среди которых была проанализирована работа ФКУ. Для этого были проведены испытания ФКУ для определения влияния фильтрующей части ФКУ на коэффициент несинусоидальности напряжения, измерения активной мощности, потребляемой фильтрующей частью ФКУ. Результаты измерений несинусоидальности напряжения в КРУ-10 кВ приведены в таблице 2.

В соответствии с ГОСТ 13109—97 для сетей 6—20 кВ нормально допустимое значение коэффициента несинусоидальности напряжения равно 5,0%. Из таблицы 2 видно, что отключение фильтрующих частей ФКУ не приводит к значительному увеличению коэффициентов несинусоидальности ( $K_{нс}$ ) напряжения на секциях КРУ-10 кВ и эти коэффициенты не превышают значений, определенных ГОСТ 13109—97.

Активная мощность, потребляемая фильтрующей частью одного ФКУ, составляет 10,5 кВт. Каждое ФКУ компенсирует около 750...770 кВар.

Таким образом, комбинат, отключив фильтрующие части ФКУ, в течение 2009 года сэкономил 616707 кВт/ч или 536535 руб.

Из выше сказанного можно предположить, что проектной организацией были установлены фильтрокомпенсирующие устройства по алгоритму, есть преобразователи частоты — необходимы фильтрующие устройства улучшающие коэффициент несинусоидальности напряжения, т.к. традиционными методами проектировщики не в состоянии учесть и свести в общую систему уравнений всю совокупность внешних условий.

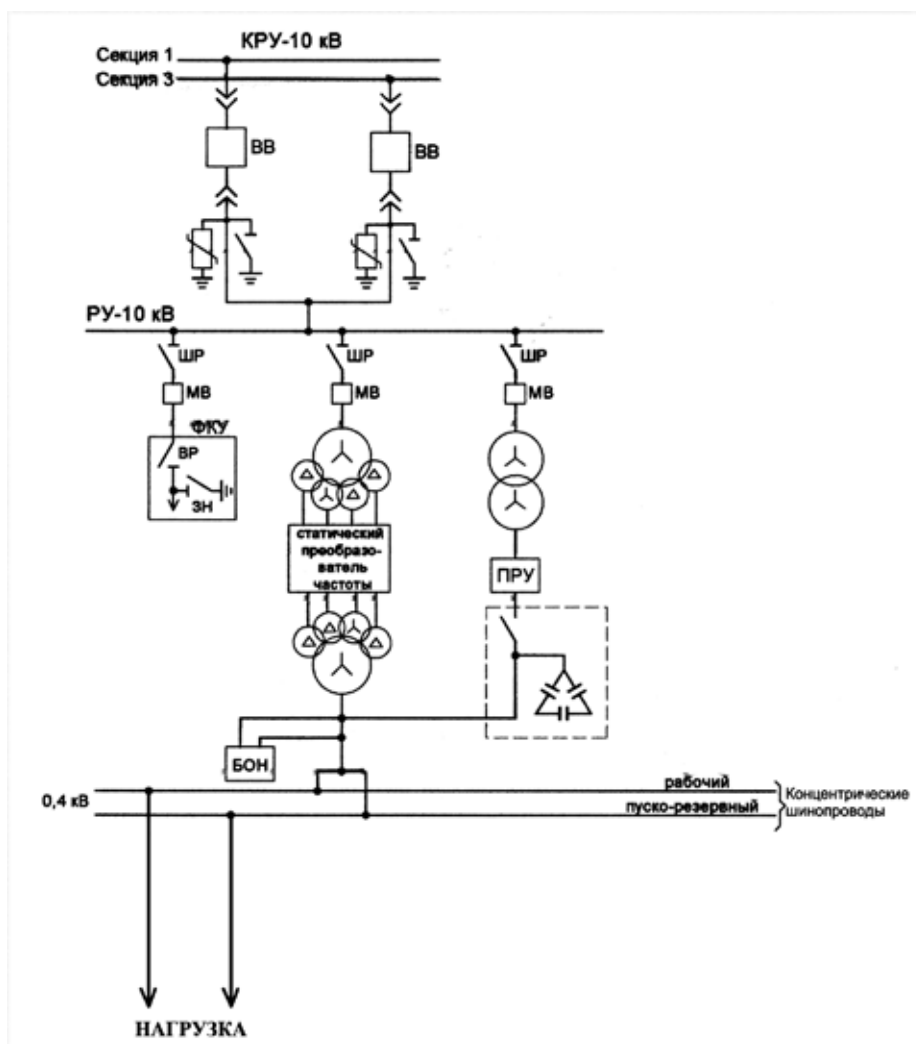


Рис. 1. Схема электроснабжения основной технологии

В связи с этим в последнее время рассматривается решение технических задач с помощью эволюционных алгоритмов. Наиболее известными из методов эволюционных вычислений являются генетические алгоритмы, получившие широкое распространение.

Генетические алгоритмы являются универсальным вычислительным средством для решения сложных математических задач. В их основу положены свойства биологических систем такие как естественный отбор, наследование потомками основных черт родителей. С математической точки зрения генетические алгоритмы — это разновид-

ность методов оптимизации, объединяющая черты вероятностных и детерминированных оптимизационных алгоритмов.

Целесообразность применения генетических алгоритмов для решения задач данного типа исходит из следующие причин: реализации простой, но достаточно эффективной схемы вычислений, возможности применения как при непрерывном, так и при дискретном характере переменных, принципиальной возможности учета ограничений, отсутствия требований к непрерывности, дифференцируемости и унимодальности критерия оптимизации,

Таблица 1

Технические характеристики ГД

Тип ГД \ Электрические параметры	«177»		«351»	
	Номинальный режим	Пусковой режим	Номинальный режим	Пусковой режим
Напряжение линейное	380 В	380 В	380 В	380 В
Ток фазы	0,21 А	0,23 А	0,16 А	0,18 А
Мощность активная	21 Вт	62,5 Вт	24 Вт	64 Вт
Коэффициент мощности ( $\cos \varphi$ )	0,164	0,43	0,275	0,55



## 7. МАШИНОСТРОЕНИЕ

### Резервы высокопроизводительного использования машинно-тракторных агрегатов

Данатаров А., кандидат технических наук; Ашыров С., ст. преподаватель  
Туркменский сельскохозяйственный университет (г. Ашгабат)

*The abovementioned characteristics allow us to determine the pulling pressure of soil cutting in course of change of position of teeth on the ripper blade during layered cutting of soil. It is known that chip loading of soil on subcritical depth is 20–25 % lower than it is at overcritical depth i.e. we may conclude that by using of this effect in blade structure we may lower the pulling pressure as compared with plain blade. We have also arrived at conclusion that following the acute influence of subsurface soil level tillage a much more solid root layer of soil is formed, that in its turn, promotes the increase of harvest of cultivated crops.*

**Key words:** инженерное конструирование; экологическая безопасность; обработка почв

Необходимость создания и поддержания оптимального агрофизического и, в особенности, структурного состояния как основы высокопроизводительного земледелия, продиктована тем обстоятельством, что почва в физическом плане представляет собой пористое тело, состоящее из твердого, жидкого и газообразного компонентов. Внутрипочвенные перемещения питательных элементов, обмен веществом и энергией с окружающей средой происходит по законам физики твердого пористого тела, находящегося в постоянном и непрерывном контакте с водой и воздухом. Различное объемное сочетание твердого, жидкого и газообразного компонентов почвы обуславливает то или иное (плохое, удовлетворительное, оптимальное) агрофизическое состояние и в этом отношении является предметом активного управления плодородием с использованием целенаправленных технологических приемов. Следовательно, основные факторы плодородия — обеспеченность растений элементами минерального питания растений, водой, воздухом и теплом находятся в прямой зависимости от физических свойств и структурного состояния почв.

Для регулирования водно-воздушного режима почвы из-за малого срока службы (2–4 года) кротовый дренаж не получил широкого применения. Однако разрушение кротового дренажа зависит не только от механического состава почв, но и их конструктивных, технологических параметров рабочего органа дренажной машины и режимов ее функционирования [5].

Обзор и анализ существующих конструкции аэрационного дренажа (АД) свидетельствует об эффективности его применения на тяжелых почвах [1,2,3,4,5]. Особенно положительное воздействие на качественный характер почвы оказывает АД на староорошаемых землях, подвер-

женным многократным проходам сельскохозяйственной техники, приводящей к образованию уплотненной подплужной зоны. Важно отметить, что в процессе нарезки АД данной конструкции кротовины склонны к заиливанию за счет фильтрационного потока через щель, сформированную ножом рыхлителя-кротователя. Основным недостатком данных конструкции является формирование кротовин непосредственно под щелью, что весьма неэффективно из-за плохой устойчивости свода кротовин фильтрационному потоку [4,5].

Для рыхления подпахотного уплотненного слоя теоретически и экспериментально исследованы и разработаны оптимальные параметры рыхлителя-кротователя. Для улучшения качества прокладки и эффективности работы аэрационного дренажа рекомендуется производить по направлению вспашки, т.е. по линии поливных борозд. Агрономелиоративный универсальный кротователь-рыхлитель новой конструкции позволил нарезать скошенные дрены смещенными относительно нож-стойки. При этом стенки кротовин имели плотное сложение ( $1,5–1,74 \text{ г/см}^3$ ), т.к. разрушение и смежные грунта в процессе формирования кротовин происходит к центру проходки. Практически наружные стенки кротовин имели плотность грунта равную монолиту, а внутренние стенки были уплотнены от  $1,5$  — до  $1,6 \text{ г/см}^3$ .

Исследования показали, что в процессе нарезки кротовин плотность грунта околосредней зоны по величине практически не отличалась от плотности монолита грунта. Полости дрен были весьма устойчивы. Качество рыхления проверялось раскрытием зоны разрушения поверхности грунта за проходом рабочего органа. Установлено, что за проходом сплошного ножа, разрушение грунта происходит в виде комьев до критической глубины резания, в

данном случае до 0,4 м, а в нижней части происходит трещинообразование. При работе ступенчатого рыхлителя разрушение грунта происходит на всю глубину резания. Однако, следует отметить, что при этом ширина разрушаемой полосы меньше на 10 см по сравнению со сплошным ножом.

Высокая эффективность этой агромелиоративного приема объясняется повышением водопроницаемости и инфильтрационных свойств почвогрунтов вследствие улучшения водно-физических свойств почв. Анализ образцов грунта на плотность, влажность, питательный режим и солевой состав проводился Байрамалийской почвенно-химической станцией, а также в аналитической лаборатории ИМиВП АСХНТ.

Раскопки дрен позволили прийти к выводу, что в почвах с тяжелым механическим составом (70–90 % глины), основной приток к дренам происходил через наружные стенки, т.к. коэффициент фильтрации грунта в междренном пространстве был менее чем в монолите. Однако, благодаря наличию двух спаренных кротовин, интенсивность поступления воды в дрена была значительно больше чем в одиночные дрена. Следует отметить, что

при данной конструкции аэрационного дренажа количество воды, отводимой дренажем по сравнению с притоком воды непосредственно через щель в дрена, уменьшилась (до 0,08–0,27 м\сут.) и практически определялось фильтрационными способностями грунта. Благодаря такой конструкции аэрационного дренажа, схема притока воды к дренам значительно изменилась, что позволило снизить градиент напора, а следовательно, и предотвратить суффозионный вынос частиц грунта.

Технология нарезки аэрационного дренажа разработана с учетом грунтовых условий и биологических требований к развитию корневой системы хлопчатника, которая основана на разрыхления подпахотных слоев и нарезке в монолите грунта перпендикулярно основному дренажу водоаккумулирующих кротовых спаренных дрен на глубину 500–600 мм и на расстояния 600–900 мм.

Таким образом, конструкцию АД следует оценивать конструкционной прочностью и фильтрационной устойчивостью. При этом устойчивость кротовых дрен в работе определяются: эффективной плотностью скелета грунта; гидродинамическим давлением; конструкционной прочностью свода кротовой дрены.

#### Литература:

1. Аверьянов, С.Ф. Борьба с засолением орошаемых земель. — М: Колос. 1978. — 240 с.
2. Бальчюнас, А.И. Кротование минеральных тяжелых почв. — Обзорная информация ЦБНТИ Минводхоза СССР. 1979. — № 14. с. 3–76.
3. Брусиловский, Ш.И. Мелиорация минеральных почв тяжелого механического состава. — Минск: Урожай. 1981. — с. 159.
4. Гришков, Э.В. О параметрах дренажа кротователя. Сб. научных труд. Разработка технологии, рабочих органов машин и орудий для строительства и эксплуатации оросительных систем. 1979. с. 62–67.
5. Досжанов, О.М., \*Досжанов, Е.О. Эффективность применения рыхлителя-кротователя для регулирования водного режима почвы. (ЮКГУ имени М. Ауезова, г. Шымкент, \*Каз НУ имени аль-Фараби, г. Алматы). 2010.

## Моделирование технологий орудий рыхлителя-кротователя в условиях Туркменистана

Данатаров А., кандидат технических наук; Ашыров С., ст.преподаватель  
Туркменский сельскохозяйственный университет (г. Ашгабат)

*It is established that influence of aeration drainage on vodno-air, salt and thermal modes of soil is shown in increase of water conductivity soil and especially arable sole horizon that the weight provides effective redistribution in thickness of a file of a ground on all its depth. Active regulation of a moisture, salts and heat in soil with presence of aeration drainage has effective influence on productivity of a cotton and especially on old irrigated heavy soils of an arid zone. Results of experimental check have confirmed analytical assumptions of efficiency of application of aeration drainage on cotton systems.*

**Key words:** Influence of aeration drainage On a vodno-salt mode of soil and productivity of a cotton.

Моделирование технологий в растениеводстве рассмотрено в работах А.Б. Лурье, М.С. Рунчева, Э.И. Липковича, П.Н. Бурченко, Г.П. Варламова, М.Е. Демидко, В.Я. Зельцера, А.В. Четвертакова, Ю.А. Уткова, А.А.Никонова, Н.Н. Походенко, В.И. Могоряну, Т.Е. Малофеева, А.М.Гатаулина и др.



Анализ этих работ показал, что они в принципе аналогичны синтезу системы отображения массива данных через однородные порции, используемого в работах В.А. Вейника, Н.П. Бусленко, В.Ф. Венды, Е.Г. Гольштейна, В.В. Наимова, Н.Н. Моисеева, М.П.Перетяткина, И.И. Кандаурова, А.Н. Зеленина, В.И. Баловнева, И.П. Керова, С. Директора, Р.Рорера, Джозефа Р. Шенфилда, Кеннета Кюнена и др. Указанными исследованиями доказано, что моделированию может быть подвержена любая проблема любой системы, если массив данных о процессах, протекающих в системе, отобразить через основной процесс, обратные связи и ограничения. Этот принцип был положен в основу разработки комплексов машин. Однако методы отображения информации в конкретных механизированных технологиях до сих пор не носят обобщающего характера [4]. Особенно это относится к технологиям аэрационного дренажа (АД) в условиях аридной зоны.

Наряду с этим формирование уплотненной околодренной зоны снижает коэффициент фильтрации. Процесс полива приводит к разрушению структурных связей в результате набухания грунта плужной уплотненной зоны. Вода при фильтрации в грунт преодолевает все виды гидравлических сопротивлений: лобовое сопротивление обтекаемых ею твердых частиц; сопротивлению трению о частицы в порах. Данные сопротивления являются тормозящими силами и на их преодоление расходуется напор. Суммарная тормозящая сила равна и прямо противоположна силе действия на частицы грунта движущейся воды. Данную силу принято называть гидродинамическим или фильтрационным напором. Таким образом, конструкцию АД следует оценивать конструкционной прочностью и фильтрационной устойчивостью. При этом устойчивость кротовых дрен в работе определяются: эффективной плотностью скелета грунта; гидродинамическим давлением; конструкционной прочностью свода кротовой дрены. Моделирование работы АД свидетельствует о том, что интенсивность поступления воды в дренаж определяется коэффициентом фильтрации и водоотдачи наддренного слоя грунта, из которого происходит сброс гравитационной воды. Известно, что при устройстве закрытой выработки с удалением грунта на большой глубине от уровня земли, поверхности скалывания не распространяются на всю толщу грунта, а соединяются между собой, образуя естественный разгружающий свод. Разгружающий свод очерчивается по параболе [5]. Применяв данное предположение к АД, определяли основные нагрузки, действующие на свод кротовой полости.

Это дало возможность предложить новую конструкцию АД. Предлагаемая конструкция АД включает две параллельные дренажные полости, сформированные в монолите грунта естественной структуры. Сохранение естественной структуры грунта вокруг дрены обеспечивает достаточную водозахватную способность и эксплуатационную надежность.

Для удовлетворения изложенных требований нами были разработаны специальные, универсальные рыхли-

тели-кротователи новой конструкции, защищенные авторским свидетельством №1751263 [1]. Для рыхления подпахотного уплотненного слоя теоретически и экспериментально исследованы и разработаны оптимальные параметры рыхлителя-кротователя. Для улучшения качества прокладки и эффективности работы АД рекомендуется производить по направлению вспашки, т.е. по линии поливных борозд. Агромелиоративный универсальный кротователь-рыхлитель новой конструкции позволил нарезать скошенные дрены смещенными относительно нож-стойки. При этом стенки кротовин имели плотное сложение ( $1,5-1,74 \text{ г/см}^3$ ), т.к. разрушение и смежные грунта в процессе формирования кротовин происходит к центру проходки. Практически наружные стенки кротовин имели плотность грунта равную монолиту, а внутренние стенки были уплотнены от  $1,5$  — до  $1,6 \text{ г/см}^3$ .

Исследования показали, что в процессе нарезки кротовин плотность грунта околодренной зоны по величине практически не отличалась от плотности монолита грунта. Полости дрен были весьма устойчивы. Качество рыхления проверялось раскрытием зоны разрушения поверхности грунта за проходом рабочего органа. Установлено, что за проходом сплошного ножа, разрушение грунта происходит в виде комьев до критической глубины резания, в данном случае до  $0,4 \text{ м}$ , а в нижней части происходит трещинообразование. При работе ступенчатого рыхлителя разрушение грунта происходит на всю глубину резания. Однако, следует отметить, что при этом ширина разрушаемой полосы меньше на  $10 \text{ см}$  по сравнению со сплошным ножом. Анализ образцов грунта на плотность, влажность, питательный режим и солевой состав проводился Байрамалийской почвенно-химической станцией, а также в аналитической лаборатории ИМиВП АСХНТ. Технология нарезки АД разработана с учетом грунтовых условий и биологических требований к развитию корневой системы хлопчатника, которая основана на разрыхлении подпахотных слоев и нарезке в монолите грунта перпендикулярно основному дренажу водоаккумулирующих кротовых спаренных дрен на глубину  $500-600 \text{ мм}$  и на расстояния  $600-900 \text{ мм}$ .

Таким образом, при выборе конструкции АД необходимо исходить из условия, что эффективная плотность грунта должна быть соизмерима по величине гидродинамическому давлению. При этом для увеличения устойчивости дрен необходимо принять меры по снижению гидродинамического давления. Следовательно, для нарезки АД и рыхления подпахотного уплотненного слоя теоретически и экспериментально исследованы и разработаны оптимальные параметры АД и глубокорыхлителя. Обоснована технология нарезки АД и рыхления подпахотного слоя глубокорыхлителем; которая позволяет улучшить агротехнические показатели работы орудий при наименьших затратах. Техничко-экономические расчеты показали, что нарезка АД позволяет снизить эксплуатационные расходы до  $30 \%$ , обеспечить оптимальной водно-воздушной режим почвы в аридной зоне и повышает урожайность хлопчатника до  $10 \text{ ц/га}$ .

*Литература:*

1. А.с. 1751263 /СССР/. Устройство для нарезки кротовин /Хоммадов К., Данатаров А. — Москва. 1992. Бюл. №28.
2. Аверьянов С.Ф. Борьба с засолением орошаемых земель. — М: Колос. 1978. — 240 с.
3. Бальчюнас А.И. Кротование минеральных тяжелых почв. — Обзорная информация ЦБНТИ Минводхоза СССР. 1979. — № 14. с. 3–76.
4. Бондарев В.А. Механико-технологические решения проблемы механизации садоводства и виноградарства Диссертация доктора технических наук Краснодар, 1997
5. Клейн Г.К. Расчет труб, уложенных в земле. — М.: Госстройиздат. — 1957. — 194 с.

## Оптимизация технологического процесса изготовления коллектора электрических машин

Дуюн Татьяна Александровна, доктор технических наук, доцент, начальник учебно-методического управления;  
Гринек Анна Владимировна, кандидат технических наук, доцент

Коллекторные электрические машины находят свое применение в различных отраслях и сферах: в металлургической, горнодобывающей, строительной, автомобильной промышленности, на железнодорожном и городском транспорте, в качестве приводов различных транспортных средств, разнообразных устройств и механизмов, в бытовых и промышленных электроприборах. Коллектор (рис. 1.) является наиболее сложным и ответственным звеном электрической машины, определяя надежность и ресурс работы этого класса машин. Это связано с особенностями конструктивного исполнения, сложным напряженно-деформированным состоянием в условиях эксплуатации и жесткими требованиями, предъявляемыми к качеству рабочей поверхности для обеспечения благоприятных условий работы скользящего контакта.

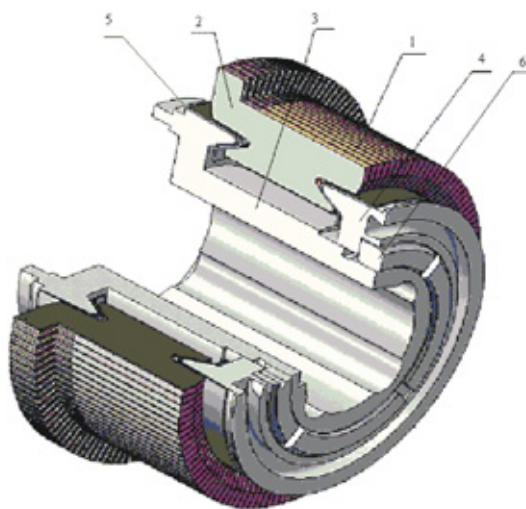


Рис. 1. Конструкция коллектора электрической машины: 1 – коллекторная пластина; 2 – изоляционная прокладка; 3,4 – передний и задний нажимные конусы; 5 – изоляционная манжета, 6 – гайка

Надежность и качество работы коллекторного узла во многом определяются технологией его изготовления, являющейся наиболее дорогостоящим и длительным этапом при производстве электрических машин. Традиционная технология имеет ряд недостатков и существенный резерв повышения эффективности, который может быть обеспечен за счет использования научно обоснованных технологических режимов и оптимизации технологического процесса.

В соответствии с вышеизложенным разработана методология оптимизации технологического процесса изготовления коллектора электрических машин, целью которой является технологическое обеспечение заданных значений вектора показателей качества при наименьших затратах труда и материальных ресурсов.

Разработанная методология включает следующие этапы:

- представление альтернативных вариантов структуры технологического процесса графом типа «дерево» (рис. 2);

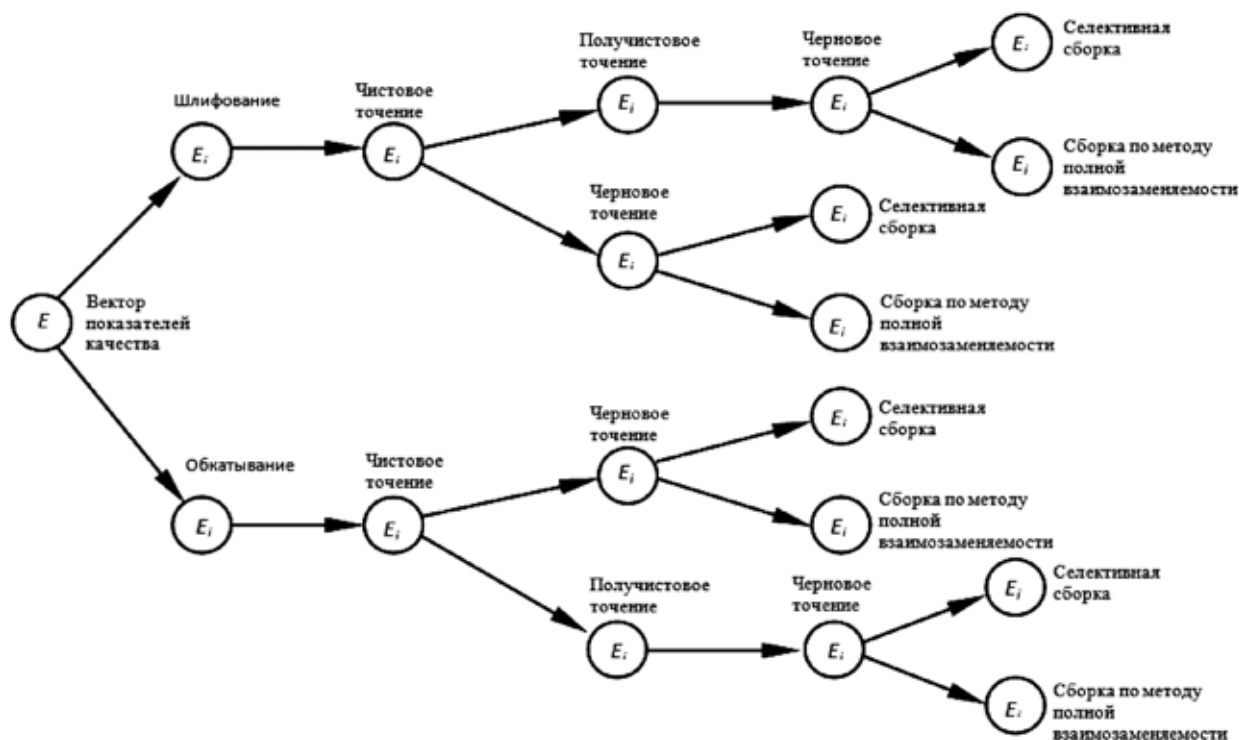


Рис. 2. Граф структурных вариантов технологического процесса изготовления коллектора:

$E$  – вектор конечных показателей качества;  $E_i$  – вектор показателей качества на  $i$ -той технологической операции

— формирование вектора выходных параметров качества изделия с учетом эксплуатационных характеристик и разработка модели изменения параметров качества в процессе выполнения операций с учетом технологической наследственности;

— обоснование технологических параметров выполняемых операций с учетом эксплуатационных нагрузок;

— формирование систем математических выражений (ограничений), отображающих взаимосвязь обеспечиваемых параметров качества при выполнении отдельных операций с технологическими параметрами, используемыми в качестве управляющих воздействий: допустимых параметров вибраций на токарных операциях, монолитности и точности формы, микрорельефа поверхности на токарных операциях, выходных параметров качества на финишной операции поверхностного пластического деформирования;

— назначение целевой функции и вида ее экстремума;

— оптимизационное решение с использованием метода динамического программирования.

Каждый структурный вариант технологического процесса (рис. 2) имеет различную производительность и себестоимость и характеризуется особой последовательностью изменения показателей качества. Целью является выбор очередности и содержания технологических операций, обеспечивающих заданные параметры качества при наименьших затратах труда и материальных ресурсов.

В качестве целевой функции принят комплексный показатель, учитывающий как производительность, так и себестоимость — суммарные затраты на реализацию технологического процесса:

$$Z = \sum_{i=1}^n C_i \Pi_i \rightarrow \min, \quad (1)$$

где  $Z$  — полные затраты, руб.;  $i$  — количество операций технологического процесса;  $C_i$  — приведенная стоимость выполнения  $i$ -той операции технологического процесса, включающая все текущие затраты, руб./мин;  $\Pi_i$  — продолжительность проведения  $i$ -той операции технологического процесса.

В качестве метода оптимизации использован алгоритм динамического программирования Беллмана в дискретной форме, который представляет собой особый математический метод, специально приспособленный к многошаговым операциям. Каждый шаг оптимизируется с учетом всех его последствий в будущем, позволяя сократить число возможных вариантов перебора с использованием правила доминирования, подразумевающего сравнение вариантов будущего развития на каждом этапе и исключения бесперспективных вариантов. Рекуррентное выражение, используемое для решения оптимизационной задачи на  $i$ -том этапе, имеет вид:

$$Z_i(x_i) = \min\{C_i \Pi_i + Z_{i+1}(x_{i+1})\}, \quad i=1, 2, \dots, n,$$

где  $Z_i(x_i)$  — затраты на проведение  $i$ -той операции, руб.;  $Z_{i+1}(x_{i+1})$  — суммарные затраты на проведение всех последующих за  $i$ -той операций, руб.;

Особенностью разработанной методологии является сочетание структурной и параметрической оптимизации с учетом условий эксплуатации и технологической наследственности. Структура технологического процесса формируется одновременно с содержанием операций. Технологические условия проведения операций оптимизируются методом линейного программирования при введении систем ограничений, обеспечивающих заданные значения параметров качества. Входными параметрами являются параметры качества, полученные на предшествующей операции и исходные условия проведения выполняемой операции, например, параметры металлорежущего оборудования, оснастки, режущего инструмента и др, управляемыми параметрами — режимы резания, выходными — параметры качества, получаемые после проведения выполняемой операции. Использование параметров качества, полученных на предшествующей операции, в качестве входных параметров управления технологической операцией позволяет учесть технологическую наследственность.

В систему ограничений для токарных операций входят: выражения, устанавливающие связь между получаемой шероховатостью поверхности и технологическими режимами; выражения, характеризующие силовые и энергетические характеристики процесса точения; выражения, обеспечивающие допустимые параметры вибраций; обеспечиваемые значения параметров качества и предельные значения технологических режимов; выражения, определяющие достигаемую точность формы обрабатываемой поверхности

$$\begin{aligned} \Delta_{\text{сум}} &\leq \Delta_{\text{доп}}, \quad \Delta_{\text{сум}} = \sqrt{3\Delta_{\text{и}}^2 + \Delta_{\text{у.д.}}^2 + 3\Delta_{\text{т.д.}}^2 + \Delta_{\text{г}}^2}, \\ \Delta_{\text{у.д.}} &= \frac{P_y (t - \Delta'_{\text{у.д.}})}{j_c}, \quad \frac{1}{j_c} = \frac{1}{j_{\text{суп}}} + \frac{1}{4} \left( \frac{1}{j_{\text{п.б.}}} + \frac{1}{j_{\text{з.б.}}} \right), \\ \Delta_{\text{и}} &= \frac{\pi D l I_0}{10^6 s}, \quad \Delta_{\text{т.д.}} \leq \Delta_{\text{т.д. доп}}, \quad \Delta_{\text{г}} \leq \Delta_{\text{г. доп}} \end{aligned} \quad (2)$$

где  $\Delta_{\text{и}}$ ,  $\Delta_{\text{уст.}}$ ,  $\Delta_{\text{у.д.}}$ ,  $\Delta_{\text{т.д.}}$ ,  $\Delta_{\text{г}}$  — соответственно погрешности износа режущего инструмента, установки заготовки, упругих и тепловых деформаций технологической системы, геометрических неточностей оборудования, мкм;  $\Delta_{\text{у.д.}}$  — погрешность формы, полученная на предшествующей операции, мкм;  $j_c, j_{\text{суп}}, j_{\text{п.б.}}, j_{\text{з.б.}}$  — соответственно суммарная жесткость технологической системы, жесткости суппорта, передней и задней бабки;  $D_k$  — диаметр коллектора, мм;  $l$  — длина обработки, мм;  $I_0$  — удельный износ инструмента, мкм/км.

Система ограничений для операции обкатывания имеет вид

$$\begin{aligned} Ra(s, v, P) &= 1,5 - 1,98 \cdot 10^{-3} \cdot P - 2,1 \cdot 10^{-5} \cdot v + 4,25 \cdot 10^{-3} \cdot s \cdot P - 3,5 \cdot 10^{-6} \cdot v \cdot P + 3,4 \cdot s^2 + 1,43 \cdot 10^{-6} \cdot P^2, \quad Ra \leq Ra_{\text{зад}}, \\ 2 &\leq \varphi \leq 3, \quad \varphi = \frac{\varphi_a + \varphi_b}{2}, \quad \varphi_a = \frac{a}{r}, \quad \varphi_b = b \left( \frac{2}{D_p} + \frac{2}{D_k} \right), \quad a = 2,6 n_a \cdot \sqrt{\frac{3}{2} \cdot \frac{\eta \cdot P}{\sum k}}, \\ b &= 2,6 n_b \cdot \sqrt{\frac{3}{2} \cdot \frac{\eta \cdot P}{\sum k}}, \quad \eta = \frac{1 - \mu_p^2}{E_p} + \frac{1 - \mu_k^2}{E_k}, \quad \sum k = \frac{2}{D_p} + \frac{2}{D_k} + \frac{1}{r}, \\ h &= h_{\text{зад}}, \quad h = \omega \sqrt{\frac{P}{2\sigma_T}}, \quad \omega = \frac{1}{1 + 0,07 R_{\text{п}}}, \quad R_{\text{п}} = \frac{1}{\sum k}, \quad N = N_{\text{зад}}, \quad N = \frac{2 \cdot a}{s}, \\ v_{\text{min}} &\leq v \leq v_{\text{max}}, \quad s_{\text{min}} \leq s \leq s_{\text{max}}, \quad P_{\text{min}} \leq P \leq P_{\text{max}}. \end{aligned} \quad (3)$$

где  $Ra_{\text{зад}}$  — заданное значение шероховатости поверхности;  $r$  — профильный радиус ролика, мм;  $D_p$  — диаметр ролика, мм;  $n_a, n_b$  — коэффициенты формы контакта;  $P$  — усилие обкатывания, Н;  $\mu_p, \mu_k, E_p, E_k$  — коэффициенты Пуассона и модули упругости материалов ролика и коллектора соответственно;  $N_{\text{зад}}$  — заданное количество циклов обкатывания;  $h_{\text{зад}}$  — заданная глубина упрочненного слоя;  $v_{\text{min}}, v_{\text{max}}, s_{\text{min}}, s_{\text{max}}, P_{\text{min}}, P_{\text{max}}$  — соответственно минимально и максимально допустимые значения скорости обкатывания, подачи и усилия обкатывания.

В систему входят обеспечиваемые параметры качества, геометрические и физико-механические параметры обрабатываемого изделия и накатного инструмента, допустимые интервалы изменения технологических режимов, функции параметров качества, выраженные через технологические режимы. При необходимости в систему могут быть включены и другие ограничения.

При использовании разработанного алгоритма оптимизации для коллектора электродвигателя ДПЭ-52 (рабочий диаметр 250 мм) получены следующие результаты: сокращение затрат за счет исключения кругло-шлифовального станка и повышения стойкости накатного инструмента по сравнению с абразивным в 15 раз; сокращение времени за счет исключения операции полустогового точения, совмещения операций чистового точения и обкатывания, исключения селективной сборки при обосновании точности изготовления коллекторных пластин, обоснования времени технологического нагрева; сокращение основного времени выполнения финишной операции в 7 раз при замене шлифования на обкатывание и основного времени выполнения операции чистового точения в 15 раз за счет изменения обеспечиваемой шероховатости и режимов резания с  $Ra1,25$ ,  $s=0,05$  мм/об,  $v=80$  м/мин,  $r=1,5$  мм на  $Ra1,6$ ,  $s=0,2$  мм/об,  $v=310$  м/мин,  $r=3$  мм; уменьшение погрешности износа инструмента в 4 раза с 15,4 мкм до 3,85 мкм (инструментальный материал ВКЗ).

#### Литература:

1. Технологическая наследственность в машиностроительном производстве / А.М. Дальский, Б.М. Базров, А.С. Васильев и др.; Под ред. А.М. Дальского. М.: Изд-во МАИ, 2000. — 364 с.
2. Технологические основы управления качеством машин / А.С. Васильев, А.М. Дальский, С.А. Клименко, Л.Г. Полонский, М.Л. Хейфец, П.И. Ящерицын. М.: Машиностроение, 2003. 256 с., ил

## Повышение энергетических и экономических показателей дизеля применением систем регулирования газотурбинным наддувом

Терещенко Евгений Сергеевич, адъюнкт;

Шабалин Денис Викторович, адъюнкт

Омский танковый инженерный институт им. Маршала Советского Союза П.К. Кошерева филиал Военного учебно-научного центра Сухопутных войск «Общевойсковая академия ВС РФ» г. Омск)

Для гусеничных и колёсных машин характерен переходный режим — разгон с малой до максимальной скорости движения. Время разгона зависит от величины избыточной мощности, развиваемой дизелем в период разгона, которая затрачивается на увеличение кинетической энергии машины в процессе повышения скорости движения. Минимальное время разгона достигается при работе дизеля по динамической внешней скоростной характеристике. Минимальное время разгона  $\tau_{раз}$  больше теоретического  $\tau_T$ , так как момент, развиваемый ДВС при разгоне, меньше, чем на установившихся режимах работы на внешней характеристике при равных угловых скоростях коленчатого вала двигателя [1].

Приспособленность дизеля с газотурбинным наддувом к режиму разгона зависит от интенсивности изменения угловой скорости ротора турбокомпрессора [5].

Широкое внедрение в практику дизелестроения газотурбинного наддува для форсирования двигателей заставило обратить внимание на значительное ухудшение их динамических качеств. Это привело к активным исследованиям в данной области.

Существует реальная научная задача, состоящая в решении противоречий между:

а) необходимостью повышения эффективности использования энергии сжигаемого топлива, а также повышением энергетических и экономических показателей дизеля на переходных режимах разгона с одной стороны;

б) необходимостью затрат дополнительной энергии с целью сокращения времени разгона ротора турбокомпрессора на переходных режимах разгона дизеля с другой стороны.

Поэтому весьма перспективным становится направление по использованию энергии аккумулированных отработавших газов в компенсационном ресивере с целью подачи их дополнительно на турбину турбокомпрессора при переходном режиме разгона. Примером реализации этого направления является система воздухообеспечения дизеля с компенсационным ресивером.

Таким образом, применение системы воздухообеспечения с компенсационным ресивером на дизеле с газотурбинным наддувом может обеспечить сокращение времени его разгона, повышение энергетических и экономических показателей работы дизеля на переходном режиме разгона.

На основании этого сформулирована рабочая гипотеза исследования — повышение энергетических и эко-



номических показателей работы дизеля с газотурбинным наддувом на переходных режимах разгона может быть обеспечено применением системы воздухообеспечения с компенсационным ресивером за счет подачи на турбину дополнительных ОГ, которые были накоплены в ресивере на режиме торможения дизеля.

Установлено, что переходный процесс имеет три фазы. Первая — от момента увеличения нагрузки до момента установления полной подачи топлива. Ее продолжительность составляет 11 % от общей продолжительности переходного процесса и определяется временем запаздывания регулятора. Вторая фаза продолжается до наступления равенства моментов двигателя и нагрузки. Ее длительность 18 %. В этот период коэффициент избытка воздуха  $\alpha$  достигает минимального значения, а температура отработавших газов  $T_{ог}$  максимальной величины. Третья фаза характеризуется восстановлением частоты вращения коленчатого вала двигателя до номинального значения. Она наиболее продолжительная — 81 % и определяется интенсивностью разгона ротора турбокомпрессора [4].

Турбокомпрессор связан с дизелем посредством газодинамической связи, частота вращения его ротора и количество свежего заряда воздуха на переходных режимах не зависят от частоты вращения коленчатого вала дизеля. При работе дизеля с частотой вращения коленчатого вала, соответствующей холостому ходу, давление надвучного воздуха во впускном трубопроводе после компрессора мало. В случае перехода дизеля с режима холостого хода на режим средних и полных нагрузок, необходимо сначала вывести ротор турбокомпрессора на более высокую частоту вращения, за счёт увеличения поступления отработавших газов на турбину.

Разгон коленчатого вала дизеля осуществляется с частоты вращения, соответствующей холостому ходу, до частоты вращения при максимальном крутящем моменте, что требует максимального изменения частоты вращения ротора турбокомпрессора.

Ускорение частоты вращения ротора турбокомпрессора зависит от полярного момента инерции массы ротора турбокомпрессора  $J_{тк}$  и избыточного момента турбины относительно момента компрессора  $\Delta M_{т}$ . Исходя из выражения  $\frac{d\omega_{тк}}{dt} = \frac{\Delta M_{т}}{J_{тк}}$ , получим [134, 138]:

$$\frac{dn_{тк}}{dt} = \frac{1}{2\pi} \frac{\Delta M_{т}}{J_{тк}}, \quad (1)$$

Кинетическая энергия ротора турбокомпрессора  $E_K$  при частоте вращения или соответственно угловой скорости  $\omega_{тк}$  определяется уравнением:

$$E_K = \frac{J_{тк} \omega_{тк}^2}{2}. \quad (2)$$

Продолжительность разгона ротора турбокомпрессора из состояния покоя может быть получена путём деления кинетической энергии ротора турбокомпрессора на интеграл избыточного момента, требуемого для достижения

угловой скорости  $\omega_{тк}$ . Однако разгон, как правило начинается не от  $\omega_{тк} = 0$ , а от частоты вращения ротора турбокомпрессора, соответствующей исходной нагрузке, от которой начинается процесс разгона.

Определение интеграла избыточного момента и ускорения сопряжено со значительными затратами по времени на вычисления, поэтому используется уравнение, приведённое К. Циннером для сравнения инерционности турбокомпрессоров [4]:

$$B = \frac{J_{тк} \omega_{тк}^2}{G_{ог.т} L_{т.ад} \eta_{т} \eta_{к}}, \quad (3)$$

где  $B$  — показатель разгона ротора ТК;

$G_{ог.т}$  — расход отработавших газов через турбину, кг/ч;

$L_{т.ад}$  — адиабатическая работа турбины, Дж;

$\eta_{т} \eta_{к}$  — коэффициент полезного действия турбины и компрессора.

Также в работе [5] указывается, что значение произведения  $B \cdot \eta_{к}$  соответствует времени разгона  $\tau_{раз}$  ротора турбокомпрессора до заданной частоты вращения  $\eta_{тк}$ .

Проведём анализ уравнения разгона ротора турбокомпрессора (3). Чем больше показатель разгона ротора турбокомпрессора  $B$ , тем хуже приёмистость дизеля. Числитель уравнения представляет кинетическую энергию ротора. Для уменьшения показателя  $B$  и обеспечения быстрого разгона ротора турбокомпрессора величина кинетической энергии ротора, должна быть, как можно меньшей. Этого возможно достичь снижением момента инерции ротора  $J_{тк}$ , которое может быть обеспечено конструктивно, применением колёс ротора малого диаметра и изготовлением их из лёгких материалов.

Также для сокращения величины показателя  $B$ , и тем самым сокращения времени переходного режима разгона ротора турбокомпрессора, количество отработавших газов на турбине турбокомпрессора  $G_{ог.т}$  и величина адиабатической работы турбины  $L_{т.ад}$  при данной угловой скорости  $\omega_{тк}$  ротора ТК должны быть по возможности максимальной величины. Показатели знаменателя  $G_{ог.т}$  и  $L_{т.ад}$  зависят соответственно от давления  $P_{т}$  отработавших газов на турбине турбокомпрессора на переходном режиме разгона дизеля [4, 5]. Если создать большее давление  $P_{т}$  отработавших газов на турбине турбокомпрессора, то показатели знаменателя уравнения (3)  $G_{ог.т}$  и  $L_{т.ад}$  возрастут, и тем самым величина показателя  $B$  уменьшится. Следовательно, время разгона ротора турбокомпрессора сократится, и в результате этого произойдёт более быстрое увеличение давления  $P_{к}$  воздуха во впускном трубопроводе после компрессора на переходном режиме разгона дизеля.

Это предложение может быть выполнено применением системы воздухообеспечения дизеля с компенсационным ресивером [2]. Принцип работы данной системы заключается в следующем: при торможении машины, отработавшие газы накапливаются в компенсационном ресивере, а при режиме разгона дизеля, дополнительные

отработавшие газы из компенсационного ресивера поступают на турбину, тем самым увеличивается давление  $P_T$  и количество отработавших газов перед турбиной турбокомпрессора.

В результате, предполагается сокращение времени разгона ротора турбокомпрессора на 8–12% [3, 5], а также увеличение скорости нарастания давления  $P_K$  воз-

духа во впускном трубопроводе, тем самым в цилиндры дизеля поступит большее количество свежего заряда воздуха. Это приводит к улучшению протекания рабочего процесса дизеля, к сокращению дымления и расходу топлива, тем самым произойдёт повышение энергетических и экономических показателей работы дизеля с газотурбинным наддувом на переходном режиме разгона.

#### Литература:

1. Орлин, А.С. Двигатели внутреннего сгорания. Теория рабочих процессов поршневых и комбинированных двигателей [Текст] / А.С. Орлин, Д.Н. Вырубов, В.И. Ивин, М.Г. Круглов. — М.: Машиностроение, 1971. — 400 с.
2. Пат. на полезную модель № 101093 «Система управления турбокомпрессором с ресивером транспортного дизеля» [Текст] / Е.С. Терещенко, В.В. Руднев, Д.Ю. Фадеев, Н.Е. Александров — Приоритет 05.04.2010, опубл. 10.01.2010. — Бюл. № 1.
3. Терещенко, Е.С. Повышение качества переходных процессов дизеля с газотурбинным наддувом применением системы управления турбокомпрессором [Текст] / Е.С. Терещенко // Перспективные направления развития науки. Сборник научных статей. — 2011. — № 1. — С. 27–31.
4. Циннер, К. Наддув двигателей внутреннего сгорания. Aufladung von Verbrennungsmotoren: Перевод с немецкого [Текст] / К. Циннер. — Л., Машиностроение, 1978. — 264 с.
5. Шароглазов, М.Ф. Двигатели внутреннего сгорания и расчёт процессов [Текст] / Б.А. Шароглазов, М.Ф. Фарофонов, В.В. Клементьев. — Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2006. — 382 с.

## Оценка надежности трубопроводов, прокладываемых в промерзающих пучинистых грунтах

Цапурин Константин Александрович, соискатель;

Скворцов Юрий Васильевич, кандидат технических наук, доцент;

Глушков Сергей Валериевич, ассистент

Самарский государственный аэрокосмический университет им. акад. С.П. Королева

Криогенное пучение обусловлено теплофизическими и физико-механическими закономерностями промерзания грунтов. Характер процесса изменяется как в пространстве, так и во времени, поэтому получила распространение точка зрения на криогенное пучение как на стохастический процесс [1]. Достаточный уровень безопасности по отношению к таким случайным природным воздействиям должен обеспечиваться ещё на стадии проектирования.

В качестве объекта исследования выбирается газопровод из стали 13Г1С-4 (к54), который имеет наружный диаметр  $D = 720$  мм и толщину стенки трубы  $t = 14$  мм. Для аппроксимации диаграммы деформирования мате-

риала используется методика, предложенная А.Б. Айнбиндером [2]. При этом зависимость  $\sigma - \varepsilon$  схематично представляется в виде трех функций, соответствующих участкам упругой работы, упруго-пластической работы и упрочнения

В работе [3] представлены результаты экспериментального исследования поведения мёрзлого грунта при различных скоростях деформирования. Для пучения можно воспользоваться данными при невысоких скоростях. Для определения жесткостных характеристик грунта в вертикальном направлении (вверх и вниз) проводится решение плоской задачи механики деформируемого твёрдого тела с использованием МКЭ-пакета ANSYS. При мо-

Таблица 1

Жесткостные характеристики мёрзлого грунта

Направление	Жесткость, Н/мм <sup>2</sup>	Предельная сила, Н/мм
Осевое (продольное)	0,523	2,615
Вверх	87,31	648,7
Вниз	117,28	762,3

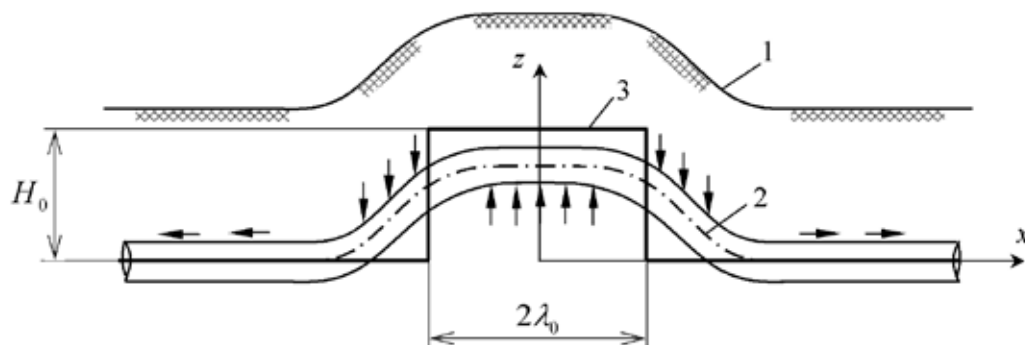


Рис. 1. Взаимодействие трубопровода с единичным бугром пучения:  
1 – земная поверхность; 2 – изогнутая ось трубопровода; 3 – невозмущенный профиль пучения

делировании жесткости грунта в осевом (продольном) направлении коэффициент трения между мёрзлым грунтом и трубопроводом принят равным 0,9. Жесткостные характеристики грунта приведены в таблице 1.

На рассматриваемый газопровод действует следующая система нагрузок: 1) гравитационные силы; 2) внутреннее давление в трубе; 3) тепловое расширение; 4) нагрузки, возникающие при морозном пучении грунта.

Гравитационная нагрузка учитывается путем задания ускорения силы тяжести и соответствующей массовой плотности материала трубы. Кроме того, здесь учитывается вес газа и изоляции. Внутреннее (рабочее) давление в трубе  $p = 9,8$  МПа. Температура замыкания трубопровода равна минус  $5^{\circ}\text{C}$ , а температура продукта составляет  $40^{\circ}\text{C}$ .

Основными для данной трубопроводной системы являются нагрузки, обусловленные пучением грунта. В настоящее время оценка непосредственно сил морозного пучения затруднительна, поэтому здесь предпочтительно задавать невозмущенный профиль пучения в виде функции вертикального перемещения грунта при свободном пучении (т.е. при отсутствии трубопровода и засыпки) от продольной координаты.

Пусть на рассматриваемом участке трубопровода морозное пучение грунта происходит в виде образования системы одиночных бугров пучения, удаленных друг от друга настолько, что их совместным влиянием на изгиб трубопровода можно пренебречь. Тогда решение поставленной задачи сводится к решению серии задач о взаимодействии трубопровода с единичным бугром пучения.

Реальный бугор пучения будем аппроксимировать расчётным бугром прямоугольной формы высотой  $H_0$  и длиной  $2\lambda_0$  (рисунок 1). Поскольку мёрзлый грунт не является абсолютно жёстким, происходит частичное смятие бугра за счет сил, действующих со стороны трубопровода. Очевидно, что при некотором значении этих сил из-за текучести грунта становится невозможным подрастание бугра пучения.

Основное требование к трубопроводам как транспортным системам повышенной ответственности с точки зрения обеспечения безопасности состоит в сохранении

герметичности и конструктивной целостности в течение всего срока службы [4].

Таким образом, нарушение герметичности оболочки трубопровода означает безусловное наступление предельного состояния, т.е. такого состояния, при котором дальнейшая эксплуатация трубопроводной системы невозможна по соображениям безопасности и/или неприемлемых экономических затрат на продолжение эксплуатации.

В то же время для потенциально опасных сооружений и конструкций (к которым принадлежат газо- и нефтепроводы) к категории предельных могут быть отнесены пограничные состояния, реализация которых приводит к существенному повышению риска возникновения критических и/или катастрофических отказов. К таким состояниям могут быть отнесены предельные состояния, сформированные в традиционном для строительной механики смысле.

Выделим два типа предельных состояний. Предельное состояние типа I свяжем с наступлением текучести. В качестве наиболее жесткого критерия наступления этого предельного состояния примем появление пластических деформаций хотя бы в одной точке поперечного сечения. Данный критерий запишем в следующем виде:

$$\sigma_{\text{Мизес}} = \sigma_{0,2}, \quad (1)$$

где  $\sigma_{\text{Мизес}}$  — напряжение по Мизесу (или эквивалентное напряжение по теории прочности энергии формоизменения);  $\sigma_{0,2}$  — условный предел текучести. Для рассматриваемого газопровода  $\sigma_{0,2} = 380$  МПа.

Предельное состояние типа II свяжем с резким снижением несущей способности трубопровода, обусловленным образованием пластического шарнира или местной потерей устойчивости оболочки трубы (гофрированием) в сжатой зоне поперечного сечения. Критерий наступления предельного состояния типа II может быть записан как

$$\varepsilon_b = \varepsilon_{\text{Мmax}} \quad \text{или} \quad \varepsilon_{\text{ac}} = \varepsilon_w, \quad (2)$$

где  $\varepsilon_b$  — деформация изгиба трубы;  $\varepsilon_{\text{ac}}$  — осевая (фибровая) деформация сжатия;  $\varepsilon_{\text{Мmax}}$  — деформация, со-

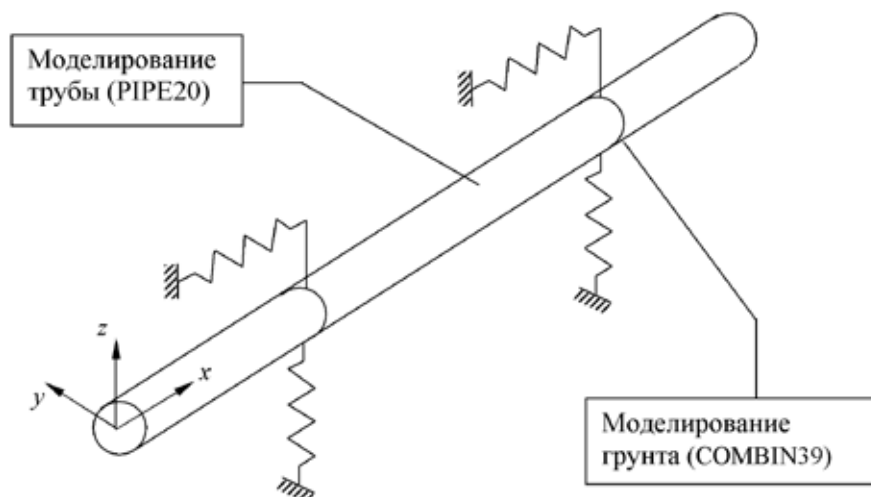


Рис. 2. Представление грунта с помощью дискретных элементов-пружин

ответствующая максимуму на кривой «момент — деформация»;  $\varepsilon_w$  — деформация сжатия, при которой начинается гофрообразование.

Следует отметить, что наступление предельных состояний данных типов не приводит к непосредственному нарушению герметичности конструкции и тем самым наступлению критического отказа. Однако при этом создаются предпосылки для возникновения критических отказов вследствие реализации непроектных режимов функционирования трубопровода.

Деформация  $\varepsilon_{Mmax}$  может быть определена с помощью нелинейного МКЭ-анализа чистого изгиба трубы. При этом для учета возможного сплющивания поперечного сечения здесь следует воспользоваться оболочечной моделью. Как показывают результаты решения данной задачи в МКЭ-пакете ANSYS, для рассматриваемой трубы 720x14 можно принять  $\varepsilon_{Mmax} = 1,2\%$ . Деформация  $\varepsilon_w$ , рассчитанная по представленной в работе [3] методике, составляет минус 2,11 %.

Одним из самых трудоёмких этапов настоящего исследования является моделирование силового воздействия бугра пучения на подземный трубопровод. Решение данной задачи должно проводиться в геометрически и физически нелинейной статической постановке, т.е. с учетом больших перемещений, пластических деформаций и нелинейности поведения окружающего трубу грунта. Для этих целей также используется МКЭ-пакет ANSYS, причем для автоматизации процесса решения разработана программа-макрос *heaving.mac*. Благодаря симметрии здесь можно ограничиться моделированием только правой половины бугра пучения с размерами  $H_0$  и  $\lambda_0$  (см. рисунок 1). Для того чтобы граничные условия на правом конце трубы не имели значительного влияния на критическую область вблизи бугра пучения, длина модели должна быть достаточно большой.

Для данной модели используются два типа конечных элементов: элемент пластической трубы PIPE20 и эле-

мент нелинейной пружины COMBIN39, предназначенный для дискретного представления точек грунта. Последний элемент определяется двумя узлами и кривой деформирования (зависимостью силы, возникающей в пружине, от относительного перемещения его узлов). Одним концом пружина крепится к элементу трубы, другим — к опоре (рисунок 2).

Учитывая, что здесь рассматривается лишь деформирование в вертикальной плоскости, каждый узел трубы, необходимо связать с неподвижной опорой с помощью двух элементов-пружин, представляющих жёсткости грунта в продольном (осевом) и вертикальном направлениях. Следует отметить, что использование элементов-пружин в геометрически нелинейном анализе связано с определёнными трудностями. В результате больших перемещений они могут испытывать значительные отклонения от их правильной ориентации, что может привести к появлению не существующих в действительности компонентов сил. Длина пружин должна быть такой, чтобы эти нежелательные компоненты оставались в приемлемых с точки зрения точности пределах. В данной программе длина элементов COMBIN39 выбрана равной 25 м.

Моделирование бугра пучения осуществляется путём задания в положительном направлении оси  $z$  постоянного на длине  $\lambda_0$  смещения  $H_0$ , которое прикладывается к свободным концам элементов-пружин, имитирующих действие грунта (рисунок 3).

Следует отметить, что по окончании работы макроса *heaving.mac* автоматически определяется наиболее нагруженное сечение трубопровода, в диаметрально противоположных точках которого имеют место максимальное  $\varepsilon_{max}$  и минимальное  $\varepsilon_{min}$  значения осевых деформаций. По этим значениям рассчитываются деформация изгиба  $\varepsilon_b$  и осевая деформация сжатия  $\varepsilon_{ac}$ , которые используются в критериях (1) и (2).

Предельные состояния для рассматриваемого газопровода 720x14 изображены на рисунке 4, причём штриховая

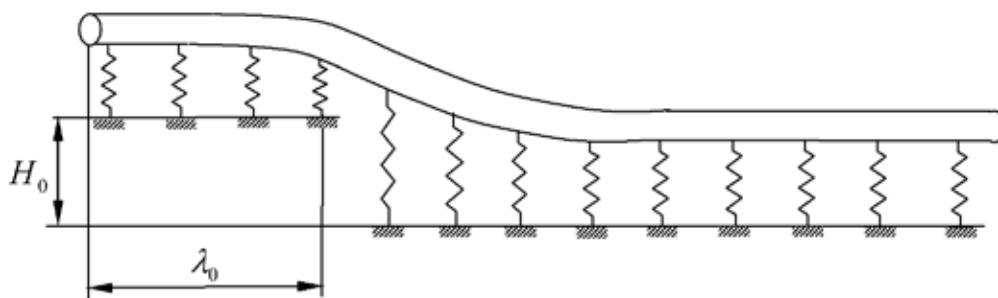


Рис. 3. Моделирование смещения бугра пучения

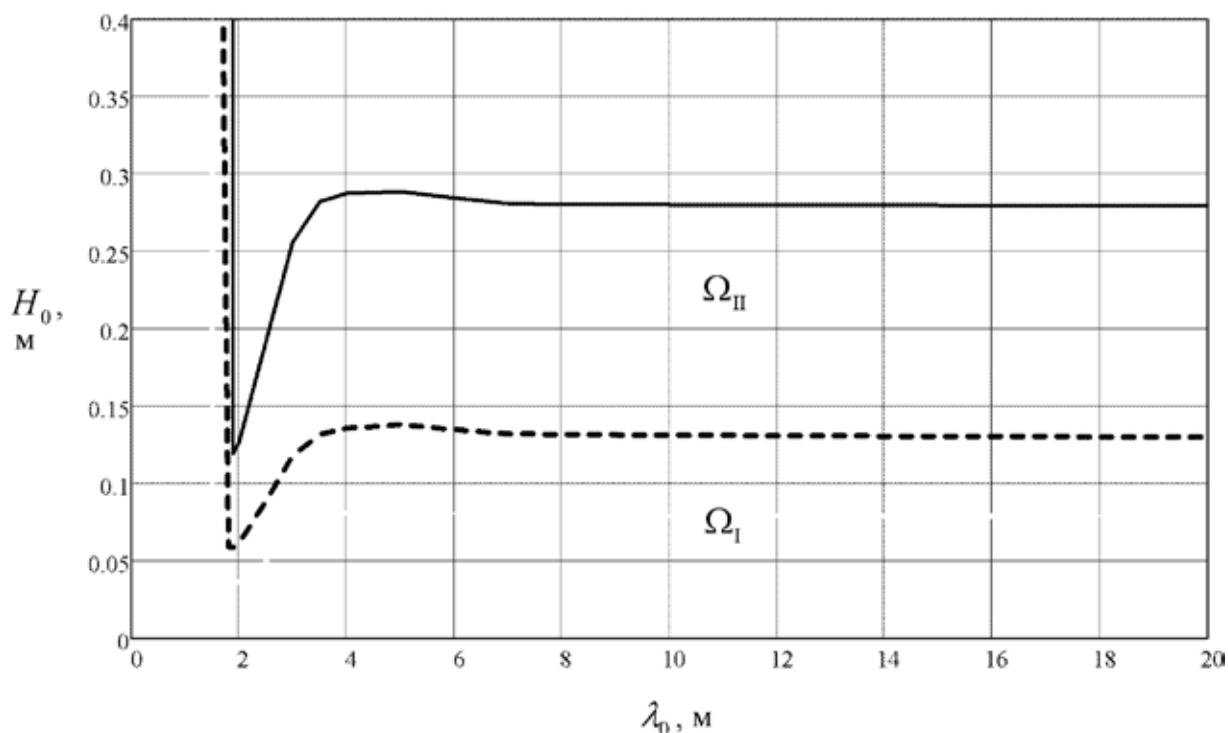


Рис. 4. Области допустимых размеров бугров пучения

линия соответствует предельному состоянию типа I (возникновение пластических деформаций), а сплошная — состоянию типа II (резкое снижение несущей способности). Очевидно, что области допустимых размеров бугров пучения  $\Omega_I$  и  $\Omega_{II}$ , соответствующие двум введенным ранее критериям, располагаются под этими кривыми, которые выступают в роли их предельных границ.

Если оценивать работоспособность рассматриваемого газопровода по критерию типа II (сплошная линия на рисунке 4), то видно, что наиболее опасными для него являются бугры пучения длиной 3,8 м ( $\lambda_0 = 1,9$  м), причём бугры меньшей длины сминаются трубопроводом до наступления в нём предельного состояния типа II, и поэтому они вообще не представляют какой-либо опасности вне зависимости от высоты бугра.

Решение задачи статистической динамики здесь проводится методом интерполяционных полиномов, который является наиболее экономичным. В качестве случайных

входных данных выбираются две величины, оказывающие наибольшее влияние на напряжённо-деформированное состояние трубопровода: высота  $H_0$  и полудлина  $\lambda_0$  бугра пучения. Предполагается, что они не коррелируют между собой и подчиняются нормальному закону распределения. Их числовые характеристики приняты следующими: математические ожидания  $\langle H_0 \rangle = 0,15$  м и  $\langle \lambda_0 \rangle = 5$  м; средние квадратические отклонения  $S_H = 0,2 \langle H_0 \rangle$  и  $S_\lambda = 0,2 \langle \lambda_0 \rangle$ .

Для каждой входной случайной величины задаётся по пять узлов интерполирования (схема 5х5). При этом значения  $x_j$  случайной величины  $x$ , распределённой по нормальному закону, определяются по следующей формуле:

$$x_k = \langle x \rangle + S_x \lambda_k \quad (k = 1 \dots q), \quad (3)$$

где  $q$  — число узлов интерполирования (в нашем случае  $q = 5$ );  $\lambda_k$  — координаты узлов типа Чебышева.



Таблица 2

Математические ожидания и средние квадратические отклонения выходных случайных величин

Характеристики случайной величины	$\varepsilon_{at}$	$\varepsilon_{ac}$	$\varepsilon_b$	$\sigma_{\text{Мизес}}$
$\langle y \rangle$	0,247%	-0,940%	0,594%	379,1 МПа
$S_y$	0,0626%	0,279%	0,171%	10,01 МПа
$S_y / \langle y \rangle$	0,253	0,297	0,288	0,0264

Следует отметить, что в методе интерполяционных полиномов математическое ожидание и среднее квадратическое отклонение некоторой выходной случайной величины  $y$  находятся по формулам

$$\begin{aligned} \langle y \rangle &= \sum_{i=1}^q y_i \rho_i; \\ S_y &= \sqrt{\sum_{i=1}^q (y_i - \langle y \rangle)^2 \rho_i}, \end{aligned} \quad (4)$$

где

$$q = \prod_{k=1}^n q_k; \quad \rho_i = \prod_{k=1}^n \rho_{kj}.$$

Здесь  $q$  — общее число реализаций;  $y_i$  — значение выходной случайной величины на  $i$ -ой реализации;  $\rho_i$  — число Кристоффеля выходной случайной величины;  $n$  — число входных случайных величин;  $q_k$  — число узлов интерполирования, выбранное для  $k$ -ой входной случайной величины;  $\rho_{kj}$  — числа Кристоффеля для  $k$ -ой входной случайной величины.

Для выходных случайных величин вычисленные по формулам (4) математические ожидания и средние квадратические отклонения сведены в таблицу 2.

Вызывающие аварийные ситуации природные воздействия (такие как землетрясения, ураганы, оползни, пучения и просадки грунта и т.д.) не поддаются контролю, и поэтому достаточный уровень безопасности по отношению к ним должен быть обеспечен на стадии проектирования. Следует отметить, что в расчетах на безопасность широко применяются вероятностные модели редких событий. Для оценки показателей безопасности и риска рассматриваемой конструкции воспользуемся теорией, предложенной В.В. Болотиным [5].

Функцией безопасности  $B(t)$  называется вероятность того, что на отрезке времени  $[0, t]$  ни разу не возникнет аварийная ситуация:

$$B(t) = P\{v(\tau) \in \Omega; \tau \in [0, t]\}, \quad (5)$$

где  $v(\tau)$  может совпадать с вектором качества, входящим в определение для вероятности безотказной работы. Здесь  $\Omega$  — область безопасности, которая включает в себя до-

пустимую область по отношению к эксплуатационным отказам и предельным состояниям. Дополнение функции безопасности до единицы называется функцией риска

$$R(t) = 1 - B(t). \quad (6)$$

Для вычисления функции безопасности при рассмотрении только одного класса событий  $\Phi$ , связанного с возникновением бугров пучения, можно воспользоваться следующей формулой [5]:

$$B(t) = \exp[-\lambda t R(\Phi)], \quad (7)$$

где

$$R(\Phi) = 1 - B(\Phi). \quad (8)$$

Здесь  $B(\Phi)$  — условная безопасность, равная вероятности того, что авария не наступит при появлении бугра пучения;  $R(\Phi)$  — условный риск;  $\lambda$  — математическое ожидание числа бугров пучения в единицу времени на рассматриваемом участке трубопровода. Примем  $\lambda = 0,1 \text{ год}^{-1}$ .

Условные показатели безопасности можно трактовать как вероятности не наступления предельных состояний типа I или II:

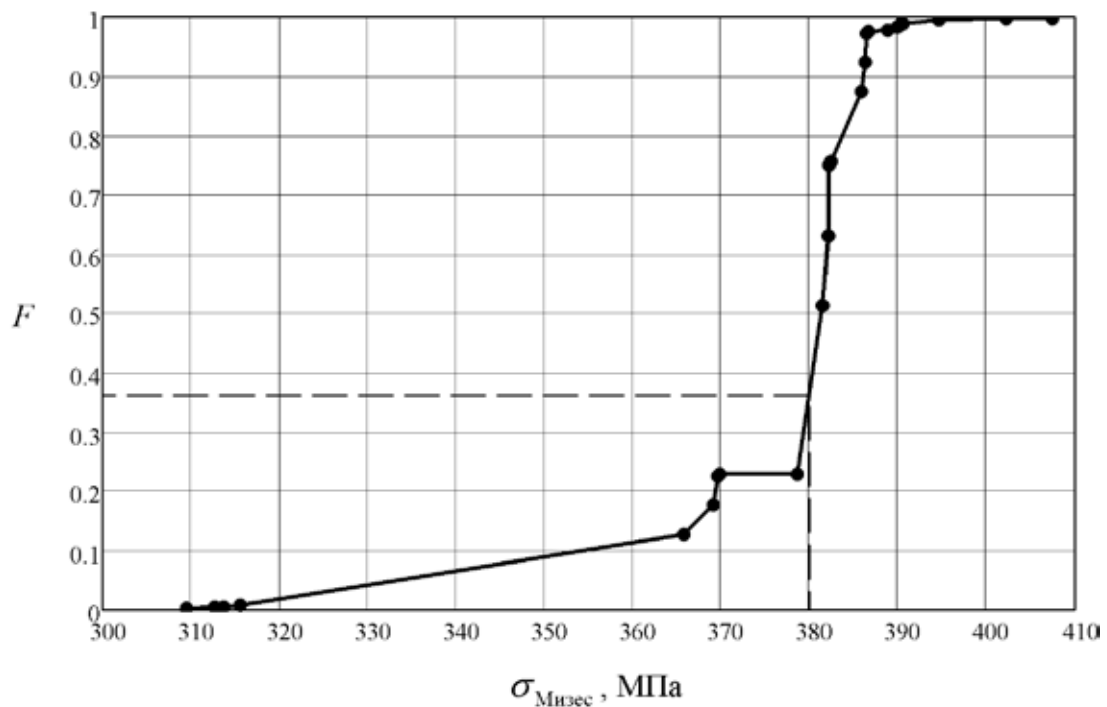
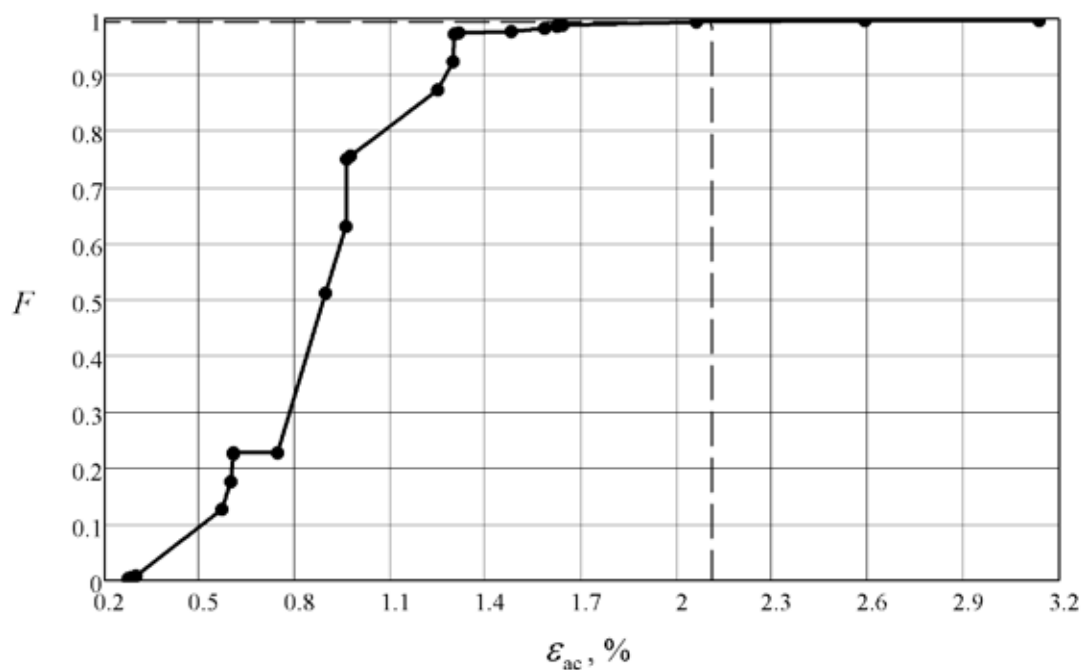
$$\begin{aligned} B_I(\Phi) &= P\{v(\tau) \in \Omega_I; \tau \in [0, t]\}; \\ B_{II}(\Phi) &= P\{v(\tau) \in \Omega_{II}; \tau \in [0, t]\}. \end{aligned} \quad (9)$$

Эти соотношения можно представить в более удобной для практического использования форме. Учитывая, что вектор качества системы квазимоноотонно приближается к границам допустимых областей, запишем

$$\begin{aligned} B_I(\Phi) &= P\{\sigma_{\text{Мизес}} < \sigma_{0,2}\}; \\ B_{II}(\Phi) &= \min\{P\{\varepsilon_b < \varepsilon_{\text{Мmax}}\}, P\{|\varepsilon_{ac}| < |\varepsilon_w|\}\}. \end{aligned} \quad (10)$$

Входящие в эти выражения вероятности легко находятся с помощью функций распределения соответствующих выходных параметров.

Как известно, функция распределения случайной величины  $Y$  определяется равенством

Рис. 5. Функция распределения напряжения  $\sigma_{\text{Мизес}}$ Рис. 6. Функция распределения деформации  $\epsilon_{\text{ac}}$ 

$$F(y) = P(Y < y) \quad (11)$$

и равна вероятности того, что случайная величина принимает значение, меньшее  $y$ . В методе интерполяционных полиномов для построения функции распределения выходного параметра его значения следует расположить в порядке возрастания

$$y_1 \leq y_2 \leq \dots \leq y_q,$$

где  $q$  – общее число реализаций. Пусть этим значениям соответствуют числа Кристоффеля  $\rho_1, \rho_2, \dots, \rho_q$ . Тогда

$$F(y_1) = \frac{\rho_1}{2}; \quad F(y_2) = \frac{\rho_1}{2} + \rho_2;$$

$$F(y_3) = \frac{\rho_1}{2} + \rho_2 + \rho_3$$

и так далее, т.е.  $F(y_i) = \frac{\rho_1}{2} + \rho_2 + \dots + \rho_i$ .

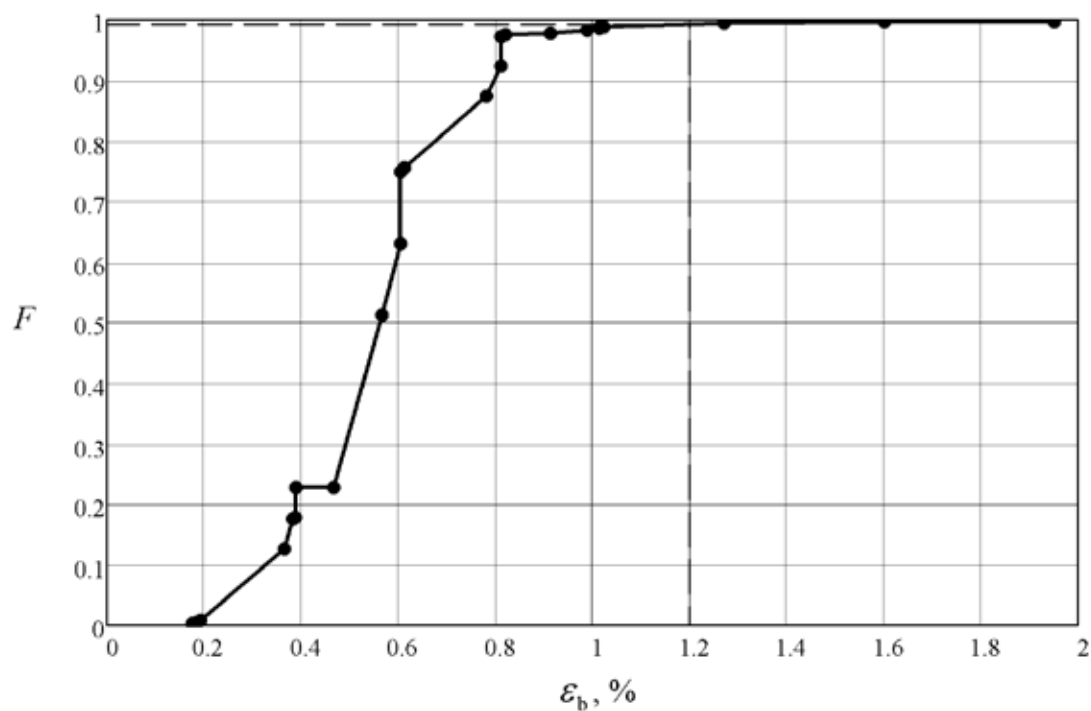
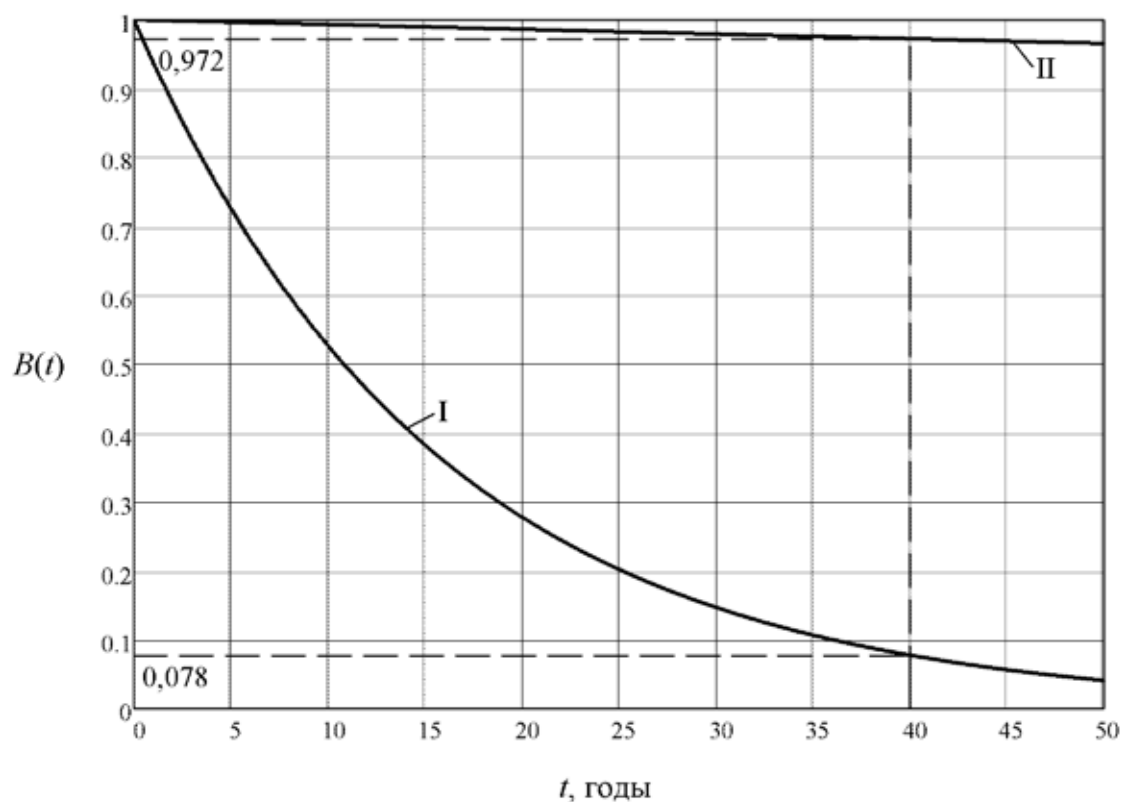
Рис. 7. Функция распределения деформации  $\varepsilon_b$ 

Рис. 8. Функции безопасности

Для рассматриваемых в данной задаче выходных случайных величин функции распределения изображены на рисунках 5...7. Сопоставляя эти кривые с допускаемыми значениями ( $\sigma_{0,2} = 380$  МПа;  $\varepsilon_{\text{Mmax}} = 1,2\%$ ;  $\varepsilon_w = -2,11\%$ ), можно найти:

$$P\{\sigma_{\text{Мизес}} < \sigma_{0,2}\} = 0,361;$$

$$P\{\varepsilon_b < \varepsilon_{\text{Mmax}}\} = 0,993;$$

$$P\{|\varepsilon_{\text{ac}}| < |\varepsilon_w|\} = 0,995.$$

Таким образом, для рассматриваемых бугров пучения вероятность не наступления предельного состояния типа I составляет всего  $B_I(\Phi) = 0,361$ , а предельного состояния типа II —  $B_{II}(\Phi) = 0,993$ .

Вычисленные по формуле (7) функции полной безопасности приведены на рисунке 8. Как видно из графиков, например, для трубопровода со сроком службы  $T = 40$  лет безопасность по критерию I составляет лишь 0,078, а по критерию II — безопасность равна 0,972.

#### Литература:

1. Харионовский, В.В. Повышение прочности газопроводов в сложных условиях [Текст] / В.В. Харионовский. — Л.: Недра, 1990. — 180 с.
2. Айнбиндер, А.Б. Расчет магистральных и промысловых трубопроводов на прочность и устойчивость: Справочное пособие [Текст] / А.Б. Айнбиндер. — М.: Недра, 1991. — 287 с.
3. Fault crossing analysis [Text] / Design Report N 5000-Y-36—10. — 2002. — 129 p.
4. Методические рекомендации по расчётам конструктивной надёжности магистральных газопроводов: РД 51—4.2—003—97 [Текст]. — М.: ИРЦ Газпром, 1997. — 126 с.
5. Болотин, В.В. Ресурс машин и конструкций [Текст] / В.В. Болотин. — М.: Машиностроение, 1990. — 448 с.

## 8. СТРОИТЕЛЬСТВО

### Технология проектного обучения графическим дисциплинам студентов строительных специальностей

Каменских Лариса Валентиновна, доцент;

Мошнинова Галина Николаевна, доцент

Восточно-Казахстанский государственный технический университет им. Д. Серикбаева (Казахстан)

#### **Введение**

Для системы высшего образования стали приоритетными задачи оптимизации, активизации, интенсификации учебной деятельности. Однако их решение невозможно без изменения методов и технологий обучения.

В условиях модернизации образования проблема формирования готовности специалиста к будущей профессиональной деятельности в процессе обучения в вузе неразрывно связана с понятием профессиональной компетентности.

Понятие компетентности принимается согласно определению Дж. Равена [1]: «Компетентность — это специальная способность, необходимая для выполнения конкретного действия в конкретной предметной области, включающая узкоспециальные знания, особого рода предметные навыки, способы мышления, а также понимание ответственности за свои действия. Профессиональная компетентность является интегративной характеристикой специалиста, и решение проблемы развития (или формирования) его компетентности детерминруется содержанием его производственной деятельности».

Строительный рынок вынуждает проектные организации разрабатывать все более интересные и геометрически сложные конструкции. Выпускники вуза должны соответствовать новым требованиям, предъявляемым к профессиональной деятельности специалиста в выполнении графической части проектов сооружений. Однако существующий традиционный подход к обучению графическим дисциплинам в техническом вузе основан на том, что сумма освоенных студентом знаний по предметам, заложенным в программе государственного образовательного стандарта, является залогом готовности специалиста к его деятельности на строительном производстве. Это положение не обеспечивает оптимального успеха в условиях растущих объемов знаний, уменьшения учебного времени и ухудшения графической довузовской подготовки. Для решения данной проблемы нужен новый подход к проектированию технологии обучения студентов строительных специальностей графическим дисциплинам.

#### **Использование графических и мультимедийных средств в технологии проектного обучения.**

Преподавателями кафедры «Общеинженерные дисциплины» Восточно-Казахстанского Государственного Технического университета рассмотрено проектирование технологии обучения графическим дисциплинам. Целями обучения выбраны компоненты профессиональной компетентности специалиста строительной специальности, развиваемые с помощью графического образования. Содержание графических дисциплин спроектировано с учетом целей обучения, уровней профессионального графического развития студентов начальных курсов обучения, возможностей и средств обучения, представляемых студентам и преподавателям современной системой образования.

Графические дисциплины (инженерная и компьютерная графика) являются первыми профессионально ориентированными дисциплинами, которым обучаются студенты на начальных курсах.

Развитие профессиональной компетентности студентов предполагает осуществление преемственности и определенной последовательности в изучении графических дисциплин: в первом семестре изучается инженерная графика с основами начертательной геометрии. Во втором семестре компьютерная графика изучается параллельно с основами строительного черчения. На втором курсе в рамках сквозного проектирования студентами выполняется курсовой проект на основе компьютерной графической программы.

На начальном этапе обучения особое место занимает формирование графической грамотности, которая содействует активному развитию пространственных представлений, пространственного воображения, логического и технического мышления, а также оказывает влияние на формирование личностных качеств будущего специалиста, вырабатывает умение концентрировать внимание. Разработанные преподавателями кафедры «Общеинженерных дисциплин» электронные учебники по дисциплине «Инженерная графика и основы начертательной геометрии» позволяют студентам наряду с графической грамотностью развивать навыки пользования новыми технологиями об-



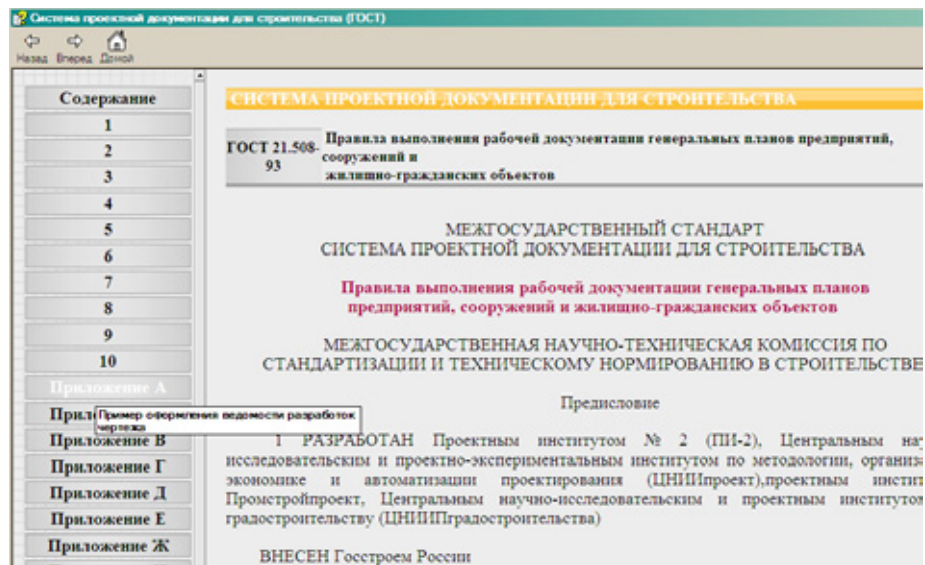


Рис. 1. Нормативные документы в составе ЭУП

учения. К ним можно отнести работу с встроенными тестами, справочной системой и системой ссылок, и многое другое. Таким образом, с первого курса студентам прививаются графическая и компьютерная грамотность, как компоненты профессиональной компетентности будущего специалиста-строителя.

Мощным средством формирования и развития пространственного мышления студентов является их деятельность по выполнению строительных чертежей. Однако у большинства студентов на начальном этапе обучения недостаточно выработаны механизмы мысленного анализа и синтеза. Проблему развития пространственного мышления на качественно новом уровне позволяют решать современные системы автоматизированного проектирования, обладающих большей наглядностью, динамичностью, высокой скоростью выполнения различных изображений, удобным и интуитивно понятным графическим интерфейсом.

Студентами первого курса выполняется архитектурно-строительный чертеж малогабаритного жилого здания на основе графического пакета компьютерной программы AutoCAD, предназначенного для создания чертежей проектирования и трехмерного моделирования.

Работа выполняется по мере приобретения знаний и умений, в процессе планирования и выполнения постепенно и последовательно усложняющихся заданий. Например, после освоения команд рисования: «Штриховка» и «Градиентная заливка», студенты выполняют чертеж фасада здания и наносят различные графические обозначения материалов, используют цветовую палитру. После знакомства с элементом меню «Дизайн-центр» AutoCAD студенты могут продолжить подачу фасада с помощью добавления динамических архитектурных блоков. Роль преподавателя в этом случае претерпевает изменения: им очерчиваются параметры работы, характер же заполнения ее — творчество и фантазия студентов.

Использование такого подхода в преподавании предусматривает, с одной стороны, использование разнообразных методов средств обучения, а с другой, интегрирование знаний, умений из различных областей.

Преподавателями кафедры «Общеинженерные дисциплины» помимо электронного курса лекций по обучению работе в среде AutoCAD дополнительно разработано электронное учебное пособие «Правила выполнения строительных чертежей». Наряду с основами строительного черчения в данное пособие включены: тестовые вопросы по каждому модулю, варианты заданий для самостоятельной работы. Кроме того, в электронное учебное пособие входят нормативные документы (ГОСТы СПДС и ГОСТы ЕСКД, в соответствии с требованиями которых выполняется графическая часть самостоятельной работы). Текстовая часть стандартов и приложений к ним может быть выведена на печать (рис. 1).

На втором году обучения выполнение курсового проекта по архитектуре с использованием компьютерных технологий обеспечивает дальнейшее формирование профессиональных навыков специалистов строительных специальностей. Надо отметить, что дисциплина «Компьютерная графика» для студентов второго курса некоторых строительных специальностей является элективной. Студентами самостоятельно выбираются дисциплины, которые участвуют в развитии компонентов профессиональной компетентности. Теоретические основы курса закрепляются в процессе выполнения проектов, последовательное введение которых обеспечивает развитие студентов. Такие межпредметные связи базовых и элективных дисциплин обеспечивают мотивационную установку на усвоение материала и системность получаемых знаний.

Сквозные формы учебного процесса позволяют организовать активную и самостоятельную работу студентов, поскольку эти формы создают устойчивую и в то же время динамическую систему обучения, обеспечивающую высокий

уровень усвояемости студентом изучаемого материала на основе его самоорганизации и возникающей тяги к творчеству в процессе учебы. Такой метод сквозного проектирования обеспечивает студентам возможность принятия самостоятельных решений, развивает умение пользоваться дополнительной литературой. Следуя ключевым понятиям о сквозных методах обучения («Положение о сквозном проектировании» профессора А.И. Сапожникова): «Сама потребность литературного поиска свидетельствует о возникающей склонности к творческому мышлению, и сам литературный поиск представляет собой элементы реальной творческой деятельности». [2]

Методика сквозного проектирования предполагает устранение прямой зависимости студентов от преподавателя путем самоорганизации и возможности проявления собственной инициативы в процессе активно-познавательной мыслительной деятельности.

При выполнении проекта студенты имеют возможность выбора графической программы для его реализации. В рамках курса дисциплины «Компьютерная графика» студенты строительных специальностей ВКГТУ обучаются работе с системой КОМПАС-График V12. Обновленная конфигурация позволяет работать с библиотеками проектирования зданий и сооружений: АС/АР. Студенты могут использовать готовые шаблоны сеток координатных осей, применять в проектировании элементы каталога архитектурно-строительных элементов, выполненного в соответствии с требованиями ГОСТ 21.101–97 «СПДС. Основные требования к проектной и рабочей документации». Это позволяет сделать процесс выполнения проекта более эффективным, у студентов появляется возможность альтернативного выбора в сторону того или иного инструмента графической программы для интенсивной разработки проекта. Процесс проектирования в рамках работы с новыми графическими системами характеризуется позитивным отношением студентов к учебному процессу, поиском решения поставленной задачи, увле-

ченностью по отношению к выбранной профессии.

### **Выводы**

Таким образом, обучение студентов строительных специальностей графическим дисциплинам осуществляется успешнее при следующих условиях:

- технологии обучения раскрываются на основе акцентирования межпредметных связей базовых и элективных курсов, обеспечивая мотивационную установку на усвоение изучаемого материала и системность получаемых знаний;
- должны быть определены компоненты профессиональной компетентности будущего специалиста, в развитии которых участвуют графические дисциплины: инженерная и компьютерная графика, строительное черчение;
- необходимо оптимизировать технологию преподавания графических дисциплин для достижения поставленных целей обучения — сделать теоретически обоснованный выбор содержания, методики, средств обучения;
- усилить профессиональную мотивацию студентов, их положительное отношение к выбранной профессии, способность к рефлексии своих профессиональных достижений, развить их коммуникативные, методологические компоненты профессиональной компетентности и системное мышление при обучении графическим дисциплинам.

Представленная технология проектного обучения графическим дисциплинам позволяют:

- создавать условия для реализации умений и компетентностей, связанных с планированием работы, разработкой поэтапной программы действий от замысла до готового продукта;
- осуществлять успешную подготовку и развитие профессиональной компетентности специалистов строительных специальностей при сокращенном количестве часов учебного времени.

### **Литература:**

1. Равен Дж. Компетентность в современном обществе: выявление, развитие и реализация // Москва: «Когито-Центр», 2002. — 396 с.
2. Сапожников А.И. Многоуровневая система образования, сквозное курсовое и дипломное проектирование в строительных учебных учреждениях // Сборник научных трудов по педагогике. Астрахань: АИСИ, 1999. -6 с.

## **Мелкозернистые бетоны с комплексными упрочняющими добавками**

Морозов Николай Михайлович, кандидат технических наук, доцент; Мугинов Хамат Габбасович, соискатель; Красникова Наталья Михайловна, кандидат технических наук, доцент; Гайфуллин Наиль Энвэрович, студент Казанский государственный архитектурно-строительный университет

**С**овременные бетоны отличаются не только высокими показателями прочности, но и повышенными технологическими и эксплуатационными характеристиками. Такие

бетоны находят применение в монолитном домостроении, где помимо прочности необходима высокая подвижность и однородность бетонных смесей [1]. Применение ком-

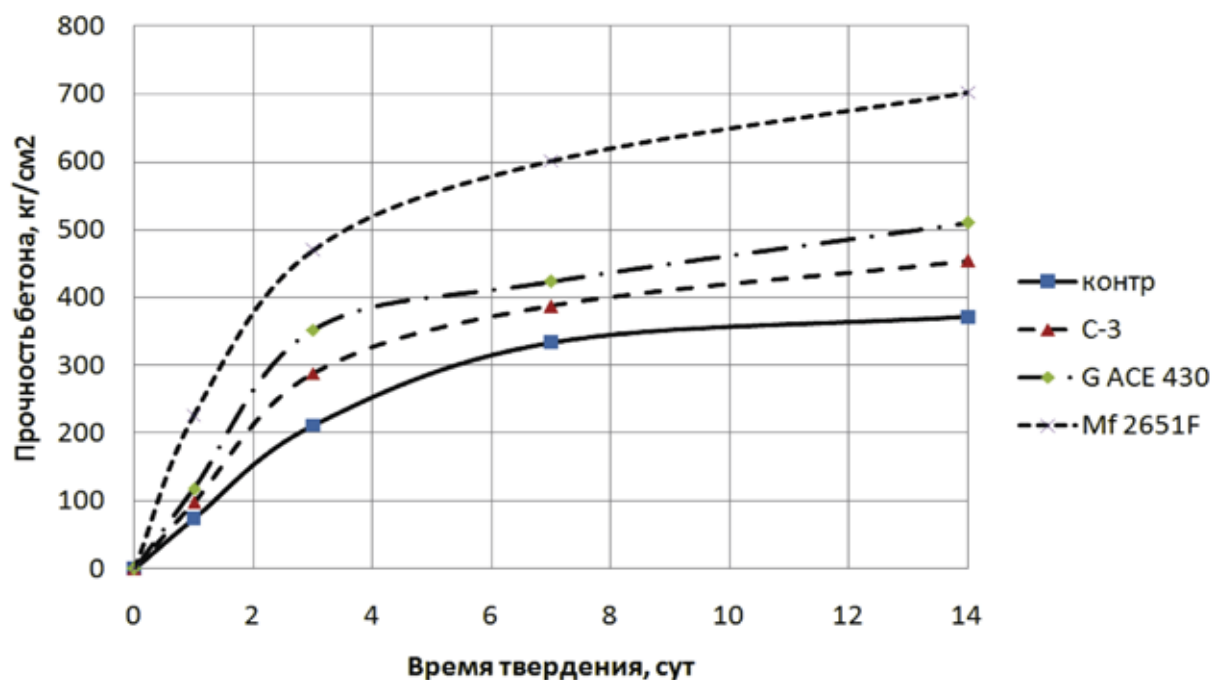


Рис. 1. Кинетика твердения мелкозернистого бетона с молотым кварцевым песком ( $S_{уд} = 150 \text{ м}^2/\text{кг}$ ) и суперпластификаторами

плексных добавок на основе суперпластификаторов позволяет достичь требуемых свойств. В настоящее время наиболее предпочтительно использовать в качестве пластифицирующего компонента добавки на основе эфиров поликарбоксилатов [2], так как их отличает высокая пластифицирующая способность, при этом они дополнительно увеличивают сохраняемость бетонных смесей, что немаловажно при монолитном строительстве. В мелкозернистых бетонах из смесей высокой подвижности применение суперпластификаторов особенно эффективно, так как позволяют получить высокую прочность и низкую проницаемость [3,4]. Одним из путей увеличения эффективности бетонов является применение минеральных наполнителей в сочетании с суперпластификаторами. Поэтому целью нашей работы явилось исследование влияния комплексных добавок на основе эфиров поликарбоксилатов и наполнителей на прочность и пористость мелкозернистого бетона.

### Материалы и методы

В качестве вяжущего применяли портландцемент марки ПЦ 500 Д0-Н ГОСТ 10178–87 ОАО «Мордовцемент». В качестве заполнителя для приготовления мелкозернистого бетона использовали фракционированный песок с модулем крупности 2,6. Суперпластифицирующие добавки: добавки «ПОЛИПЛАСТ СП-1» (С-3), «MELFLUX 2651 F» и Glenium ACE 430F. В качестве минеральных наполнителей использовали молотый кварцевый песок с удельной поверхностью  $150 \text{ кг}/\text{м}^2$  и микрокремнезем марки МК-85. Состав мелкозернистого бетона

Ц:П=1:3. Суперпластификаторы вводились в количестве 0,5% от массы цемента. Марка по подвижности бетонной смеси — П4.

Методы определения технологических свойств:

- определение марки по подвижности бетонной смеси ГОСТ 10181–2000.

Методы определения физико-механических свойств:

- прочность на сжатие образцов-кубов  $10 \times 10 \times 10 \text{ см}$ , изготовленных из тяжелого бетона, по ГОСТ 10180–90;
- водопоглощение на образцах  $7,07 \times 7,07 \times 7,07 \text{ см}$  по ГОСТ 12730.3–78;
- пористость по кинетике водопоглощения образцов  $7,07 \times 7,07 \times 7,07 \text{ см}$  по ГОСТ 12730.4–78.

Бетонную смесь перемешивали в лабораторном смесителе принудительного действия ЛС-ЦБ-10.

### Результаты и обсуждения результатов.

В настоящее время для получения бетона с высокими технологическими свойствами необходимо использовать химические добавки-пластификаторы. Известно, что для уменьшения расслоения и водоотделения можно использовать мелкодисперсный наполнитель [5].

В данной работе была исследована совместная работа гиперпластификаторов и мелкодисперсного наполнителя. Подвижность во всех составах была постоянной. Показано, что совместное использование молотого кварцевого песка в количестве 5% от массы цемента с пластификаторами Melflux 2651F, Glenium ACE 430 и С-3 приводит к значительному увеличению прочности мелкозернистого бетона (рис. 1).

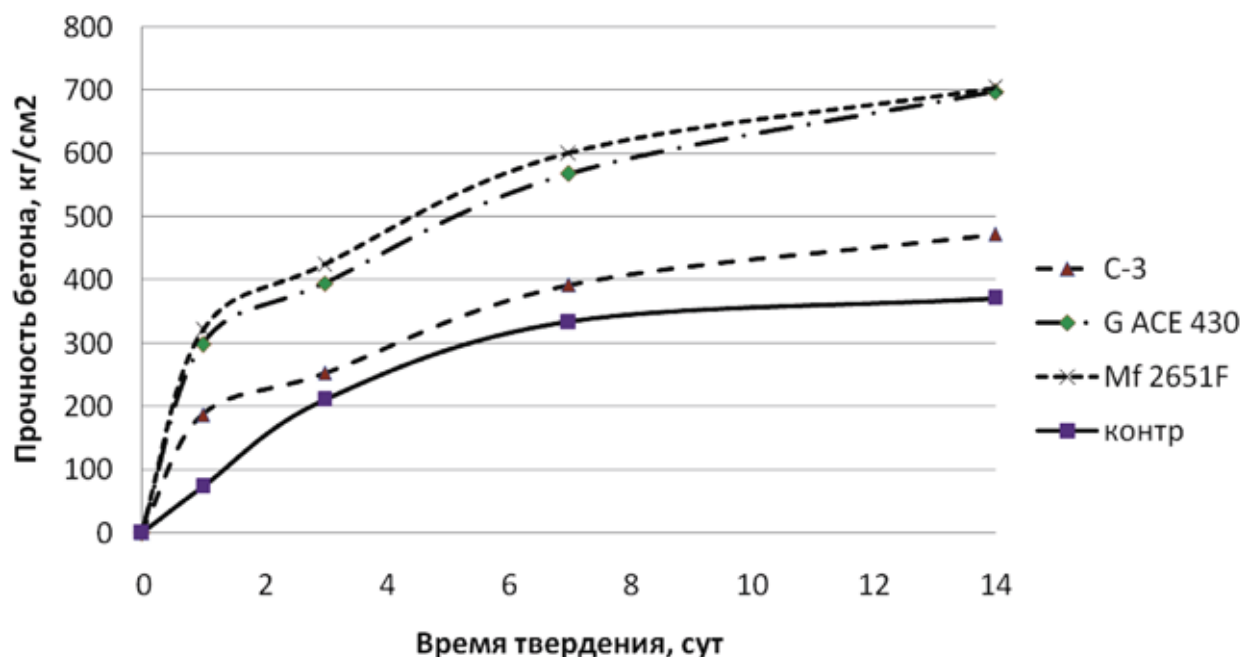


Рис. 2. Кинетика твердения мелкозернистого бетона с микрокремнеземом МК-85 и суперпластификаторами

Из рис. 1 видно, что при введении любого из использованных пластификаторов, прочность на всех сроках твердения повышается. Наименьший прирост прочности наблюдается на С-3, а наибольший при использовании пластификатора Melflux 2651F. При совместном использовании молотого кварцевого песка и добавки Melflux 2651F прочность мелкозернистого бетона на 1 сутки повышается на 208 %, а в возрасте 14 сут — на 89 %.

Более эффективным минеральным наполнителем считается микрокремнезем [6]. Положительное влияние МК на структуру и физико-механические характеристики бетона обусловлено двумя причинами: пуццоланической активностью МК, а также высокой дисперсностью его частиц. Кремнезем вступает в реакцию с гидроксидом кальция, высвобождаемым в процессе гидратации силикатных фаз цемента, с образованием низкоосновных гидросиликатов кальция. Высокая удельная поверхность микрокремнезема (13000–25000 м²/кг) интенсифицирует образование продуктов гидратации. Следовательно, совместное использование микрокремнезема в количестве 5 % от массы цемента с пластификаторами Melflux 2651F, Glenium ACE 430 и С-3 должно увеличивать прочность мелкозернистого бетона.

Из рис. 2 видно, что пластификаторы Melflux 2651F и Glenium ACE 430F, показывают близкие значения прироста прочности бетона как в раннем, так и в более поздний период твердения. В возрасте 1 суток при использовании добавки Glenium ACE 430F прочность бетона возросла на 309 %, а при введении добавки Melflux 2651F на 338 %, в возрасте 14 суток прирост прочности составил 88 и 90 % соответственно. Таким образом, лучше всего микрокремнезем работает с добавкой Gle-

nium ACE 430F, так как по сравнению с молотым кварцевым песком прочность увеличилась более чем на 50 %. Увеличение прочности песчаного бетона при введении добавок Glenium ACE 430F и Melflux 2651, обусловлено повышением прочности цементного камня и зоны его контакта с заполнителем, за счет снижения водоцементного отношения. Введение микрокремнезема в значительной степени снижает капиллярную пористость контактной зоны за счет резкого уменьшения общего содержания  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . В то же время рост содержания CSH (1) в непосредственной близости от поверхности заполнителя положительно сказывается на свойствах контактной зоны.

Таким образом, использование пластифицирующих добавок не только увеличивает прочность мелкозернистого бетона, но и должно влиять на пористость, так как снижается водоцементное отношение, изменяется воздухопроницаемость смесей и контракция цементного камня. Оценку пористости мелкозернистого бетона с добавками суперпластификаторов, молотого кварцевого песка и микрокремнезема определяли по кинетике водопоглощения. Составы бетона соответствовали использованным ранее для оценки кинетики твердения. Результаты расчета показателей пористости представлены на рис. 3. Введение суперпластификаторов совместно с наполнителями значительно снижает водопоглощение мелкозернистого бетона вследствие изменения характера порового пространства.

Наименьший размер пор и капилляров наблюдается у составов мелкозернистого бетона с поликарбоксилатными суперпластификаторами и микрокремнеземом. При использовании добавки Melflux 2651F и микрокремне-

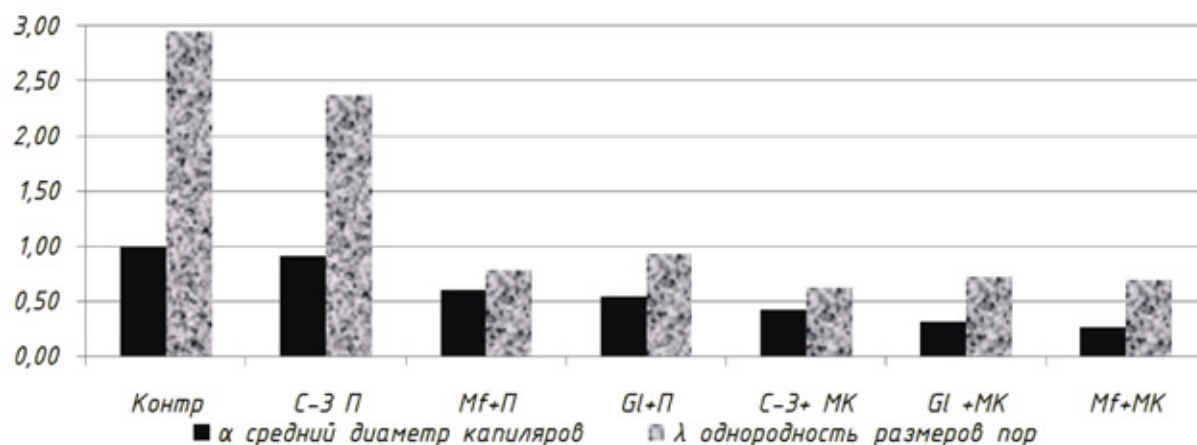


Рис. 3. Показатели пористости мелкозернистого бетона

зема, средний радиус пор снизился в 4 раза, что позволит значительно снизить проницаемость бетона и увеличить его долговечность.

### Выводы

В результате проведенных исследований показана высокая эффективность совместного использования супер-

пластификаторов на основе поликарбоксилатов и минеральных добавок. Применение добавки Melflux 2651F в сочетании как с микрокремнеземом, так и с молотым кварцевым песком позволяет увеличить прочность мелкозернистого бетона почти в два раза. При этом водопоглощение снижается в 2,5–3 раза, а средний радиус пор в 4 раза. Аналогичные результаты достигаются при применении добавки Glenium ACE 430F с микрокремнеземом.

### Литература:

1. Чернышев Е.М., Коротких Д.Н. Высокотехнологичные высокопрочные бетоны: вопросы управления их структурой // Материалы международного конгресса «Наука и инновации в строительстве SIB-2008», Том 1: Современные проблемы строительного материаловедения и технологии., Воронеж, 2008. — С. 616–620.
2. Морозов Н.М., Боровских И.В., Хозин В.Г., Авксентьев В.И., Мугинов Х.Г. Влияние компонентов песчаного бетона на воздухововлечение при его приготовлении // Известия КазГАСУ, 2011, №3. — с. 129–133.
3. Львович К.И. Песчаный бетон и его применение в строительстве. — СПб.: Строй-бетон, 2007. — 320 с.
4. Мелкозернистые бетоны: Учебное пособие / Ю.М. Баженов, У.Х. Магдеев, Л.А. Алимов, В.В. Воронин, Л.Б. Гольденберг; Моск. Гос. Строит. Ун-т. М., 1998. — 148 с.
5. Дворкин Л.Н., Дворкин О.Л. Основы бетоноведения. — СПб.: Строй-бетон, 2006. — 691 с.
6. Морозов Н.М., Морозова Н.Н., Хозин В.Г. Дорожный песчаный бетон с активными минеральными добавками // Достижения, проблемы и направления развития теории и практики строительного материаловедения: Материалы X академических чтений РААСН. — Пенза-Казань: КГАСУ, 2006. — с. 299–301.



## 10. АРХИТЕКТУРА

### Решение проблем экологии путем организации мобильных систем озеленения

Булдакова Елена Алексеевна, магистрант

Уральская государственная архитектурно-художественная академия (г. Екатеринбург)

Урбанизированные структуры поглощают озеленение города, ухудшая экологические характеристики. В ответ на высотную уплотненную застройку необходим поиск иных форм возвращения природных комплексов в структуру города. Долгое время, да и сейчас, человеческая деятельность направлена на истощение природных богатств. Возможно, пришло время думать о том, как сохранить и приумножить природные ресурсы местности.

Быстрая, можно даже сказать, скоростная урбанизация, как глобальная проблема, появилась несколько десятков лет назад, и развитие крупных городов в мегаполисы привело к рождению основных источников преобразования и загрязнения окружающей среды, а также изменению городского пространства. Рост городского населения и уплотнение городской застройки придает особую важность проблеме создания зон экологического комфорта. Развитие города обуславливает сокращение количества чистого воздуха, воды, зеленого пространства и тишины, чего так не хватает современному человеку с его ускоренным ритмом жизни в городах и мегаполисах [3].

Крупные населенные пункты вносят существенные изменения в сложившийся ветровой режим движения воздушных масс. Высотные здания, размещенные в городской среде, без учета ветрового режима могут приводить к созданию нежелательных вихревых потоков, обтекающих стены зданий. Источниками загрязнения городского воздуха являются практически все виды современного транспорта. Кроме того, любой транспорт создает вибрацию, шум, загазованность, пыль [2].

Проблема влияния урбанизации на окружающую среду, будучи глобальной и многоплановой, также оказывает психологическое воздействие на человека. Большой поток информации, мелькающая реклама, ухудшение экологических показателей, а также ускоренный ритм жизни, удлиненный рабочий день — все эти факторы практически исключили спокойный и тихий отдых населения города.

Современные тенденции в градостроительстве (рост и уплотнение застройки городского пространства) вытесняют места комфортного отдыха человека, то есть такие места, которые отделяют человека от факторов, пагубно сказывающихся на психологическом здоровье населения города (шума, пыли и агрессивной городской среды).

Особенно это чувствуется в центральной части крупных городов. Точечная застройка увеличивает плотность населения и зачастую нормы по количеству озеленения на одного жителя там не соблюдаются. В этой уплотненной застройке, где размещены здания и обслуживающие их парковки, нет площадей для создания рекреационных зон. Современные подходы к озеленению городского пространства позволяют решать проблемы экологии без радикальных методов преобразования городской среды (без сноса зданий для создания нормируемого количества озелененных зон).

В настоящее время важным направлением в развитии архитектуры города является выработка современных способов формирования зон экологического комфорта в условиях уплотненной застройки, к ним можно отнести

- озеленение крыш зданий (рис. 1),
- применение вертикального озеленения фасадов (рис. 2),
- строительство экопарковок (рис. 3),
- мобильные системы озеленения (рис. 4).

Что же такое мобильные системы озеленения?

Мобильные системы озеленения — это озеленение города, реализуемое за счет конструктивных элементов, которые могут внедряться, перемещаться, а при необходимости и вовсе убираться из городской ткани. Они необходимы в условиях уплотненной застройки центральной части города или при создании рекреации в сжатые сроки. Это легко монтируемые системы, имеющие мобильный, переносной характер, которые позволяют среде города регулярно изменяться, быть более разнообразной, неоднородной и интересной для жителей города. Мобильные системы озеленения — один из способов внедрения в структуру города так необходимых для человека зеленых элементов.

Мобильные системы озеленения играют три основных роли:

1. Утилитарную роль;  
(заключается в обеспечении функционального разнообразия при помощи озелененных пространств, а также в выявлении пространственных композиционных и функциональных связей).
2. Санитарно-гигиеническую роль;  
(заключается в формировании полноценного пространства городской среды, соответствующего требова-

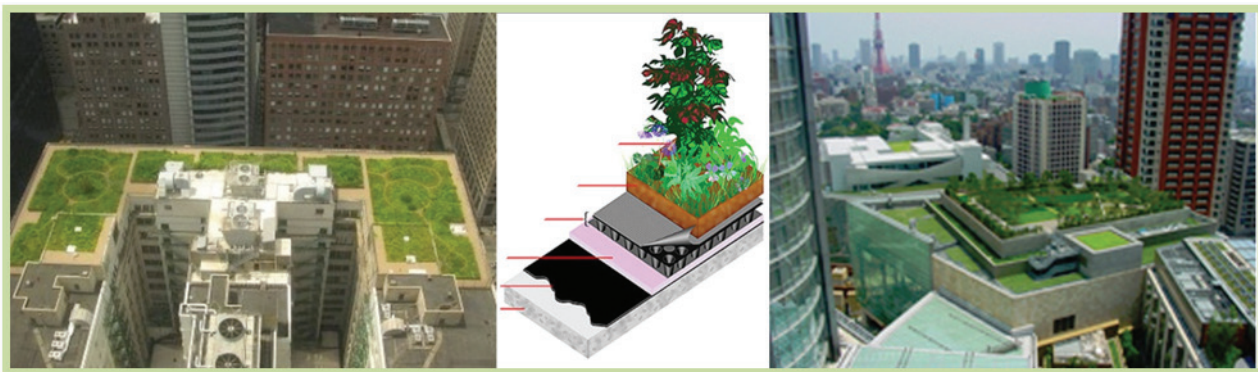


Рис. 1. Озеленение крыш зданий в Торонто, Северная Америка [13]



Рис. 2. Вертикальное озеленение фасадов зданий [4]



Рис. 3. Экопарковки [5]



Рис. 4. Проект «эко-коканы» на территории Бостона  
от архитектурной компания Howeler&Yoon и бюро дизайна Squared Design Lab [6]





Рис. 5. Шагающими, плавающими и летающими эко-дома.  
Приднепровская государственная академия строительства, Виктор Воробьев. [7]



Рис. 6. Павильон P.S. 1 – 2008 «Общественная ферма 1» [8]

ниям комфорта — нейтрализация негативных факторов: шума, пыли, газа, перегрева и так далее).

### 3. Эстетическую роль.

(заключается в создании благоприятных условий в городе с точки зрения психологического и эмоционального комфорта и в организации композиционно-художественных пространств, в создании композиционных связей между природой и урбанизированными территориями).

Мобильность систем озеленения достигается за счет:

- возможности перемещения (рис 5). Это своего рода эко-ячейки, способные внедриться в любую урбанизированную среду, быть самодостаточным элементом города и отвечать всем потребностям человека в нехватке природы, выполняя рекреационные и санитарно-защитные функции.
- быстровозводимости (изменяемости). Конструктивная простота, модульность элементов, легкость монтажа и демонтажа мобильных систем озеленения позволяет в короткие сроки создать экологически благоприятную среду (рис. 6). Так, для создания и размещения подобных систем требуется минимум временных затрат и других ресурсов.

Внедрение в структуру города мобильных систем озеленения должно быть планировочно обоснованным и складываться на основе композиционного построения структуры города. Композиция озеленения города с помощью подобных систем складывается из нескольких составляющих. Введение мобильных систем озеленения в планировочную урбанизированную структуру происходит на трех градостроительных уровнях (рис. 7):

1 уровень: уровень планировки городского округа, поселения, населенного пункта.

Актуальные экологические проблемы современных городов необходимо решать на градостроительном

уровне. Планировка городских структур должна осуществляться с учетом сформировавшейся городской ткани, крупных городских пространств и масс. Только применение комплексного градостроительного подхода может решить проблемы нехватки озеленения современных городов.

2 уровень: уровень планировки района, микрорайона

На этом уровне необходимо решать проблемы нехватки озеленения для определенного типа застройки, учитывать своеобразие местности и архитектуру зданий, предавать неповторимый индивидуальный образ озелененной городской среде.

3 уровень: уровень благоустройства территории.

Благоустройство территории за счет мобильного озеленения позволяет разместить необходимое количество квадратных метров озеленения на небольших участках городского пространства, использовать поверхности и территории ранее не задействованные для организации зеленых пространств. Мобильные передвижные системы озеленения могут быть элементами благоустройства. Как и малые архитектурные формы, они вносят разнообразие городскую среду.

Современные требования к архитектурно — планировочной организации зон экологического комфорта определяются следующими тенденциями:

- решением экологических проблем города, требующих создания и совершенствования крупных зеленых зон;
- возрастанием роли духовных ценностей: потребностью общества в охране национального пейзажа, памятников культуры и природы;
- приоритетным значением эстетических требований;
- развитием многообразия форм садово-парковой архитектуры, а также созданием новых видов растений, вы-



Рис. 7. Примеры проектных предложений мобильных систем озеленения на 3 градостроительных уровнях

живающих в неблагоприятной экологической обстановке крупных городов;

- предложением новых решений для создания зон экологического комфорта, а главное — решением проблемы нехватки места в городском пространстве для размещения таких зон.

Вопрос организации зон экологического комфорта на фоне динамического развития города в контексте последней из перечисленных тенденций будет вставать все острее.

#### Жилые зоны города.

Комфортное проживание в городской среде, как правило, не ограничиваются только постройкой комфортабельного жилья, а включает в себя и организацию зон экологического комфорта. На сегодняшний день такие задачи в основном решаются посредством традиционных приемов, то есть созданием парков, скверов, бульваров, дворов, увеличением зеленых насаждений городских улиц и так далее [1]. Случаи, в которых традиционные приемы озеленения не возможны и пути решения неблагоприятной экологической обстановки за счет внедрения мобильных систем озеленения, приведены на схеме (рис. 8).

Увеличение уровня автомобилизации привело к появлению ряда экологических проблем в жилой застройке: избыточный шум, вибрация, загазованность, пыль. Кроме того, под места хранения личного автотранспорта стали использовать газоны, детские площадки, скверы, места активного и пассивного отдыха в дворовых территориях.

Для разгрузки существующей улично-дорожной сети возводятся магистральные улицы и дороги. Вместе с мероприятиями по шумозащите, необходимо проводить и работы по благоустройству территории и обеспечению нормируемого озеленения. За счет мобильных систем озеленения можно решить ряд таких проблем (рис. 9).

#### Общественные зоны города.

Вне поля зрения в наше время оказались зоны активного использования, такие как вокзалы, аэропорты, торговые центры, стадионы, выставки и другие. Именно там, у человека появляется резерв времени, который он может потратить на отдых. Возникает вопрос: как, например, организовать время, которое человек тратит на ожидание своего поезда или самолета? Возникает потребность в кратковременном отдыхе. Для решения этой проблемы необходимо использовать прилегающие территории и крышу здания. При проектировании благоустройства территории для краткосрочного отдыха, так же, как и в объемном проектировании здания, необходимо предусмотреть ее зонирование (рис. 10).

#### Производственные территории.

В производственных зонах необходимо учитывать нормируемое количество озеленения ( $3 \text{ м}^2$  на человека в максимальную смену). Озеленение этих территорий может быть организовано и за счет систем мобильного озеленения. Кроме того, в организации санитарно — защитных зон от предприятий и коммунально — складских территорий необходимо внедрение систем мобильного озеленения (рис. 11).

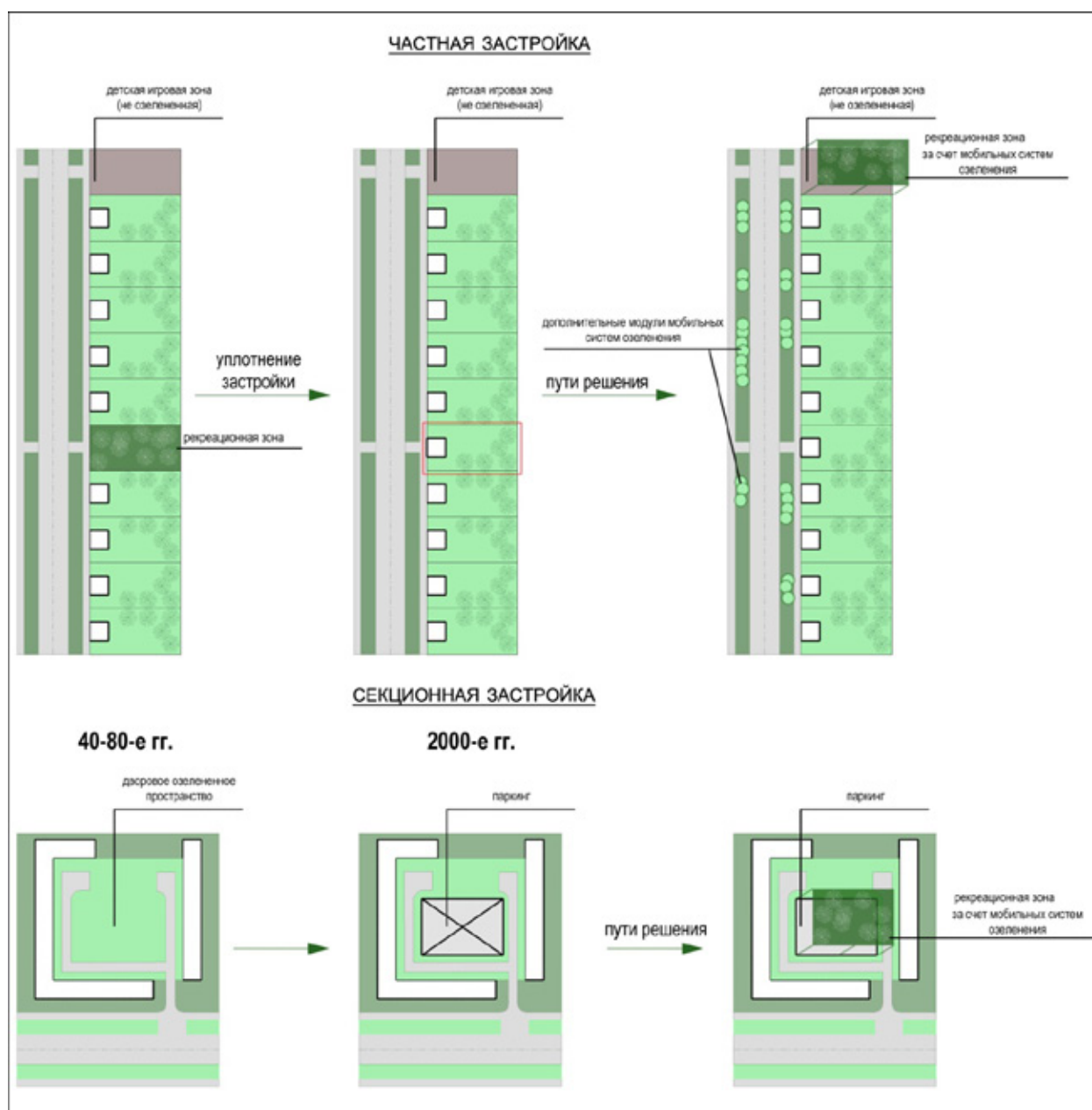


Рис. 8. Пути решения неблагоприятной экологической обстановки в 2 видах жилой застройки за счет внедрения мобильных систем озеленения

Мероприятия по улучшению окружающей среды, благоустройству, озеленению городов и населенных мест в настоящее время становится все актуальнее. Озелененные пространства (садово — парковые комплексы и отдельные участки) современного города чаще всего объединены в динамически взаимосвязанную систему. Возрастает значение естественной природы в озеленении города, формировании его внешнего облика, увеличении площадей под зеленые насаждения, создании новых

парков, скверов, бульваров, лесопарков.

Мобильные системы озеленения являются средством реализации доступности озелененных пространств для населения крупных городов. Грамотно размещенные мобильные системы озеленения способны выполнять утилитарную, эстетическую и санитарно-гигиеническую роли, а также разнообразить городскую среду, сделав ее индивидуальной и композиционно привлекательной.

#### Литература:

1. Горохов В.А. Городское озеленное строительство: Учеб. Пособие для вузов. — М.: Стройиздат, 2003. — 416 с.: ил.
2. Лунц Л.Б. Городское зеленое строительство. Учебник для вузов. Изд. 2-е, доп. и перераб. М., Стройиздат, 1974, 275 с.



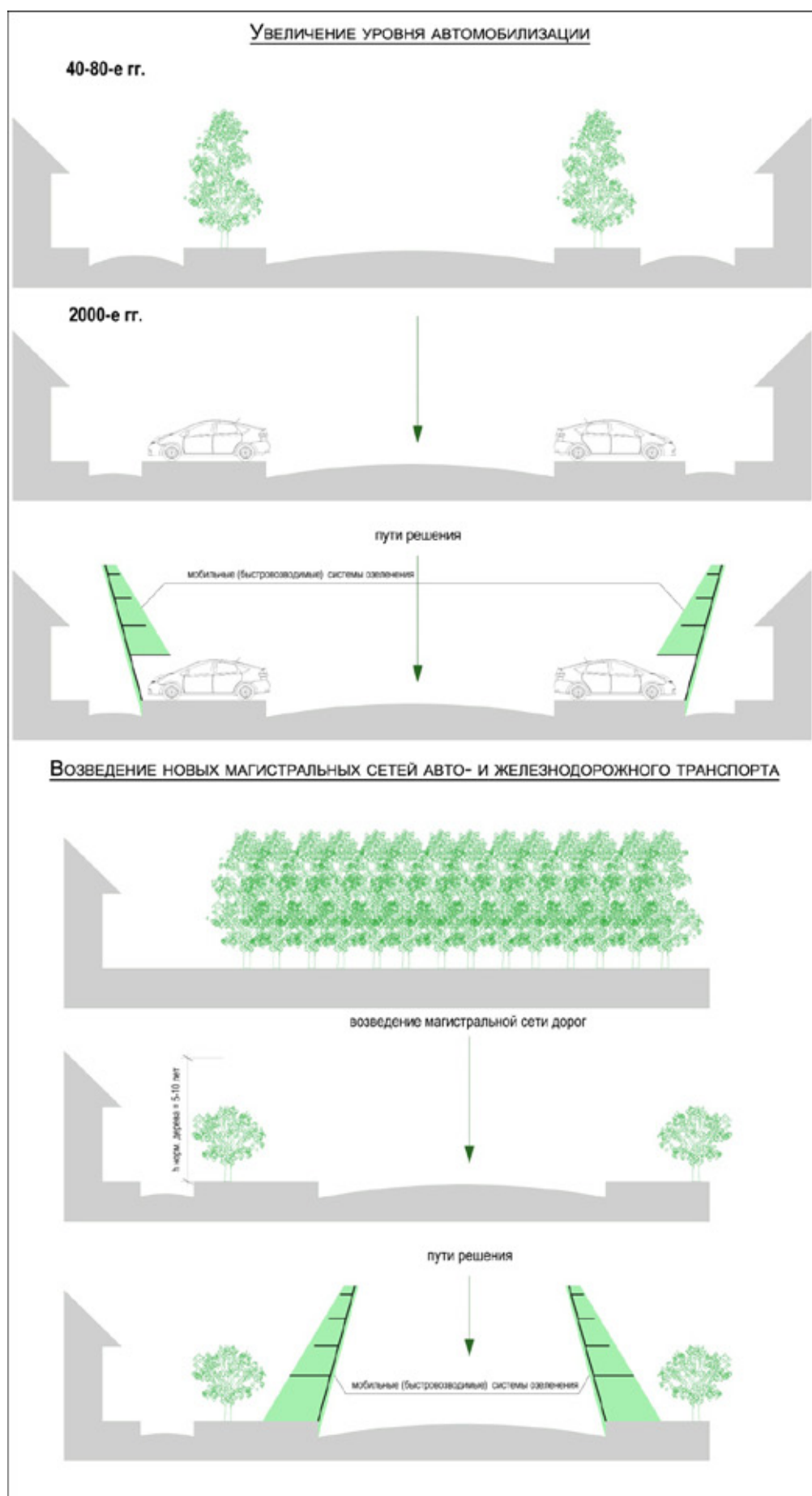


Рис. 9. Пути решения неблагоприятной экологической обстановки в жилой застройке за счет внедрения мобильных систем озеленения

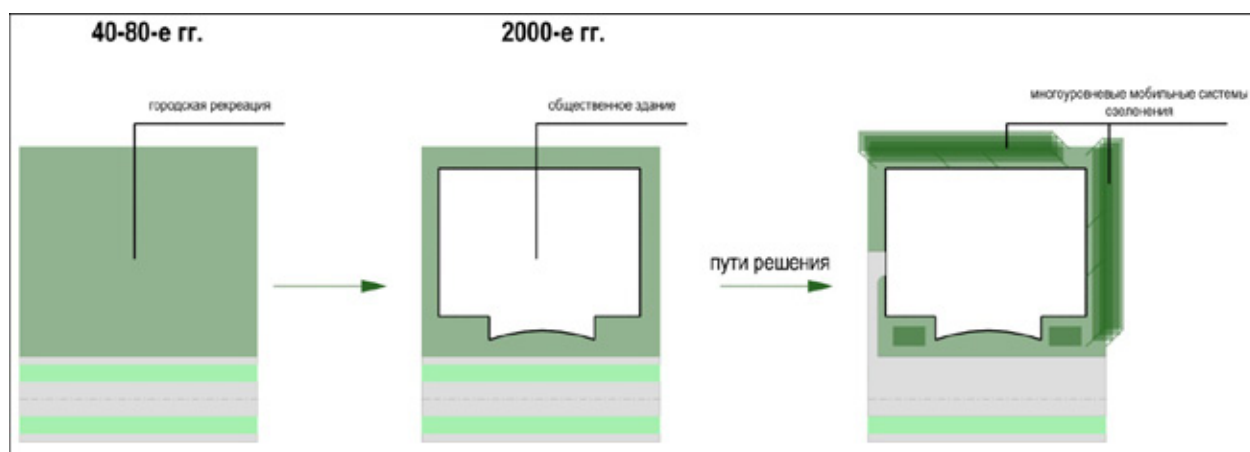


Рис. 10. Пути решения неблагоприятной экологической обстановки общественных зон за счет внедрения мобильных систем озеленения

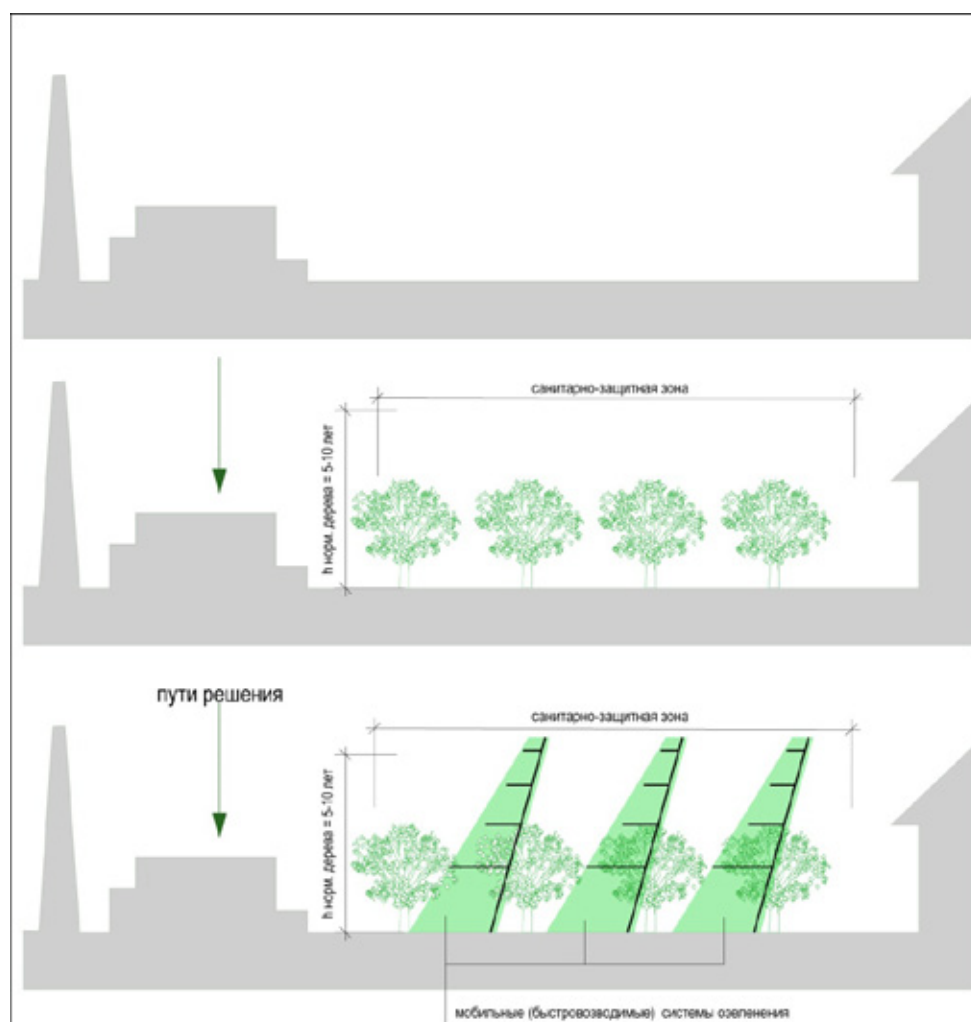


Рис. 11. Пути решения неблагоприятной экологической обстановки производственных территорий за счет внедрения мобильных систем озеленения.

3. Теодоронский В.С. Строительство и эксплуатация объектов ландшафтной архитектуры : учебник для студ. высш. учеб. заведений / В.С.Теодоронский, Е.Д. Сабо, В.А.Фролова ; под ред. В.С.Теодоронского. — М. : Издательский центр «Академия», 2006. — 352 с.
4. Вертикальное озеленение фасадов зданий [Электронный ресурс]. — Режим доступа: [http://www.remontpozitif.ru/publ/idei\\_dlja\\_sada\\_i\\_dachi/vertikalnoe\\_ozelenenie\\_fasadov/66-1-0-593](http://www.remontpozitif.ru/publ/idei_dlja_sada_i_dachi/vertikalnoe_ozelenenie_fasadov/66-1-0-593)
5. Экопарковки [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.gg-gazon.ru/romb/>
6. Howeler&Yoon, эко-коконы Бостана, [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.geekcivization.com/innovation-of-the-scientific-concept-of-eco-pods-architectural-design-with-robotic-arms-in-boston/>
7. Эко-дома. Приднепровская государственная академия строительства, Виктор Воробьев. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.domik.net/novosti/dnepropetrovsk-ukraincev-zaseljat-v-nory-p99713.html>
8. Павильон P.S. 1 2008 — «Общественная ферма 1» / P.S. 1 Pavillion 2008 — Public Farm 1 [Электронный ресурс]. — Режим доступа: [http://archi.ru/foreign/guide/object\\_current.html?oid=3898&fl=2&sl=3](http://archi.ru/foreign/guide/object_current.html?oid=3898&fl=2&sl=3)
9. Vincent Callebaut Architects, Сад-амфибия Physalia. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.archiportal.crimea.ua/novosti/631.html>
10. Датская студия n55. Проект шагающего эко-дом. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://kr-pro.livejournal.com/24326.html>
11. Дай Хайфэй (Dai Haifei). Egg House. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.bypas.ru/150311a8.html>
12. Мобильная система городского озеленения «Сфера» — это дипломный проект Екатерины Грачевой. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.usaaa.ru/news/archive/news2010/bakalavry-id>
13. Озеленение крыш зданий [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.zagranhouse.ru/article/2009/07/22/7/>

# 11. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

## Об одном методе решения задачи нестационарной теплопроводности шара с разрывными граничными условиями

Бахшинян Рубен Мушегович, кандидат физико-математических наук, доцент;

Вейнерт Яна Валерьевна, студент;

Денисова Ирина Викторовна, студент

Поволжский государственный университет сервиса (г. Тольятти)

На практике тела шаровидной формы часто используются в качестве элементов различных конструкций и механизмов (например, в гидравлических затворах больших диаметров, в поплавковых камерах и т.д.). При этом они нередко работают в тяжёлых тепловых режимах, обусловленных различием граничных условий на отдельных участках поверхностей. Это требует изучения таких проблем теплопроводности, в математической постановке которых содержатся нестационарности параметров, разрывы и т.д.

Рассматривается задача нестационарной теплопроводности полого ортотропного шара с внутренним и внешним радиусами  $R_1$  и  $R_2$ , в предположении, что материал рассматриваемого шара по теплофизическим свойствам ортотропен и главные направления теплопроводности совпадают с главными геометрическими направлениями.

Дифференциальное уравнение теплопроводности для ортотропного по теплофизическим свойствам шара [1], начальное и граничные условия для рассматриваемого случая запишутся в виде

$$\frac{\partial^2 \Theta}{\partial y^2} + \frac{2}{y} \frac{\partial \Theta}{\partial y} + \frac{\lambda^2}{y^2} \frac{\partial}{\partial x} \left[ (1 - x^2) \frac{\partial \Theta}{\partial x} \right] = \mu^2 \frac{\partial \Theta}{\partial \tau}, \quad (1)$$

$$\Theta = \Theta_0(x, y) \text{ при } \tau = 0. \quad (2)$$

$$d_i \frac{\partial \Theta}{\partial y} - (-1)^i g_i \Theta = 0 \quad (-1 \leq x < a_i) \text{ при } y = \varepsilon^{i-1},$$

$$\Theta = 0 \quad (a_i < x \leq 1) \quad (i = 1, 2), \quad (3)$$

где  $\Theta = T/T_0$ , ( $T_0 = \text{const} > 0$ );  $y = r/R_2$ ;  $x = \cos \theta$ ;  $\tau = t/t_0$  ( $t_0 = \text{const} > 0$ );  $\lambda^2 = \lambda_\theta / \lambda_r$ ;

$$a_i = \cos \theta_i; \varepsilon = R_1/R_2 < 1; \mu^2 = \rho C_0 R_2^2 / \lambda_r t_0.$$

Здесь:  $\Theta$  и  $\tau$  – безразмерная температурная функция и безразмерное время;  $x, y$  – безразмерные пространственные координаты;  $d_i$  и  $g_i$  – положительные постоянные коэффициенты ( $g_i + d_i \neq 0$ );  $\Theta_0(x, y)$  – заданная функция;  $\lambda_r$  и  $\lambda_\theta$  – коэффициенты теплопроводности соответственно в радиальном и меридиональном направлениях;  $\theta_1$  и  $\theta_2$  – полярные расстояния параллелей, разделяющих области задания граничных условий соответственно на внешней ( $i = 1$ ) и внутренней ( $i = 2$ ) поверхностях;  $\rho$  и  $C_0$  – соответственно плотность и удельная теплоёмкость материала шара.

Решение уравнения (1) можно представить в виде [2]

$$\Theta = y^{-1/2} \sum_{n=0}^{\infty} [A_n I_m(\alpha y) + B_n N_m(\alpha y)] P_n(x) \exp \left[ (-\alpha^2 \tau / \mu^2) \right], \quad (4)$$

где  $A_n$  и  $B_n$  – постоянные коэффициенты;  $\alpha$  – постоянная разделения;  $I_m(\ )$  и  $N_m(\ )$  – соответственно функция Бесселя первого рода и функция Неймана порядка  $m$ ;  $P_n(x)$  – полиномы Лежандра;  $m = \sqrt{\lambda^2 n(n+1) + 1/4}$ .

Удовлетворив граничным условиям (3), воспользовавшись рекуррентными формулами для цилиндрических функций и введя обозначения

$$X_n^{(i)} = A_n I_m(\alpha \varepsilon^{i-1}) + B_n N_m(\alpha \varepsilon^{i-1}) \quad (n = 0, 1, 2, \dots), \quad (5)$$

после некоторых преобразований получим

$$\sum_{n=0}^{\infty} (n+1/2) X_n^{(i)} P_n(x) = \Psi_i(x) \quad (-1 \leq x < a_i),$$

$$\sum_{n=0}^{\infty} X_n^{(i)} P_n(x) = 0 \quad (a_i < x \leq 1) \quad (i = 1, 2). \quad (6)$$

Парные ряды — уравнения вида (6) исследованы в работе [3]. Воспользовавшись результатами этих исследований и учитывая, что неизвестные коэффициенты  $X_n^{(i)}$  ( $i = 1, 2$ ) входят также и в функцию  $\Psi_i(x)$ , для их определения получим бесконечную однородную систему линейных алгебраических уравнений

$$X_n^{(i)} = \sum_{k=0}^{\infty} [\chi_{nk}^{(i)} X_k^{(i)} + h_{nk}^{(i)} X_k^{(3-i)}] \quad (n = 0, 1, 2, \dots), \quad (7)$$

$$\text{где } \pi \chi_{nk}^{(i)} = -d_{nk}^{(i)} \left\{ \frac{1-2\lambda\gamma_i}{\lambda(2k+1)} + (-1)^i \frac{2N_k \omega_k^{(i)}}{\omega_k^{(2)} - \omega_k^{(1)}} + \frac{2\alpha \varepsilon^{i-1}}{\lambda(2k+1)} \left[ \frac{I_{\nu+1}(\alpha)}{I_{\nu}(\alpha)} - (-1)^i \frac{M_k^{(i)} \omega_k^{(i)}}{\omega_k^{(2)} - \omega_k^{(1)}} \right] - N_k \right\};$$

$$\pi h_{nk}^{(i)} = (-1)^i d_{nk}^{(i)} \frac{2[\omega_k^{(1)} \omega_k^{(2)}]^{i-1}}{\omega_k^{(2)} - \omega_k^{(1)}} \left[ N_k - \frac{\alpha \varepsilon^{i-1} M_k^{(i)}}{\lambda(2k+1)} \right]; \quad \omega_k^{(1)} = \frac{I_{\nu}(\alpha \varepsilon)}{I_{\nu}(\alpha)}; \quad \omega_k^{(2)} = \frac{N_{\nu}(\alpha \varepsilon)}{N_{\nu}(\alpha)};$$

$$M_k^{(i)} = \frac{I_{\nu+1}(\alpha \varepsilon^{i-1})}{I_{\nu}(\alpha \varepsilon^{i-1})} + \frac{N_{\nu-1}(\alpha \varepsilon^{i-1})}{N_{\nu}(\alpha \varepsilon^{i-1})}; \quad d_{nk}^{(i)} = \frac{\sin(n+k+1)\theta_i}{(n+k+1)} + \frac{\sin(n-k)\theta}{n-k};$$

$$N_k = \frac{1-\lambda^2}{8\lambda^2(k+1/2)^2} - \frac{(1-\lambda^2)^2}{128\lambda^4(k+1/2)^4} + \frac{(1-\lambda^2)^3}{1024\lambda^6(k+1/2)^6} - \dots;$$

$$d_{nn}^{(i)} = \frac{\sin(2n+1)\theta_i}{2n+1} + \theta_i - \pi; \quad \gamma_i = (-1)^{i+1} \frac{g_i \varepsilon^{i-1}}{\lambda d_i}; \quad \nu = \sqrt{\lambda^2 k(k+1) + 1/4}.$$

Условием существования ненулевого решения системы (7) является равенство нулю её определителя

$$|\Omega_{jl}| = 0 \quad (j, l = 0, 1, 2, \dots) \quad (8)$$

Таким образом, удовлетворив однородным смешанным граничным условиям, для определения собственных значений  $\alpha_q$  краевой задачи получаем трансцендентное уравнение (8).

Показано, что определитель системы (7) является нормальным [4]. Вследствие этого, взамен (8) будем иметь

$$|\Omega_{jl}| = 0 \quad (j, l = 0, 1, 2, \dots, 2N-1). \quad (9)$$

Здесь  $\Omega_{jl}$  равен: 1)  $\chi_{nk}^{(1)}$  ( $n = j, k = l$ ), если  $j \leq N-1, l \leq N-1$ ;

2)  $h_{nk}^{(1)}$  ( $n = j, k = l$ ), если  $j \leq N-1, l > N-1$ ; 3)  $h_{nk}^{(2)}$  ( $n = j-N, k = l$ ), если  $j > N-1, l \leq N-1$ ;

4)  $\chi_{nk}^{(2)}$  ( $n = j-N, k = l-N$ ), если  $j > N-1, l > N-1$ ; 5)  $\chi_{nn}^{(1)} - 1$  ( $n = j$ ), если  $j = l \leq N-1$ ;

6)  $\chi_{nn}^{(2)} - 1$  ( $n = j-N$ ), если  $j = l > N-1$ .

Заметим, что определитель (9) системы содержит по  $2N$  строк и столбцов. При этом число  $N$  должно быть выбрано таким, чтобы обеспечить получение решения краевой задачи с наперед заданной точностью.



В силу (9), входящие в конечную систему все неизвестные коэффициенты  $X_{kq}^{(i)}$  могут быть определены с точностью до какого-либо коэффициента  $X_{sq}^{(1)}$  ( $0 \leq s \leq N-1$ ) посредством формулы

$$X_{kq}^{(i)} = \mu_{kq}^{(i)} X_{sq}^{(1)} \quad (k = 0, 1, \dots, N-1), \quad (10)$$

$$\text{где } \mu_{kq}^{(i)} = -\frac{\Delta_{kq}^{(i)}}{\Delta_q}; \quad \mu_{sq}^{(1)} = 1.$$

Здесь определитель  $\Delta_q$  получается из  $\Omega_{jl}$  отбрасыванием  $s$ -ого столбца и некоторой  $j$ -ой строки, а определитель  $\Delta_{kq}^{(1)}$  (или  $\Delta_{kq}^{(2)}$ ) получается из  $\Delta_q$  заменой  $k$ -ого (или  $k + N - 1$ ) столбца ранее отброшенным  $s$ -м столбцом. С учётом (10) и (4), получим

$$\Theta = y^{-1/2} \sum_{q=1}^{\infty} X_{sq}^{(1)} \sum_{n=0}^{N-1} G_{nq}(y) P_n(x) \exp[-\alpha_q^2 \tau / \mu^2], \quad (11)$$

где  $X_{sq}^{(1)}$  — коэффициенты, подлежащие определению из начального условия (2);

$$G_{nq}(y) = \delta_{nq}^{(1)} I_m(\alpha_q y) + \delta_{nq}^{(2)} N_m(\alpha_q y); \quad \delta_{nq}^{(1)} = \frac{\mu_{nq}^{(2)} - \mu_{nq}^{(1)} \omega_{nq}^{(2)}}{I_m(\alpha_q) [\omega_{nq}^{(1)} - \omega_{nq}^{(2)}]};$$

$$\delta_{nq}^{(2)} = \frac{\mu_{nq}^{(1)} \omega_{nq}^{(1)} - \mu_{nq}^{(2)}}{N_m(\alpha_q) [\omega_{nq}^{(1)} - \omega_{nq}^{(2)}]}.$$

Рассматриваемая нестационарная задача со смешанными граничными условиями является самосопряжённой и полностью определённой, а следовательно, собственные значения действительны и положительны [5]. Условие ортогональности собственных функций, получаемое из самосопряжённости краевой задачи, имеет вид

$$\int_{\varepsilon-1}^1 \int_{-1}^1 y^2 (\Theta)_v (\Theta)_l dx dy = 0 \quad \text{при } v \neq l. \quad (12)$$

Удовлетворив начальному условию (2), с учётом (12), неизвестные коэффициенты  $X_{sq}^{(1)}$  определим по формуле

$$X_{sq}^{(1)} = \left( \sum_{n=0}^{N-1} \xi_{nq} \right) / \left( \sum_{n=0}^{N-1} \eta_{nq} \right).$$

$$\text{Здесь: } \xi_{nq} = \int_{\varepsilon}^1 y^{3/2} G_{nq}(y) \left[ \int_{-1}^1 \Theta_0(x, y) P_n(x) dx \right] dy; \quad \eta_{nq} = \frac{2}{2n+1} \int_{\varepsilon}^1 y G_{nq}^2(y) dy.$$

Заметим, что решение задачи для случая сплошного шара может быть получено из вышеизложенных результатов путём предельного перехода ( $\varepsilon \rightarrow 0$ ).

Нахождение неизвестных коэффициентов  $X_{kq}^{(i)}$ , а также собственных значений  $\alpha_q$ , требует доказательства квази — вполне регулярности [4] системы (7). Для этого необходимо вычислить сумму модулей коэффициентов при неизвестных  $X_{kq}^{(i)}$

$$S_{ni}' = \sum_{k=0}^{\infty} |x_{nk}^{(i)}|, \quad S_{ni}'' = \sum_{k=0}^{\infty} |h_{nk}^{(i)}|.$$

Воспользовавшись асимптотическими формулами для функций Бесселя и Неймана при больших значениях индекса (когда аргумент меньше индекса, но больше нуля) [6], получим

$$\lim_{\nu \rightarrow \infty} \left[ I_{\nu+1}(\alpha \varepsilon^{i-1}) / I_{\nu}(\alpha \varepsilon^{i-1}) \right] = 0, \quad \lim_{\nu \rightarrow \infty} \left[ N_{\nu-1}(\alpha \varepsilon^{i-1}) / N_{\nu}(\alpha \varepsilon^{i-1}) \right] = 0, \\ \lim_{\nu \rightarrow \infty} \omega_k^{(1)} = 0, \quad \lim_{\nu \rightarrow \infty} \omega_k^{(2)} = \infty. \quad (13)$$

Таким образом, при любых конечных значениях  $\alpha_q$  отношения  $I_{\nu+1}(\cdot) / I_{\nu}(\cdot)$ ,  $N_{\nu-1}(\cdot) / N_{\nu}(\cdot)$  и  $I_{\nu}(\alpha \varepsilon) / I_{\nu}(\alpha)$ , начиная с некоторого номера  $k \geq k^*$ , при возрастании индекса остаются ограниченными и стремятся к нулю при  $k \rightarrow \infty$ .

В разложении  $N_k$  ограничившись первым членом разложения и, учитывая (13), с использованием мажорантного ряда получим:  $\lim_{n \rightarrow \infty} (S'_{ni} + S''_{ni}) = 0 \quad (i = 1, 2)$ .

Это даёт основание утверждать, что начиная с некоторого номера  $n \geq n^*$  имеет место неравенство  $S'_{ni} + S''_{ni} < 1 - \varepsilon$ .

Таким образом, система (7) квази — вполне регулярна, а её определитель является нормальным, при этом значение  $n^*$  зависит как от теплофизических параметров материала, так и геометрии шара.

Анализ рассмотренных числовых примеров показал, что независимо от значений параметров задачи при малых толщинах шара ( $0,95 < \varepsilon < 1$ ) во всех сечениях закон распределения температуры вдоль радиуса достаточно близок к линейному, в то время как по мере увеличения толщины появляется существенная нелинейность. Так, например, в одних сечениях аппроксимация температурной функции линейной функцией может обусловить погрешность порядка 30 %, а в других — может привести к качественно искажённой картине распределения температуры. С увеличением толщины стенки шара и уменьшением коэффициента теплопроводности в радиальном направлении существенно изменяется не только величина, но и направление теплового потока в стенке шара. Выполненные расчёты показали также, что анизотропия теплофизических свойств и смешанные граничные условия могут внести значительные изменения в картину распределения температуры.

#### Литература:

1. Беляев Н.М., Рядно А.А. Методы нестационарной теплопроводности. — М.: Высшая школа, 1978. — 328 с.
2. Араманович И.Г., Левин В.И. Уравнения математической физики. — М.: 1979. — 286 с.
3. Баблюян А.А. Решение некоторых парных уравнений. ДАН Арм.ССР, 1964, т.39, №3, С. 149—157.
4. Канторович Л.В., Крылов В.И. Приближённые методы высшего анализа. — М. — Л.: Физматгиз, 1962. — 695 с.
5. Коллатц Л. Задачи на собственные значения. — М.: Наука, 1968. — 504 с.
6. Ватсон Г.Н. Теория Бесселевых функций. — М.: ИИЛ, 1969. — 798 с.

## Очистка углеродного наноматериала «Таунит» при помощи вакуумных электропечей

Жуков Максим Олегович, магистрант

Тамбовский государственный технический университет

В настоящее время углеродный наноматериал «Таунит» изготавливают в промышленных масштабах. Основным методом его получения является каталитический пиролиз. Суть его состоит в том, что нановолокна образуются при разложении углеводородов под действием высоких температур (600—900 °С) в присутствии катализаторов. В результате реакции образуется смесь наноматериала с порошкообразными носителями катализатором [1, с. 2]. Особенностью пиролитических методов является окклюзия частиц катализатора в закрытых полостях углеродных нанопроductов. Для очистки углеродных нанопроductов от металлов-катализаторов и носителей смесь обрабатывают концентрированными кислотами, промывают дистиллированной водой и сушат. Окклюзированные частицы металлов не растворяются в кислотах и загрязняют нанотрубки и нановолокна.

Неочищенный «Таунит» содержит поверхностный водород, аморфный углерод, графитизированные частицы и частицы оксида магния с металлами (до 60 масс. %), а отмытые в кислоте углеродные нанотрубки (УНТ) — повер-

хностный водород, аморфный углерод, окклюдированный катализатор и графитизированные частицы в сумме до 10 %.

Таким образом, очистка кислотами с последующей промывкой водой и сушкой не позволяет полностью удалить зольные примеси. К тому же образуется большое количество экологически вредных отходов.

Для электродов химических источников, портативных компьютеров, для атомной техники, приборостроения требуются УНТ и УНВ с чистотой не менее 99,9 %.

Широко известно, что при воздействии на углерод высокими температурами содержащиеся в нем примеси испаряются. Но, в свою очередь, это может вызвать процесс графитации — изменение структуры углеродного материала [2, с. 68]. Оксиды катализатора при их нагреве в присутствии высокодисперсного наноматериала могут восстанавливаться до металлов, образовывать карбиды и удаляться в виде окиси или двуокиси углерода. Данный эффект достигается понижением давления, а как следствие скорости реакции. Температура взаимодействия

Таблица 1

Содержание примесей в сходных и очищенных наноматериалах в зависимости от температуры при выдержке 1 час.

Катализатор	Зольность образца, масс %, при температуре, °С				
	Исходный	1500	1700	1800	1900
Ni:La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	23–25	< 0,1	-	< 0,1	< 0,1
Ni:Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	23–25	23,1	-	-	< 0,1
Ni:MgO	9–12	-	-	< 0,1	< 0,1
Ni	21,2	20,17	< 0,1	-	< 0,1

углерода с основными веществами, используемыми в качестве катализаторов варьируется от 400 °С (начало взаимодействия) до 1300 °С (легкоплавкая эвтектика) у Ni; и около 1650 °С у MgO. В целом известно, что при 1000–2300 °С в вакууме скорость испарения большинства элементов, применяемых для получения не только УНМ «Таунит», но и для многих других наноматериалов получаемых методом пиролиза и остающихся в качестве при-

месей значительно выше чем у углерода. Данный факт говорит о том, что применение для очистки углеродных наноматериалов в вакууме, а именно в вакуумных печах, перспективный, но главное легко реализуемый на практике метод.

Вывод: метод очистки углеродного наноматериала «Таунит» при помощи вакуумной электропечи является эффективным, экологичным, экономически выгодным.

#### Литература:

1. Ткачев А.Г., Шубин И.Н., Попов А.И. Промышленные технологии и инновации. Оборудование для наноиндустрии и технология его изготовления. // Изд-во ГОУ ВПО ТГТУ, 2010.
2. Островский В.С., Виргильев Ю.С., Костиков В.И., Сысков К.И. Искусственный графит. // М.: Металлургия, 1986.

## К расчету параметров технологии подготовки искусственных сушенцовых полигонов при разработке россыпных месторождений

Коростовенко Вячеслав Васильевич, доктор технических наук, профессор;  
Морозова Надежда Валентиновна, ведущий инженер  
Сибирский федеральный университет

*В статье представлена методика расчета параметров технологии подготовки искусственных сушенцов при разработке россыпных месторождений*

Природные сушенцовые зоны, как правило, приурочены к русловой фации аллювиальных отложений. Причем до начала отрицательных температур на таких отложениях существовали хорошие условия для их дренирования. Одним из факторов, снижающим возможность создания искусственных сушенцовых зон, является проницаемость торфов, связанная с содержанием глинистых минералов. Максимальное содержание глины в торфах не должно превышать 5 % [1].

Технология подготовки искусственных сушенцов состоит из двух основных элементов: оттаивания мерзлых торфов (обычно фильтрационно-дренажным способом или с помощью буровых скважин) и уменьшения влажности отложений до критической величины (3,5 %) при

помощи дренирования оттаянного массива. После этого торфа готовы к круглогодичной разработке любой землеройной техникой без предварительного рыхления.

С целью расширения области применения этого способа были проведены лабораторные, а позднее опытно-промышленные исследования по подготовке искусственных сушенцов с содержанием глины в торфах до 15 %.

Идеей работы явился способ подготовки сушенцовых зон с предварительной фильтрацией в массиве россыпи активированного раствора реагента (АРР) [2]. В качестве фильтрующей жидкости использовался реагент — хлорное железо.

После обработки результатов лабораторных экспериментов получена зависимость коэффициента фильтрации

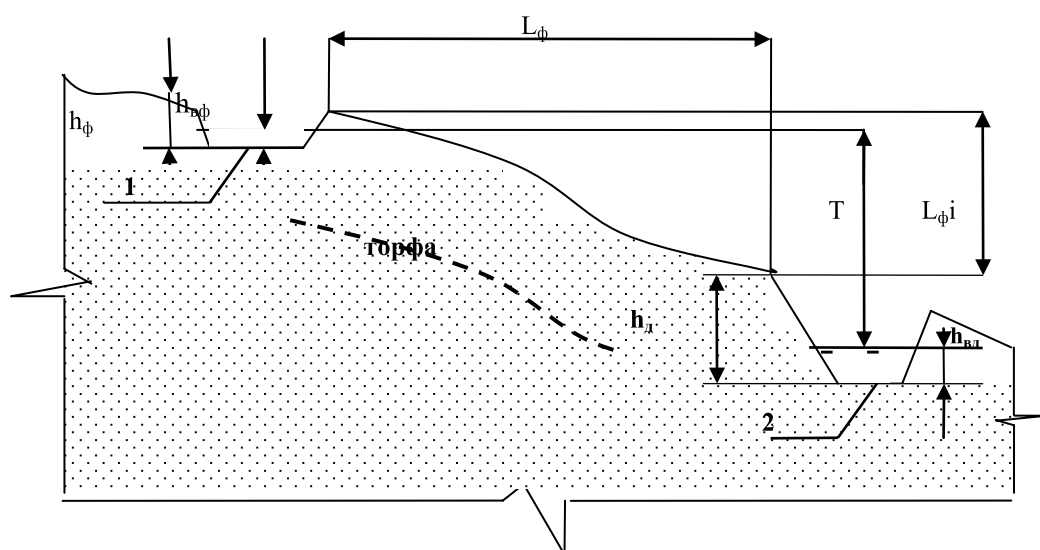


Рис. 1. Технологическая схема для расчета параметров фильтрационно-дренажной оттайки:

1 – фильтрационная канавы; 2 – дренажная канавы;  $L_\phi$  – расстояние между канавами, м;  
 $h_{в\phi}$  – глубина потока воды в фильтрационной канаве, м;  $h_{вд}$  – глубина потока воды в дренажной канаве, м;  
 $h_\phi$  – глубина фильтрационной канавы, м;  $h_d$  – глубина дренажной канавы, м;  $T$  – глубина дренирования, м

торфов от содержания в них глинистых частиц после их обработки АРР

$$K_\phi = 63,4 \cdot e^{-0,119 \cdot C_{гл}}, \quad (1)$$

где  $C_{гл}$  – содержание глинистых минералов, %.

В промышленных условиях эксперименты проводились на одном из россыпных месторождений Саха (Якутия). Выбор способа питания фильтрационного потока (АРР) принимался в зависимости от типа разреза, толщи мерзлых пород, их мощности и характера рельефа участка россыпи. Дренажные канавы (рис. 1) применялись при заданной глубине оттаивания до 6 м.

Контроль над процессом осушения торфов осуществлялся путем измерения уровней фреатической поверхности в пьезометрических скважинах. Для определения остаточной влажности торфов перед наступлением сильных холодов проходили контрольные канавы с отбором и опробованием образцов. Если влажность торфов была меньше критической, то полигон считался готовым к круглогодичным вскрышным работам.

Поглощающие буровые скважины применялись при глубине оттаивания до 8 метров и содержании в толще торфов линз слабопроницаемых пород.

Фильтрационно-дренажное оттаивание по своим технологическим и организационным характеристикам наиболее простой способ оттайки. Практически фильтрационно-дренажная оттайка применяется при необходимой глубине оттаивания не превышающей 5–6 метров, хотя доказана возможность достижения глубины до 8 м.

В ходе промышленных экспериментов было установлено, что кроме расстояния между дренами, продолжи-

тельностью обработки торфов АРР на скорость и себестоимость фильтрационно-дренажной оттайки оказывает влияние и глубина дренажных канав.

Установлено, что при увеличении расстояния между дренажными канавами в несколько раз превышающего глубину оттаивания, скорость оттаивания становится недостаточной, что требует увеличения глубины заложения горизонтальных дрен до 3 м (при мощности подготавливаемого пласта сушенцов до 6м).

При этом рассматривают два варианта расчета. Первый – предусматривает, что массив торфов однородный с равномерным содержанием глинистого цемента. Второй – предусматривает неоднородное содержание глины в торфах (слоистые породы).

При фильтрационно-дренажном оттаивании в однородном массиве торфов (первый вариант расчета) имеет место равномерная установившаяся фильтрация, при которой линии тока фильтрующегося активированного раствора реагента (АРР) являются параллельными прямыми. При такой фильтрации форма и размеры живого сечения потока не изменяются по его длине. Так как границы подготавливаемого полигона не создают особых условий для сил сопротивления, то движение АРР во всей области фильтрации будет одинаковым.

В случае конформного отображения области приведенного комплексного потенциала одномерной установившейся фильтрации, которая происходит в проницаемом пласте торфов при фильтрации несжимаемого активированного раствора реагента, поток имеет свободную поверхность в форме наклонной плоскости с уклоном, равным уклону плотика  $i = \tan \alpha$ . В этом случае пьезометрический

уклон является уклоном свободной поверхности плотика и равен уклону ( $i$ ), а потому скорость фильтрации в любой точке россыпи составит

$$V = K_{\phi} \cdot i, \quad (2)$$

Фильтрационный расход АРР

$$Q = F \cdot V = K_{\phi} \cdot F \cdot i, \quad (3)$$

Или с учетом (1)

$$Q = 63,4 \cdot e^{-0,119C_{ca}} \cdot F \cdot i, \quad (4)$$

При фильтрационно-дренажном оттаивании имеет место горизонтальная дрена, т.е. случай симметричной фильтрации. Поэтому при определении области приведенного комплексного потенциала фильтрации примем за плоскость сравнения напоров плоскость горизонтальной дрены. В этом случае живое сечение фильтрационного потока прямоугольное, тогда

$$F = b \cdot H, \quad (5)$$

Из формулы (4) удельный расход составит

$$q = 63,4 \cdot e^{-0,119C_{ca}} \cdot i \cdot H, \quad (6)$$

Отсюда расстояние между канавами составит

$$L_{\phi} = \frac{H \cdot K_{\phi} \cdot T}{q}, \quad (7)$$

С учетом реологических свойств фильтрующей жидкости расстояние между горизонтальными дренами можно определять по формуле

$$L_{\phi} = \frac{H \cdot K_{\phi} \cdot T \cdot \nu_0}{q \cdot \nu \cdot \mu_{ГР}}, \quad (8)$$

где  $\nu$  — вязкость активированного раствора реагента, мПа\*с;  $\nu_0$  — вязкость воды, мПа\*с;  $\mu_{\phi}$  — коэффициент гравитационной водоотдачи, доли ед.

При использовании буровых скважин правильно будет воспользоваться уравнениями осесимметричной одномерной фильтрации [3] в цилиндрических координатах

$$\frac{d}{dr} \left( r \frac{dh}{dr} \right) = 0, \quad (9)$$

После интегрирования этого уравнения получим величину напора

$$H = \frac{Q}{2\pi r T} \ln \frac{r}{r_0} + h_0, \quad (10)$$

где  $h_0$  — напор в самой скважине, м;  $r$  — цилиндрические координаты движения активированного раствора реагента по оси ( $r$ ).

Полученное выражение является уравнением кривой напоров при фильтрации к скважине. Уравнение кривой напоров для случая оттока от скважины (поглощающая скважина) имеет вид

$$h = -\frac{Q}{2\pi K_{\phi} T} \ln \frac{r}{r_0} + h_0, \quad (11)$$

Из последнего уравнения, полагая, что на расстоянии  $R$  от скважины  $h=H$ , получим формулу для расхода, поглощаемого скважиной

$$Q = \frac{2\pi K_{\phi} T (h_0 - H)}{\ln \frac{R}{r_0}}, \quad (12)$$

Как видно из формулы (12), для определения искомого расстояния  $R$  от скважины необходимо знать напор потока, расход и реологию фильтрующегося АРР

$$R = \frac{\nu_0}{\nu \mu_{\phi}} \cdot e^{\frac{2\pi K_{\phi} T H}{Q}}, \quad (13)$$

В результате проведенных лабораторных и промышленных экспериментов установлено, что обработка торфов активированным раствором реагента позволяет увеличить скорость фильтрации в 2–4 раза [2]. Достигнутый эффект сделал возможным подготовку искусственных сушенцовых зон на торфях с содержанием глины до 15%. При увеличении содержания глины в торфях свыше 15% коэффициент фильтрации снижается до 0,2 м/сут., что исключает возможность реализации разработанной технологии.

Установлено, что при конформном отображении области приведенного комплексного потенциала одномерной установившейся фильтрации, которая происходит в проницаемом пласте торфов при фильтрации несжимаемого активированного раствора реагента, поток имеет свободную поверхность в форме наклонной плоскости с уклоном, равным уклону торфов. В этом случае пьезометрический уклон является уклоном свободной поверхности оттаиваемого массива торфов.

Оттаивание торфов мощностью до 6 метров рекомендуется проводить с помощью наиболее экономичного фильтрационно-дренажного способа. В случае большей мощности торфов (до 8 м.) оттаивать их следует с помощью буровых скважин.

При подготовке искусственных сушенцов на россыпных месторождениях основным видов дренажных работ являются горизонтальные дрена. При глубине оттаивания значительно превышающей расстояние между дренами, заложение последних должно быть не менее 3-х метров при глубине торфов до 6 метров.

Основными факторами, определяющими расстояние между скважинами или горизонтальными дренами



при подготовке искусственных сушенцов, являются содержание глины в россыпи, мощность обрабатываемого и водоносного слоев. Достигнутые в процессе дренирования значения критической влажности 3,5 %, позволили

разрабатывать мерзлые торфа даже легкими бульдозерами во время сильных морозов. На участках россыпи, где льдистость торфов не удалось понизить ниже 4,5 %, была успешно использована тяжелая землеройная техника.

#### *Литература:*

1. Гидравлическое оттаивание мерзлых пород / В.Г. Гольдтман, В.В. Знаменский, С.Д. Чистопольский. Труды ВНИИ-1, 1970., т. XXX. — 440 с.
2. О применении метода конформных преобразований для расчета параметров технологии искусственных сушенцов. / В журнале Сибирского Федерального университета / Техника и технологии. Красноярск: СФУ.- 2010, №3 (4), С. 396–405.
3. Основы гидрогеологических расчетов / Ф.М. Бочеввер, И.В. Гармонов, А.В. Лебедев, В.М. Шестаков. — М.: Недра. 1969. — 369 с.

## **Причинно-следственный подход для анализа безопасности сложных систем**

Лапковский Роман Юрьевич, аспирант

Саратовский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского

### **Введение**

Проблема безопасности является одной из наиболее острых проблем практически во всех отраслях деятельности человека. Однако наиболее сложными являются задачи анализа безопасности в сложных системах, таких как транспорт, производственные предприятия, электростанции и другие крупные образования со сложной структурой, разнородным составом и ключевой ролью человека на всех этапах функционирования системы.

Сложность задач анализа безопасности и значительное число аварий от крупных катастроф до небольших поломок обуславливают актуальность разработки подходов к исследованию безопасности и методов ее повышения за счет преждевременного прогнозирования аварийных ситуаций, выработке мероприятий по их предотвращению, поиску истинных причин уже произошедших и др.

### **Фактор безопасности в сложных системах**

Особенности сложных систем делают достаточно затруднительным их исследование, особенно с точки зрения безопасности. Современные модели и методы исследования сложных систем ориентированы на какую-то одну составляющую системы, а не на всю систему в целом. В то время как большинство аварийных и нештатных ситуаций возникают именно при одновременном стечении множества обстоятельств различной природы. Найти причины таких аварий возможно только рассматривая все составляющие в рамках единой системы. Особенно важным является человеческое звено, которое существенным образом влияет на исход ситуации [1, 2].

Это обуславливает необходимость разработки моделей, охватывающих все компоненты системы, включая человеческий фактор. Построение таких моделей требует

применения подходов, основывающихся на достаточно общих понятиях, которые позволят связать между собой большое количество разнородных составляющих системы. Одним из таких подходов является причинно-следственный подход, основанный на применении причинно-следственных комплексов (ПСК) [1].

### **Причинно-следственные комплексы**

Построение модели системы предлагается выполнять, основываясь на подходе с применением ПСК. Структура комплекса строится на основе декомпозиции исследуемой системы и представляет собой структуру связанных между собой причинно-следственных звеньев (ПСЗ) (рис. 1), отражающих необходимые причинно-следственные зависимости.

Каждое звено представляется группой причины (причина и условие), группой следствия (следствие и изменившиеся условия) и ядром. Ядро описывает соответствующую причинно-следственную зависимость, формируя группу следствия по заданной группе причины [1]. При этом задаваться ядро может произвольным способом: формулой, уравнением, алгоритмом, нейронной сетью и др.

Теория ПСК также дает отправную точку для основных принципов декомпозиции, выделяя в сложной системе шесть основных классов ее компонентов: командно-информационный (график, инструкция, правило, распоряжение и т.п.), человеческое звено (исполнители, специалисты, водители, операторы и т.п.), оборудование (станки, приборы, автомобили и т.п.), энергообеспечение (топливо, электроэнергия и т.п.), материалы (сырье, комплектующие, грузы и т.п.), внешние условия (погода, климат, дорожные условия и т.п.). На основе этих шести



Рис. 1. Структура причинно-следственного звена

базовых компонентов, путем их всевозможных комбинаций, могут получаться новые, обладающие новыми характеристиками и свойствами.

#### Трудности приложения теории причинно-следственных комплексов

Подход с использованием ПСК позволяет решить ряд задач декомпозиции и построения моделей сложных систем. Однако он описывает лишь общую структуру системы и статические причинно-следственные зависимости в цепочке событий во времени, не предоставляя формального аппарата для построения полной модели и ее реализации с помощью вычислительной техники.

При реализации моделей ПСК на ЭВМ возникает ряд трудностей, не позволяющих использовать рассматриваемый подход с достаточной эффективностью. Заметим, что трудности носят острый характер именно на этапе реализации.

Первая трудность при построении ПСК сложных систем возникает, когда необходимо описать обратную связь между компонентами системы. Обратная связь присутствует практически повсеместно, однако ее описание требует циклических конструкций в ПСК, что недопустимо. Дело в том, что модель ПСК статична, при поступлении сигнала на входные терминалы комплекса появляются соответствующие сигналы на всех внутренних и выходных терминалах. Таким образом, обратная связь может образовывать противоречие между сигналом прямой и обратной связей. Поэтому применение обратных связей требует каких-либо надстроек над классической теорией ПСК. Одним из наиболее частых применений обратной связи является описание циклических операций.

Другая трудность заключается в том, что даже сравнительно небольшие системы имеют огромное число возможных состояний, что влечет за собой значительно число

разнотипных элементов групп причины и следствия. На практике представление всего этого многообразия различных свойств и состояний с помощью подмножества множества всех возможных состояний является очень громоздким решением. Необходимо составить множество всех возможных состояний всех элементов системы и всех их комбинаций. Для сложных систем эта задача практически не выполнима, а обработка информации ядрами в таком виде очень затруднительна.

#### Причинно-следственная сеть

Для решения ряда проблем, возникающих при построении и реализации моделей сложных систем с применением ПСК, предлагается использовать причинно-следственный подход с использованием причинно-следственной сети (ПСС). При этом сохраняется основная идея, элементы и понятия теории ПСК, однако вносится ряд усовершенствований в принципы взаимодействия звеньев.

Причинно-следственная сеть представляется тройкой  $N = (H, L, E)$ , где

$H = \{h_1, \dots, h_n\}$  — множество ПСЗ;  $L = \{l_1, \dots, l_m\}$  — множество связей между звеньями;

$E = \{o_1, \dots, o_r\}$  — множество классов элементарных событий.

Звенья ПСС  $\{h_1, \dots, h_n\}$  имеют такую же структуру, как и звенья ПСК — представляется двумя терминалами группы причины, двумя терминалами группы следствия и ядром, описывающим связь между ними.

Каждая связь из множества  $L$  задается тройкой  $l_i = (h', h'', r)$ , где  $h' \in H$  — начальное звено (из которого исходит связь);  $h'' \in H$  — конечное звено (к которому заходит связь);  $r \in \{EC, EC1, C2C, C2C1\}$  — атрибут, определяющий участвующие в связи терминалы на звеньях  $h', h''$ .  $EC$  — из терминала следствия в терминал

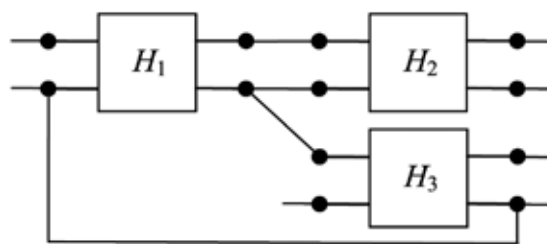


Рис. 2. Пример структуры ПСС

причины;  $EC1$  — из терминала следствия в терминал условия 1;  $C2C$  — из терминала условия 2 в терминал причины;  $C2C1$  — из терминала условия 2 в терминал условия 1.

Каждый элемент множества классов элементарных событий  $E$  описывается рядом атрибутов, описывающих индивидуальные характеристики данного класса событий, а также областью допустимых значений, которые могут принимать атрибуты. Конкретные элементарные события (с заданными значениями атрибутов) являются основными единицами взаимодействия между звеньями ПСС.

Структура ПСС может быть представлена графически в виде графа, отражающего структуру звеньев и связей между ними (рис. 2). При использовании ПСК набор данных в терминалах группы причины ПСЗ может быть трактован как сигнал, сформированный другими звеньями или переданный как входной с внешних терминалов ПСК. Этот сигнал не изменяется во времени до тех пор, пока не изменится входной сигнал ПСК. После подачи данных на входные терминалы ПСС данные в терминалах звеньев непостоянны и могут неоднократно изменяться на протяжении всего времени работы сети. Это позволяет снять ограничение на применение обратной связи в структуре сети.

Рассмотрим подробнее принцип организации взаимодействия между звеньями в ПСС. В сложных системах каждую секунду происходит огромное число разнообразных событий. Каждое из них формируется одним объектом системы и оказывает влияние ряд других объектов, изменяя их состояние и заставляя самим генерировать новые события. При построении модели реальной системы учесть все события невозможно, поэтому выделяется ряд наиболее важных и значимых из них с точки зрения задачи. Выделенные элементарные события представляют собой основную рабочую единицу ПСС. Множество всевозможных элементарных событий удобно разбить на классы, группирующие их по схожести природы и структуры, выраженные атрибутами события.

Звенья в ПСС отражают те или иные объекты описываемой системы, а связи между звеньями отражают характер взаимосвязи между этими объектами. Таким образом, ПСЗ описывают поведение соответствующих объектов, изменяя их состояние и формируя новые эле-

ментарные события в ответ на поступившие к ним от других звеньев. Функционирование звена можно описать выражением:  $h: (e_1, \dots, e_t) (e_{t+1}, \dots, e_u) \rightarrow h: ((e_u + 1, \dots, e_z), (e_z + 1, \dots, e_w))$ , где  $e_1, \dots, e_w \in E$ ,  $e_1, \dots, e_u$  — поступившие события (события-причины),  $e_{u+1}, \dots, e_w$  — новые события (события-следствия).

Функционирование звена ПСС можно представить следующими этапами.

1. Поступление элементарных событий в терминалы группы причины, при этом они формируют очередь по мере поступления.

2. Анализ накопленных событий. Если в группе причины находятся необходимые для формирования следствия события, то срабатывает заложенный в ядре механизм. На терминалах группы следствия формируется новые события, которые, в соответствии со связями, передаются другим звеньям.

3. Звено переходит в режим приема и накопления событий.

### Заключение

Предложенный подход с применением ПСС основан на теории ПСК, которая дает эффективную базу для системного анализа сложных систем, исследования ее структуры и сложного разнородного состава, а также для объединения разнородных моделей компонентов в рамках единой системы. Применение ПСС предоставляет механизмы формализации моделей компонентов системы и связей между ними с помощью вычислительной техники. Общность подхода и возможность объединить в рамках единой модели разнородные компоненты системы позволяют выполнять анализ безопасности, осуществлять поиск причин аварийных ситуаций, прогнозировать их и др.

На основе рассмотренного подхода реализован программный комплекс по моделированию развития дорожной обстановки в штатном и аварийном режимах, а также предложен основанный на данной модели метод поиска причин дорожно-транспортных происшествий. Также имеются основанные на теории ПСК работы по анализу и повышению безопасности авиационного транспорта, оптимизации работы сети заправочных станций, стекольного и цементного производств [2, 3, 4].

*Литература:*

1. Резчиков А.Ф., Твердохлебов В.А. Причинно-следственные модели производственных систем. — Саратов: Издательский центр «Наука», 2008. — 137 с.
2. Иванов А.С., Лапковский Р.Ю., Уков Д.А., Филимонюк Л.Ю. Причинно-следственный подход к расследованию аварийных ситуаций в человеко-машинных системах // Мехатроника, автоматизация, управление. — 2012. № 2. — С. 38–43.
3. Лапковский Р.Ю., Иванов А.С., Иващенко В.А. Причинно-следственный подход к моделированию движения на сложных участках дорожно-транспортной сети // Управление большими системами. Выпуск 35. — М.: ИПУ РАН. 2011. — С. 283–303.
4. Иванов А.С., Лапковский Р.Ю., Уков Д.А., Филимонюк Л.Ю. Кибернетический подход к моделированию разнородных процессов в мехатронных системах // Мехатроника, автоматизация, управление. — 2011. № 1. — С. 16–20.

## **Математическая модель горения пропан-бутановой смеси при недостатке окислителя в диффузионной горелке**

Польшиков Виталий Юрьевич, аспирант  
Тамбовский государственный технический университет

Для идентификации процессов протекающих при сжигании топлива в горелочных устройствах необходимо спрогнозировать ход и параметры гидродинамических и тепло-массообменных процессов. Моделирование течения с горением является наиболее сложной задачей движения газа. Данная проблема может эффективно решаться в системе вычислительной гидродинамики FlowVision. FlowVision решает задачи внешней и внутренней аэро-гидродинамики, в частности, задачи диффузионного горения и горения предварительно подготовленных топливных смесей. Последнее обстоятельство является основным при выборе этой системы для моделирования процесса сжигания топливных компонент в диффузионной горелке с «реальными» размерами и расходами газов.

Виртуальный эксперимент в системе вычислительной аэро-гидродинамики, в отличие от натурных испытаний, значительно снижает трудоемкость подготовительных мероприятий, упрощает экспериментальную часть работы, более наглядно и детально раскрывает суть происходящих процессов.

Модель горения в системе FlowVision включает расчет конечно-объемным методом параметров процесса по уравнениям:

- Навье-Стокса (закон сохранения импульса);
- неразрывности (закон сохранения массы сплошной среды);
- закона сохранения энергии, записанного через энтропию;
- переноса реагентов в приближении брутто-реакции (перенос топлива, окислителя и продуктов сгорания);
- $k$ - $\epsilon$  модели турбулентности.

Эта модель представляет собой развитие модели течения слабосжимаемой жидкости со всеми ее ограниче-

ниями, но при этом учитывается горение газовой смеси. Предполагается, что газовая смесь может быть предварительно перемешана и не перемешана. Ограничения модели предполагают течение с любыми изменениями плотности среды (однако числа Маха все равно малы — т.е. изменения плотности обусловлены только температурными эффектами или влиянием примесей в газе).

При решении задач в FlowVision дифференциальные уравнения аппроксимируются на расчетной сетке в предположении, что каждая ячейка представляет собой конечный объем, в котором скорости изменения физических величин сбалансированы потоками этих величин через грани ячейки. Для расчета используется прямоугольная сетка с локальным измельчением расчетных ячеек у криволинейных границ, кромок и граничных областей малого размера.

Решение конкретных задач во FlowVision предполагает создание трехмерной модели реального объекта во внешней системе автоматизированного проектирования (AutoCAD, ParaSolid, SolidWorks, T-Flex и др.) с последующим импортом геометрии в препроцессор FlowVision. В препроцессоре реализуется интерактивное задание граничных условий на поверхностях модели, диагностика и трансформация геометрии. Далее следуют этапы:

- выбор математической модели (в нашем случае — Модель горения);
- задание граничных условий;
- задание исходной расчетной сетки и критериев её адаптации по решению и по граничным условиям;
- задание параметров расчетного метода;
- проведение расчета (без участия пользователя);
- просмотр результатов расчета по выбранным параметрам в графической форме;

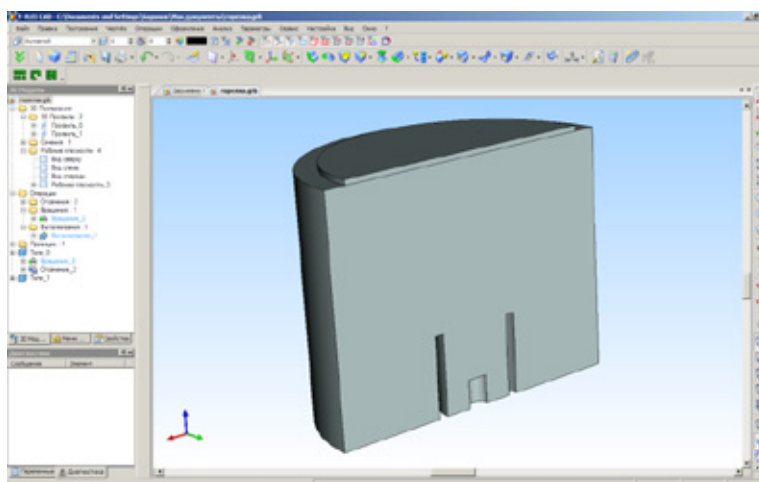


Рис. 1. Разрез 3D-модели диффузионной горелки

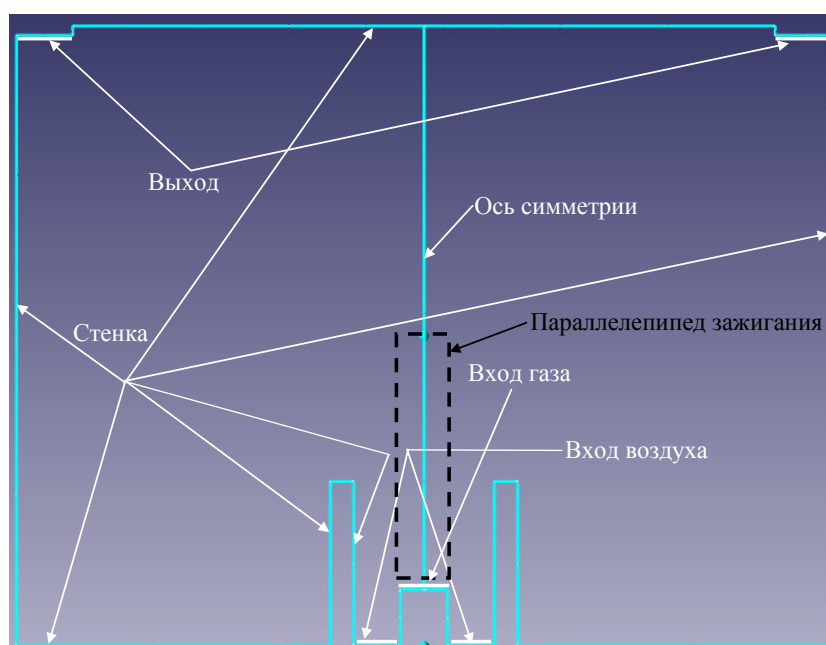


Рис. 2. Граничные условия при моделировании процесса в диффузионной горелке

— оценка точности расчетов методом сходимости по сетке.

Блок расчета уравнений и постпроцессор (часть программы, в которой анализируются результаты расчета) объединены и работают одновременно. Это позволяет проводить моделирование и одновременно анализировать результаты, менять граничные условия и параметры математической модели.

Для моделирования процесса в диффузионной горелке с кольцевым соплом для подачи воздуха построена ее 3D-модель в системе T-Flex CAD 3D (рис. 1).

Геометрия из T-Flex CAD экспортировалась через обменный формат Stereo Lithography (stl) и подгружалась в систему FlowVision. В препроцессоре выбирались осесимметричная задача, устанавливались начальные параметры соответствующие нормальным условиям, из стан-

дартной библиотеки загружались свойства компонентов, подаваемых на горение (воздух и пропан-бутан), и свойства продуктов сгорания для заданной смеси, создавался фильтр одноразового зажигания в параллелепипеде и задавались граничные условия (названия границ указаны стрелками на рис. 2).

В качестве начальных значений и физических параметров модели задавались начальная температура  $T=293$  К; давление 101325 Па; пульсация 0,03; масштаб турбулентности 0,01 м, стехиометрический коэффициент  $k_m=15,67$  (для топливной смеси пропан-бутан + воздух); температура воспламенения 750 К; диапазон коэффициента избытка окислителя в котором горение поддерживается самопроизвольно  $\alpha=0,02-3$ , выбиралась пульсационная модель химической кинетики процесса.



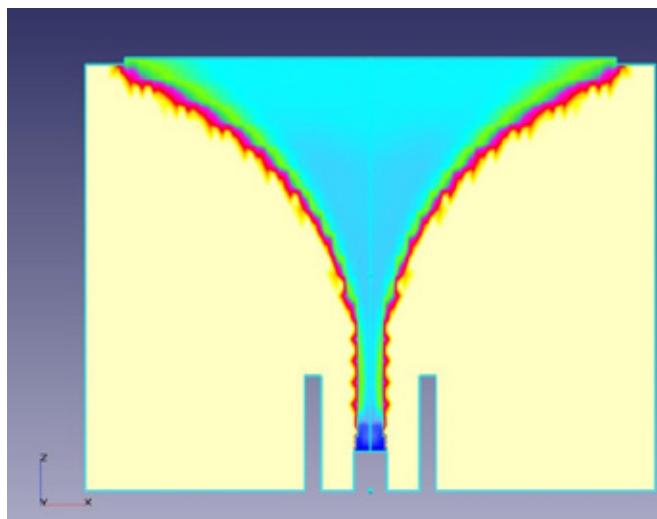


Рис. 3. Распределение величины коэффициента избытка окислителя  $\alpha$  в сечении диффузионной горелки

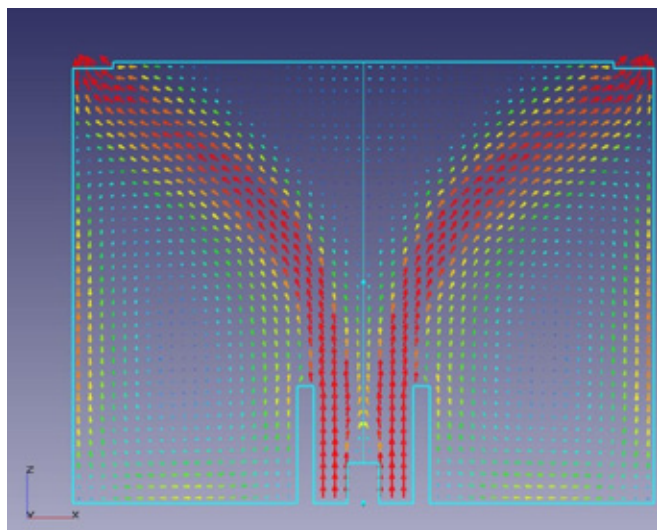


Рис. 4. Векторное поле модуля скорости в сечении диффузионной горелки

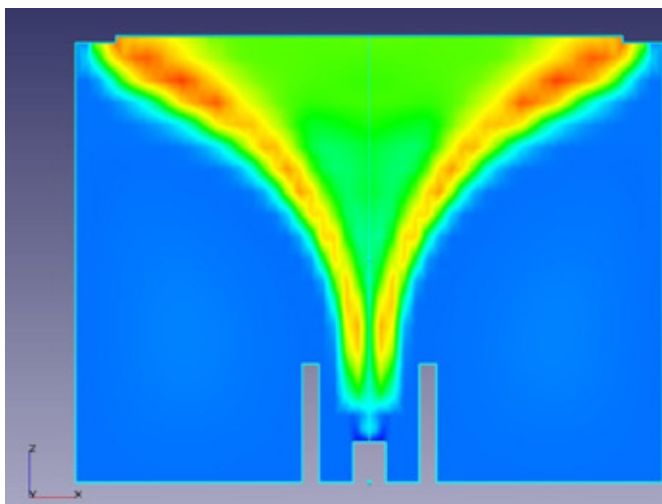


Рис. 5. Температурное поле в сечении диффузионной горелки

Использовались следующие параметры для границ и источника зажигания в примере расчета форсированных режимов горения (с высоким выходом углеродного депозита при  $\alpha=0,4$ ;  $k_m=6,9$ ):

- «Стенка» — тип границы — «Стенка», логарифмический закон изменения скорости;

- «Вход газа» — тип границы — «Вход/Выход», температура 20 °С, концентрация 1, нормальная массовая скорость  $0,1139 \times 10^{-4}$  кг/(м<sup>2</sup>×с);

- «Вход воздуха» — тип границы — «Вход/Выход»; температура 20 °С, концентрация 0, нормальная массовая скорость  $0,10834$  кг/(м<sup>2</sup>×с);

- «Выход» — тип границы — «Свободный выход»;

- «Параллелепипед зажигания» — для расчета «холодного» течения — «Неактивный», для расчета горения — «Одноразовый».

Для расчетной подобласти генерировалась начальная прямоугольная сетка с разбиением на 50 участков по координатным осям.

Процесс моделирования включал два этапа. На первом рассчитывалось «холодное» течение газовых компонент без горения. При этом обеспечивалось некоторое распределение коэффициента избытка окислителя  $\alpha$  внутри горелки, при котором горючее достигает границы «Выход».

После того как было получено распределение коэффициента избытка окислителя, проводилась инициация процесса горения в «параллелепипеде зажигания» с использованием подготовленного фильтра зажигания (переключение режима «Неактивный» в режим «Одноразовый»).

Расчет проводился до стационарного состояния, которое контролировалось по погрешности основных расчетных переменных (точность расчета  $10^{-4}$ ).

Для диффузионной горелки с заданным расходом горючего и окислителя получены распределения коэффициента избытка окислителя (рис. 3), скоростей (рис. 4) и температуры (рис. 5).

Анализ результатов моделирования показывает, что в горелке при отдельной подаче горючего и окислителя с заданными параметрами наблюдается неоднородное смесеобразование с коэффициентом избытка окислителя близким к стехиометрическому вблизи границы расширяющегося «конуса», образованного истекающим из центрального сопла горючим. Область богатой топливной смеси, в которой может образовываться углерод в конденсированной фазе, сосредоточена в конусе под центральной частью подложки-саженакопителя.

На векторном поле скоростей видно, что по периферии наблюдается циркуляция потока продуктов сгорания (не происходит проскок компонентов топливной смеси без реагирования). Т.е. в установившемся режиме можно эффективно регулировать соотношение окислитель/горючее, варьируя их расход на входе в горелку.

На подложку-саженакопитель при заданных расходах поступают продукты сгорания с разной температурой.

Следует отметить, что при более мягких режимах горения с меньшим расходом компонентов пламя имеет фактически цилиндрическую форму от среза сопла и расширяется на конус малой высоты только вблизи под-

ложки-саженикопителя. При этом диаметр конуса в области сечения подложки-саженикопителя зависит от расходов газовых компонент.

#### Литература:

1. Польшиков, В.Ю. Разработка технологии и оборудования для синтеза углеродных наноструктурных материалов в диффузионном пламени / В.Ю. Польшиков // Проблемы техногенной безопасности и устойчивого развития: сборник научных статей молодых ученых, аспирантов и студентов. Тамбов: изд-во ГОУ ВПО ТГТУ. — Вып. II. 2011 — С. 202–206.
2. Борунова, А.Б. Получение углеродных наночастиц при горении метана / А.Б. Борунова, Ю.В. Григорьев, К.Я. Трошин // Горение и взрыв. — М.: ТОРУС ПРЕСС, 2008. — С. 10–13.

## Статистические методы обработки экспериментальных данных в сельскохозяйственных исследованиях

Фролова Светлана Викторовна, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент;  
Никонорова Лариса Ивановна, ст. преподаватель;  
Бобрович Лариса Викторовна, доктор сельскохозяйственных наук, профессор;  
Аникьева Эмилия Николаевна, ст. преподаватель;  
Дубровская Наталья Викторовна, ассистент  
Мичуринский государственный аграрный университет

В предыдущих своих публикациях [4,5] авторы писали о необходимости, в эпоху бурного технического прогресса, интеграции знаний технических наук со знаниями других развивающихся наук, а также о возможной реализации этой интеграции.

Наиболее интересным в данном вопросе являются те случаи, когда без возможностей технической науки просто не обойтись.

Речь пойдет о способах восстановления утраченных в исследованиях данных. При постановке стационарного опыта в плодоводстве или растениеводстве частое явление — это утрата данных биологических объектов в силу объективных на то причин.

Одной из основных задач при проведении эксперимента является сравнение количественных признаков тех или иных показателей. К вопросу возможности решения поставленной задачи не раз обращались учёные исследователи в разные периоды развития науки. Всего в настоящее время насчитывается несколько методик анализа экспериментальных данных при их частичной утрате. Способы эти основаны на двух подходах к поставленному вопросу: 1) анализе результатов опыта без восстановления утраченных вариантов (дат) — неортоганальная схема дисперсионного анализа, t-критерий Стьюдента и др., к описанию применения которых мы обращались в своих работах ранее [2,3,4] 2) приближенное восстановление утраченных данных.

В этой работе мы хотим предложить сравнительное применение методов с приближенным восстановлением утраченных величин.

Актуальным для исследователя в данном вопросе является точность метода и простота его применения. Один из методов восстановления, при выпадении небольшого числа экспериментальных данных — это метод последовательного приближения, который сводится к применению вычисления по формуле, предложенной В.Н. Перегудовым:

$$X_{i,j} = \frac{m \sum P_i + n \sum V_j - Q}{(m-1)(n-1)} \quad (1)$$

Где  $m$  — число вариантов в опыте;

$n$  — число повторений;

$\sum P_i$  — сумма оставшихся элементов  $i$  варианта, в котором восстанавливается утраченное значение ( $X_{i,j}$ );

$\sum V_j$  — сумма невыпавших поделочных значений того варианта, для которого восстанавливаются выпавшее значение;

$Q$  — общая сумма значений опыта кроме восстанавливаемой даты, другие пустые места таблицы (если таковые имеются для других выпавших значений) временно заполняются средними соответствующих вариантов.

Рассмотрим в качестве примера использование предлагаемого способа на экспериментальных данных стационарного опыта.

Для иллюстрации техники восстановления данных по выпавшим деланкам рассмотрим пример с нашими

Таблица 1

Исходная матрица

Вариант (сорт)	Номер повторности (диаметр штамбика саженца, мм)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Северный синап	12,5	11,0	13,2	10,5	13,3	14,5	15,0	14,8	14,9	10,0
Спартан	10,1	10,9	10,5	11,5	10,7	9,0	10,5	10,3	9,0	9,0
Уэлси	10,2	9,5	10,2	10,2	10,0	9,8	11,5	10,0	12,3	11,0

Таблица 2

Матрица с выпавшими данными

Вариант (сорт)	Номер повторности (диаметр штамбика саженца, мм)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Северный синап	12,5		13,2	10,5	13,3		15,0	14,8	14,9	10,0
Спартан	10,1	10,9	10,5	11,5	10,7	9,0	10,5	10,3	9,0	9,0
Уэлси	10,2	9,5		10,2	10,0	9,8	11,5	10,0	12,3	11,0

данными по диаметру штамбиков в опыте с саженцами яблони трех сортов во втором поле плодового питомника.

Подставляя в формулу (1) соответствующие числовые значения из приведённых таблиц, для повторений, в которых имеются утерянные данные, получим:

Для второго повторения первого варианта:

$$X = \frac{3 * 117,2 + 10 * 20,4 - 323,7}{(3 - 1) * (10 - 1)} = 12,9$$

Для шестого повторения первого варианта:

$$X = \frac{3 * 117,2 + 10 * 18,8 - 323,7}{(3 - 1) * (10 - 1)} = 12$$

Для третьего повторения третьего варианта:

$$X = \frac{3 * 94,5 + 10 * 23,7 - 326,2}{(3 - 1) * (10 - 1)} = 10,8$$

Предлагаемый нами метод заключается в упрощении процесса восстановления выпавших значений с повышением точности получаемых значений. Усреднение производится по формуле

$$X = \frac{V_x}{n + k_1 - k_2}$$

В рассматриваемом примере с использованием этой формулы получим:

для второго повторения первого варианта:

$$X = \frac{V_x}{n + k_1 - k_2} = \frac{104,2}{9} = 11,6;$$

для шестого повторения первого варианта:

$$X = \frac{V_x}{n + k_1 - k_2} = \frac{104,2 + 11,6}{8} = 14,5;$$

для третьего повторения третьего варианта:

$$X = \frac{V_x}{n + k_1 - k_2} = \frac{94,5}{9} = 10,5$$

Таким образом, для восстановления выпавших данных предлагаемым нами способом необходимо по каждому варианту, где имеются утраченные величины, найти сумму элементов  $V_x$ . Где  $V_x$  — сумма невыпавших поделочных значений того варианта, для которого восстанавливаются выпавшее значение, а затем вычислить необходимые величины, разделив значение полученной суммы на  $n + k_1 - k_2$ , где  $n$  — количество не выпавших в варианте величин,  $k_1$  — количество величин которые ещё необходимо восстановить,  $k_2$  — количество уже восстановленных значений. Причём при случае вычисления 2-й, 3-й и т.д. выпавших величин (кроме 1-й) в одном варианте, восстановленные до этого величины мы добавляем в сумму  $V_x$ . Данный способ применим к величинам, имеющим нормальное распределение, к которым относятся фактически все основные показатели роста, развития и плодоношения сельскохозяйственных культур.

Предлагаемый способ апробирован нами и показал свою высокую точность при обработке большого количества (сотни выборок) экспериментальных данных, полученных аспирантами и преподавателями МичГАУ, по показателям роста и продуктивности различных сельскохозяйственных культур, как плодовых, так и полевых. В ходе апробации процесса восстановления, моделировалось выпадение данных из реальных выборок. Экспериментальную выборку мы имитировали, основываясь на трёх элементах процесса отбора выпавших данных: выбор начального пункта брали наугад, меняли направление движения по таблице случайных чисел, меняли размер выборки.

Объективный подход к процессу моделирования выпадения реальных имеющихся данных обеспечивался использованием таблицы случайных чисел, чтобы иметь

возможность сравнить получаемые — восстановленные — данные с теми, которые должны были быть в том случае, когда данные не были бы утрачены, в наших исследованиях — с реальными..

### **Выводы**

Полученные в ходе восстановления предлагаемым способом значения проще получаемы и гораздо ближе (в численном выражении) — в сравнении с используемыми

ранее способами — к исходным выпавшим данным.

После восстановления утраченных величин статистическую обработку данных проводят по ортогональной схеме дисперсионного анализа. Только в остаточное число степеней свободы вносят изменение, которое заключается в исключении из этого числа количества выпавших делянок. Это обусловливается тем, что восстановленные данные по существу не определяют значения вариантов с выпавших делянок, а только корректируют их на основе имеющихся данных.

### *Литература:*

1. Потапов, В.А. Кашин В.И., Курсаков А.Г. Методы обработки экспериментальных данных в плодоводстве // М.: Колос, 1997.
2. С.В. Фролова, Л.И. Никонорова, Л.В. Бобрович. К вопросу обработки опытных данных при их частичной утрате в стационарном опыте // Экологические проблемы отраслей народного хозяйства: сборник трудов международной конференции. — Пенза, 2006.
3. Фролова С.В., Никонорова Л.И., Бобрович Л.В. Методика восстановления утраченных данных при обработке результатов стационарного опыта методом дисперсионного анализа // «Нива Поволжья». — Пенза, 2010.
4. Бобрович Л.В., Фролова С.В., Никонорова Л.И. Оптимизация научных исследований в плодоводстве // «Труды международного форума по проблемам науки, техники и образования» Том 2. — Москва 2010 г.
5. Фролова С.В., Никонорова Л.И. Бобрович Л.В. Прикладное использование технических наук в сельскохозяйственных исследованиях // Материалы Международной научно-практической конференции «Технические науки: проблемы и перспективы». Санкт-Петербург, 2011

## **Возможности применения методов аэрокосмического мониторинга для обнаружения утечек из нефтегазопроводов**

Хасенова Динара Фатиховна, студент

Национальный исследовательский Томский политехнический Университет

**В** настоящее время нефтегазотранспортная система России со всеми ее инфраструктурными объектами и коммуникациями является неотъемлемой и важной частью экономики страны. В связи с этим необходимо обеспечение надлежащего технического состояния каждого участка системы. Учитывая возможные экологические последствия аварий, невосполнимые потери ценного углеводородного сырья в результате этих аварий, а также увеличение случаев несанкционированных врезок требуется применение различных методов и систем мониторинга, направленных на обнаружение утечек из трубопроводов и определение их местонахождения. На современном этапе развития спектр методов обнаружения утечек из трубопроводов достаточно широк, при этом каждый из методов основан на определенном физическом явлении или принципе. Однако, наиболее широкое применение компаниями, занимающимися транспортировкой нефти, получили так называемые параметрические системы обнаружения утечек (СОУ), работа которых основывается на данных параметров перекачки, получаемых с помощью средств АСУ ТП и КИП, а так же на определенной ги-

дродинамической модели, описывающей процесс утечки в трубопроводе.

Анализ функционирования параметрических СОУ рассмотрен большим количеством авторов. При этом отмечается, что принципиальные возможности расширения параметрической базы СОУ исчерпаны, т.е. задействован практически весь спектр доступной в традиционных системах телемеханики и АСУ информации [4]. Несмотря на этот факт, также можно отметить единичные попытки усовершенствования параметрических СОУ, так например: модифицированный метод материального баланса [3]; разработка нелинейных аналитических моделей [4,5] и др. Однако данные методы либо имеют только теоретическую базу, либо их практическое применение на данный момент ограничено. В связи этим наблюдаются попытки отхода от параметрических СОУ и применение систем мониторинга, основанных на совершенно иных физических принципах, так например: различные волоконно-оптические методы, акустические и ультразвуковые методы, методы внутритрубой диагностики, а также аэрокосмический мониторинг. В рамках данной статьи попытаемся проанализиро-



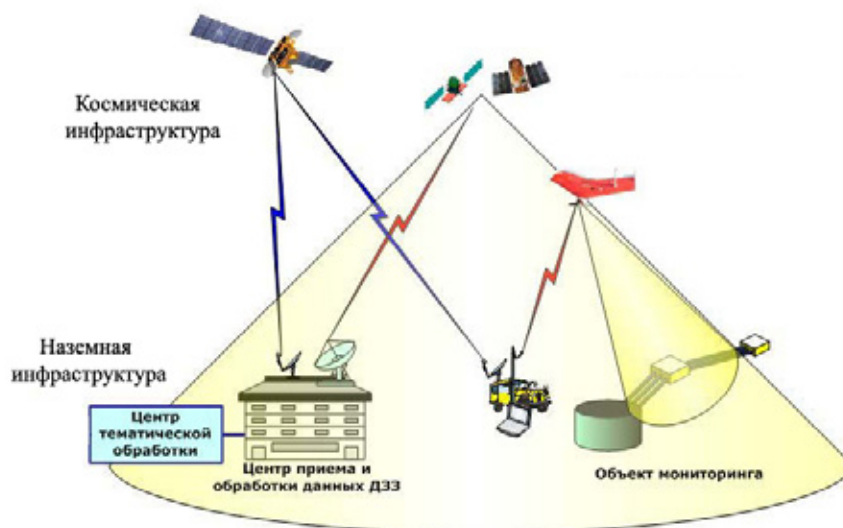


Рис. 1. Схема аэрокосмического мониторинга [2]

вать аэрокосмические методы и технологии мониторинга магистральных трубопроводов.

Аэрокосмический мониторинг осуществляется на основе так называемого дистанционного зондирования Земли, то есть наблюдения поверхности Земли авиационными и космическими средствами, оснащёнными различными видами съемочной аппаратуры. Методы дистанционного зондирования могут быть пассивные, основанные на использовании естественного отраженного или вторичного теплового излучения объектов на поверхности Земли, обусловленного солнечной активностью, и активные — использующие вынужденное излучение объектов, инициированное искусственным источником направленного действия. Для проведения аэрокосмического мониторинга объектов на поверхности Земли, в нашем случае газо- и нефтепроводов, должны быть созданы космическая и наземная инфраструктура (рис. 1) [6].

В качестве элементов космической инфраструктуры могут выступать [2, с.6]:

- спутники, оборудованные оптической аппаратурой УФ-, видимого и ИК-диапазонов спектра сверхвысокого и высокого разрешения — 0.4–4.0 м; многоспектральной аппаратурой среднего — 5.0–90 м и низкого разрешения (обзорные) — 100 м–1 км; гиперспектральной аппаратурой;
- РЛ-спутники, оборудованные РСА высокого (1.0–8.0 м), среднего (12.5–25 м) и низкого (100–600 м) разрешения;
- спутники магнитной и гравитационной съемки;
- орбитальные станции;
- различные воздушные средства (самолеты, вертолеты, беспилотные летательные аппараты и др.), оборудованные необходимой аппаратурой.

В свою очередь наземная инфраструктура представлена различными центрами приема и обработки данных дистанционного зондирования Земли, а так же средствами связи и передачи данных.

Говоря о физических принципах обнаружения утечек нефти или газа из трубопроводов при аэрокосмическом мониторинге, следует отметить, что в зависимости от типа применяемой аппаратуры физический принцип изменяется следующим образом [2, с.8]:

- при применении ИК- и радиотепловой аппаратуры утечка идентифицируется по возникновению теплового контраста в месте ее возникновения, обусловленного разницей температур транспортируемого продукта и окружающего трубопровод грунта (рис. 2);
- при применении многоспектральной или гиперспектральной аэрокосмической аппаратуры утечка идентифицируется по появлению контрастов яркости в различных участках электромагнитного спектра за счет различия спектральных отражательных способностей;
- при применении РЛ-аппаратуры утечка идентифицируется по сужению спектра РЛ-сигналов, отраженных от мест загрязнения земной поверхности, или по изменению корреляционных характеристик сигнала;
- при применении многочастотных радиолокаторов утечка идентифицирует по изменению диэлектрической проницаемости почвы в местах ее возникновения;
- при применении флуоресцентных лидаров утечка идентифицируется по изменению спектров флуоресценции в местах ее возникновения, обусловленного индивидуальностью флуоресцентных характеристик каждого углеводородного компонента.

По выполнении мониторинга полученные данные подвергаются различной обработке, предварительной или детальной, на основе которой формируются тематические карты и ГИС различной направленности, предназначенные для оценки текущей обстановки эксплуатации и принятия определенных решений.

Для мониторинга нефте- и газопроводов наиболее эффективно является использование метода радиолокационной съемки, то есть РЛ-мониторинга с возмож-



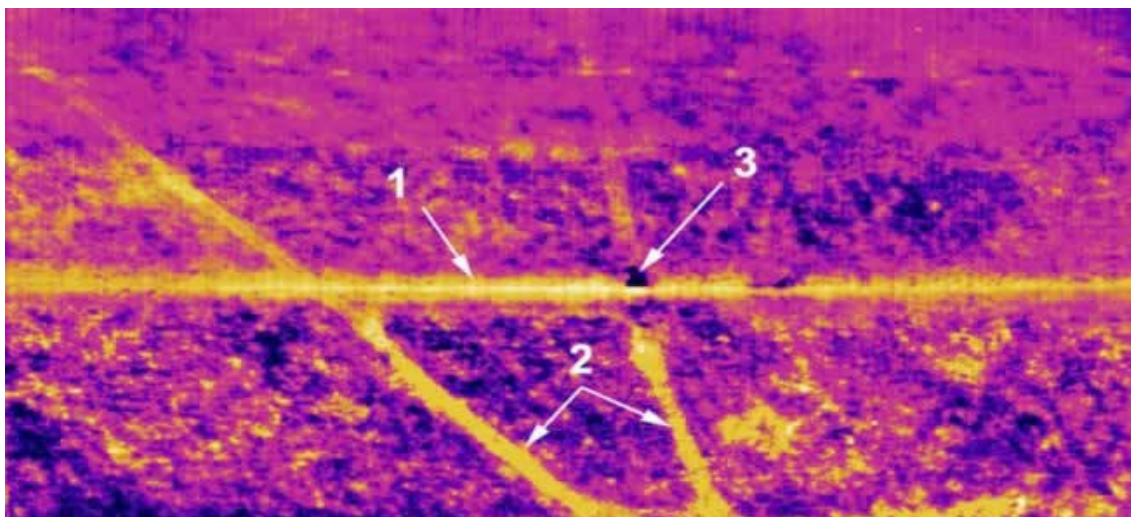


Рис. 2. Пример подземной утечки газа из газопровода [1].  
1 – «нитка» газопровода; 2 – грунтовые дороги; 3 – подземная утечка газа

ностью построения карт подповерхностных слоев (глубина зависит от длины радиоволны  $\delta = \lambda \sqrt{\epsilon' / \pi \epsilon''}$ , где  $\lambda$  – длина волны,  $\delta$  – глубина проникновения радиоволн,  $\epsilon'$  и  $\epsilon''$  – действительная и мнимая части диэлектрической проницаемости грунта) [7], а также осуществления съемок в условиях, когда непосредственное наблюдение поверхности Земли затруднено различными природными условиями: плотной облачностью, туманом и т.п. Она может проводиться в темное время суток, поскольку является активной. Так в работе [2] приведен пример РЛ-мониторинга нефтепровода в районе Нижневартовска. На рис. 3 показаны фрагменты полученных РЛИ и схема съемки.

В целом, главным преимуществом методов аэрокосмического мониторинга является его комплексный характер, то есть возможность не только обнаружения и локализации утечек нефти и газа из трубопроводов, но и также диагностики нарушений технического состояния (определения мест обводнения, всплывания, отклонений проектной глубины залегания трубопровода, выхода трубопровода на поверхность и др.), определения несанкционированных врезок в магистральные нефтепроводы по изображениям подповерхностных слоев района прохождения трассы магистрального трубопровода, выявления несанкционированной хозяйственной и строительной деятельности в охранных зонах магистральных трубопроводов, определения потенциально опасных участков трубопроводов в результате деформаций поверхности на участках подводных переходов трубопроводов через реки, водоемы, болота, контроля устранения выявленных нарушений. Однако, несмотря на такой широкий комплекс решаемых задач, методы аэрокосмического мониторинга не лишены недостатков. Так, в частности, для систем, использующих оптическую аппаратуру, недостатком является зависимость качества данных дистанционного зондирования от прозрачности атмосферы (повышенная

облачность, туман). Методы радиолокационного мониторинга лишены этого недостатка, что позволило им получить более широкое распространение. Для всех методов аэрокосмического мониторинга характерен один общий недостаток – это периодичность контроля, то есть возможность оперативного определения различного отклонений (утечек, нарушений технического состояния и др.) зависит от частоты наблюдений. В свою очередь увеличение частоты наблюдений приводит к увеличению стоимости проводимого мониторинга. Сам по себе аэрокосмический мониторинг характеризуется высокой капиталоемкостью по сравнению с параметрическими СОУ, что связано с необходимостью применения большого числа дорогостоящего оборудования.

Анализируя современную обстановку, следует отметить, что компании, занимающиеся транспортировкой нефти (в России ОАО «АК Транснефть» и др.) для решения задач обнаружения и локализации утечек нефти широко используют параметрические СОУ, например систему обнаружения утечек LeakSPY. Использование же параметрических СОУ в компаниях, занимающихся транспортировкой газа (в России ОАО «Газпром») не получило широкого распространения. Отчасти это связано с тем, что последствия аварий на нефтепроводах более серьезны и существенны по сравнению последствиями аварий на газопроводах. В связи с этим, не принимая во внимание стоимостной фактор, для газотранспортных компаний с первого взгляда методы аэрокосмического мониторинга кажутся более полезными, что ощутимо проявляется на практике, а именно, учреждение ОАО «Газпром» и рядом других компаний ОАО «Газпром космические системы» еще в 1992 году. В настоящее время ОАО «Газпром космические системы» реализуют несколько новых проектов, в том числе создание аэрокосмической системы дистанционного зондирования Земли «Смотр», включающей как радиолокационный, так и оп-

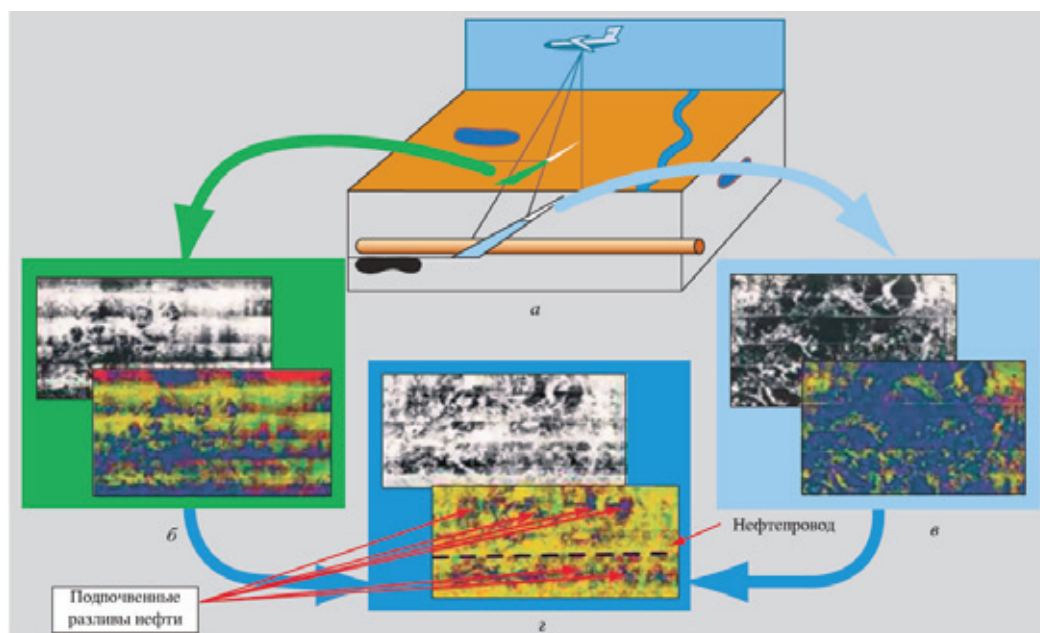


Рис. 3. РЛ-съемка для контроля состояния нефтепровода [1, вклейка к ст. Бондура В.Г].  
6а – схема РЛ-съемки; 6б, вверху – РЛИ, полученное на длине волны 4 см; 6в, вверху – РЛИ, полученное на длине волны 2,5 м; 6г – разностное изображение; 6б-г, внизу – изображения, полученные в результате классификации и цветокодирования по яркости исходных изображений

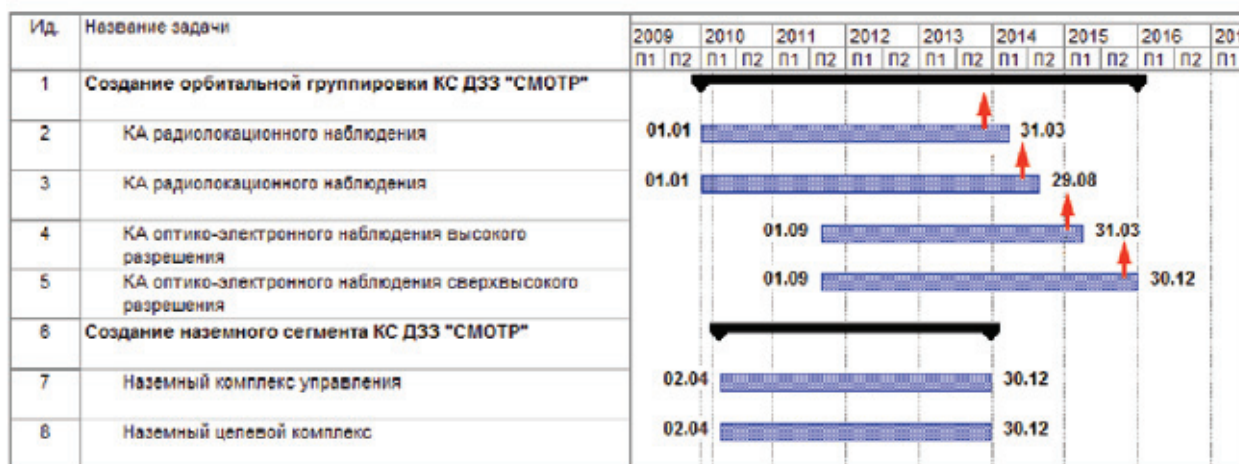


Рис. 4. График создания КС ДЗЗ «Смотр» [2]

тические спутники. График создания системы дистанционного зондирования смотр показан на рис. 4 [2].

Таким образом, проанализировав возможности применения методов аэрокосмического мониторинга, следует отметить перспективность их использования не только для решения задач обнаружения утечек из трубопроводов, а также

для проведения комплексного мониторинга состояния трубопроводов, что в настоящее время доказывается разработкой компанией ОАО «Газпром космические системы» аэрокосмической системы дистанционного зондирования Земли «Смотр» для дистанционного наблюдения за состоянием промышленных объектов, в том числе газопроводов.

#### Литература:

1. Аэрогеофизика [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://aerogeo.ru/>. – Загл. с экрана;
2. Бондур В.Г. Аэрокосмические методы и технологии мониторинга нефтегазоносных территорий и объектов нефтегазового комплекса // Исследование Земли из космоса, 2010. – с. 3–17;

3. Зверев Ф.С., Лурье М.В. Способ обнаружения утечек жидких углеводородов из магистральных трубопроводов// Патент на изобретение RU2368843 CI F17D 5/02;
4. Кутуков С.Е. Проблема повышения чувствительности, надежности и быстродействия систем обнаружения утечек в трубопроводах//Нефтегазовое дело, 2004. — т.2. — с. 29–45;
5. Кутуков С.Е. Проблемы построения адаптивных технологических моделей рельефного нефтепровода//Нефтегазовое дело, т.1, 2003. — с. 45–61;
6. ОАО «Газпром космические системы» [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.gascom.ru>. — Загл. с экрана;
7. Цымбал В.Н., Яцевич С.Е., Ефимов В.Б., Курекин А.С., Матвеев А.Я., Гавриленко А.С., Бычков Д.М. Применение радиофизических методов и средств для дистанционного обнаружения подповерхностных объектов с борта самолета лаборатории//Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2010. — т.7.

## Исследование инициирования электрического разряда в воде при разработке электрогидравлической технологии

Юшков Юрий Георгиевич, аспирант;

Климов Александр Сергеевич, кандидат технических наук, доцент;

Гричневский Евгений Александрович\*, студент;

Юшков Анатолий Юрьевич\*, кандидат технических наук, доцент;

Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники

\*Национальный исследовательский Томский политехнический университет

В последние годы растет интерес к использованию электрогидравлических технологий в различных областях промышленности. Например, в строительстве при создании фундаментов, утилизации железобетонных изделий и уплотнении грунтов.

В основе электрогидравлических технологий лежит «электрогидравлический эффект» [1], заключающийся в преобразовании электрической энергии в механическую за счет мощного электрического разряда, возбужденного в жидкости. Для получения такого разряда требуется импульс тока с крутизной фронта до  $2 \times 10^{11}$  А/с и абсолютными значениями токов до 250 кА, мощностью до 100 МВт и энергией  $10^6$  Дж [2]. Такие большие значения энергии и быстрое ее выделение за единицы или десятки микросекунд в малом объеме вызывают процесс, аналогичный взрыву химических взрывчатых веществ. В канале разряда осуществляется преобразование электрической энергии в тепловую, в результате чего осуществляется нагрев вещества в разряда канале до температур  $(10...40) \times 10^3$  К и, как следствие, рост в нем давления до  $(1...1,5) \times 10^3$  МПа, что приводит к расширению канала с высокой скоростью и передаче импульсного давления через жидкость к объекту обработки.

Различают несколько стадий развития процесса: формирование токопроводящего канала разряда между электродами; выделения в канале разряда энергии накопителя; завершающая стадия, когда все электрические процессы в канале разряда завершены, газовые продукты под действием остаточных температур расширяются и пульсируют до полного восстановления свойств среды в рабочем

промежутке. На рис. 1. показана схема электрогидравлического процесса.

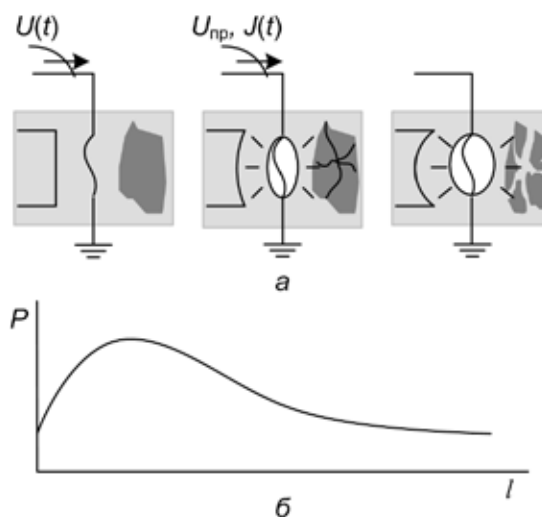


Рис. 1. Схема электрогидравлического процесса (а) и зависимость изменения давления от расстояния до канала разряда (б)

Для практической реализации электрогидравлического эффекта используются высоковольтные электрические установки, состоящие из узлов, функционально относящихся к зарядному контуру, разрядному контуру, контуру заземления, схеме управления и сигнализации. Структурная схема установки показана на рис. 2.



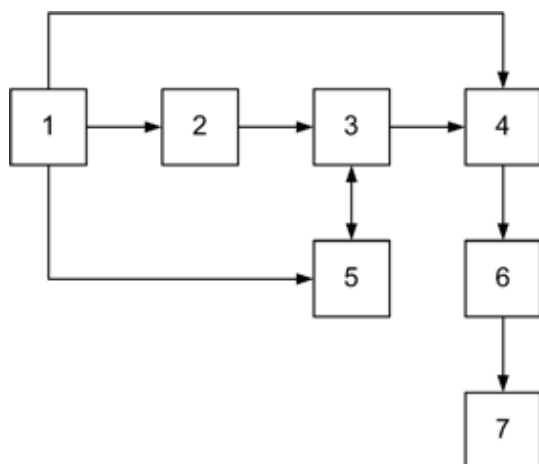


Рис. 2. Структурная схема установки:

- 1) пульт управления; 2) зарядное устройство;  
3) устройство защитного заземления; 4) генератор импульсных токов; 5) коммутатор; 6) передающая линия; 7) электродная система

Основные энергетические параметры установок: разрядное напряжение 5...50 кВ; максимальная энергия в импульсе 100 кДж; частота следования импульсов 0,1...2 Гц.

Основной проблемой препятствующей внедрению электрогидравлической технологии в производство связано с получением стабильного электрического разряда в проводящих средах, таких как техническая вода и цементный раствор [3].

Используемые в настоящее время электрогидравлические установки в основном обеспечивают электротепловой механизм пробоя рабочего промежутка. В этом случае за счет токов ионной проводимости происходит разогрев значительной области раствора между электродами. Затем образуется парогазовая среда, в которой формируется канал разряда. При этом большая часть энергии импульса затрачивается на ее образование. Наличие потерь энергии на стадии формирования канала разряда оказывать отрицательное влияние на эффективность процесса в целом. Для компенсации этих потерь приходится увеличивать энергию импульса, что приводит к сокращению срока службы электродных систем, в частности к разрушению изоляции электродов. Поэтому важной задачей является снижение потерь энергии на стадии формирования канала разряда, что позволяет уменьшить непроизводительные потери энергии импульса и, соответственно, снизить запасаемую в генераторе энергию. Для уменьшения этого типа потерь энергии используются различные методы иницирования [4]. Но большинство из них усложняют электрическую или технологическую схемы установок и не всегда их можно применить в скважинах, бетонных растворах и установках разрушения железобетона.

Известно [5], что разряд в жидкости начинает формироваться как с острия потенциального электрода, так и из

«тройной точки», которая находится в месте контакта металла потенциального электрода, изоляции электрода и воды. На рис. 3 приведена фотография развития разряда с тройной точки.

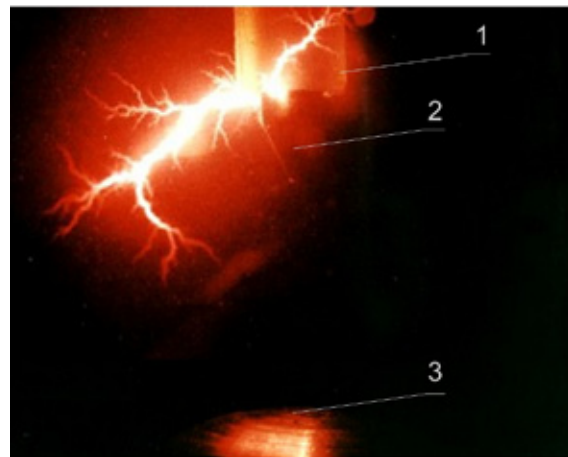


Рис. 3. Развитие разряда с тройной точки:

- 1) изолятор высоковольтного электрода;  
2) высоковольтный электрод; 3) заземленный электрод

Эффект тройной точки можно использовать как иницирующий фактор, организуя ее у острия потенциального электрода. Результаты исследований [6] показали, что разряд начинает развиваться из тройной точки, вынесенной в рабочий промежуток. Использование диэлектрических вставок из полиэтилена высокого и низкого давления, увеличивает вероятность пробоя промежутка по сравнению с пробоем таких же промежутков без вставки на 20...22%. Однако, был установлен экспериментальный факт, что после 30...50 разрядов влияние диэлектрической вставки на вероятность пробоя промежутка прекращается.

Решения этой проблемы является использование керамической вставки, но из-за неплотного соединения вставки с электродом ударные воздействия при наличии концентраторов напряжений в виде щелей вызывают ее быстрое разрушение. Поэтому было предложено использовать электронно-лучевую сварку керамики с металлом [7]. Сварка керамики с металлами проводилась на установке, подробно описанной в работе [8]. В качестве свариваемых материалов были выбраны алюмооксидная керамика и сталь.

Для определения влияния керамической вставки была проведена исследования с пробоя различных промежутков в технической воде.

В качестве источника импульсов в работе применялся генератор импульсных токов с параметрами:  $U_0 = 25...35$  кВ,  $L = 5...7$  мкГн,  $C_0 = 0,25...0,5$  мкФ. Схема экспериментальной установки показана на рис. 4.

Использовалась система электродов «острие — плоскость». Высоковольтный электрод металлический стер-

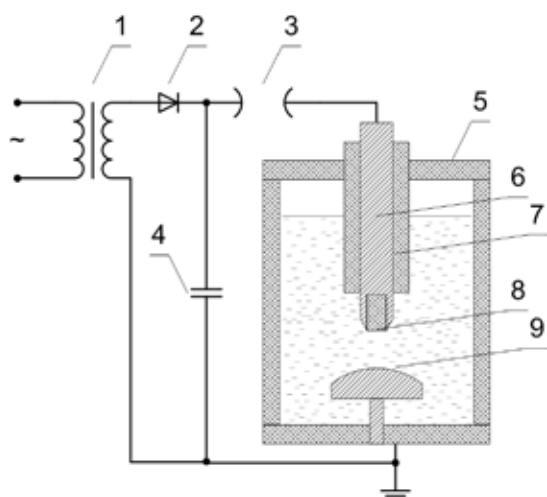


Рис. 4. Схема установки:

- 1) высоковольтный трансформатор; 2) высоковольтный выпрямитель; 3) шаровой разрядник; 4) конденсаторная батарея; 5) рабочая камера; 6) высоковольтный электрод; 7) изолятор; 8) керамическая вставка; 9) заземленный электрод

жень диаметром 10 мм, который через проходной изолятор вводился в рабочую камеру. Длина изолятора позволяла варьировать длину оголенной части потенциального электрода (оголенная часть составляла 10 мм). Длина рабочего промежутка между электродами варьировалась от 10...50 мм. Располагалась электродная система в рабочей камере, которая заполнялась технической водой с удельным электрическим сопротивлением  $\rho \approx 1 \cdot 10^3 \text{ Ом} \cdot \text{см}$ .

В результаты предварительных исследований установлено, что использование керамики, расположенных в торце потенциального электрода, увеличивает вероятность пробоя промежутка по сравнению с пробоем таких же промежутков без вставки до 27 %, а также вставка меньше поддается ударному и эрозионному разрушению.

Проведенные эксперименты показали возможность использования металлокерамических соединений для инициирования разряда в электрогидравлических установках. Предложенный метод инициирования разряда позволяет создать надежную электродную систему для электрогидравлических установок.

#### Литература:

1. Юткин Л.А. Электрогидравлический эффект и его применение в промышленности. — Л.: «Машиностроение», 1986. — 253 с.
2. Гулый Г.А. Научные основы разрядноимпульсных технологий. — Киев.: Наукова думка, 1990. — 208 с.
3. Кривицкий Е.В. Динамика электровзрыва в жидкости. — Киев: Наукова думка, 1986. — 206 с.
4. Малюшевский П.П. Основы разрядно-импульсной технологии. — Киев: Наукова думка, 1983. — 272 с.
5. Ушаков В.Я. Импульсный электрический пробой жидкостей. — Томск: Изд. ТПИ, 1975. — 256 с.
6. Курец В.И., Филатов Г.П., Юшков А.Ю. Влияние методов инициирования импульсного разряда на вероятность пробоя жидких проводящих сред // Электронная обработка материалов, 2004. — № 1. с. 54–57.
7. Бурдовицин В.А., Климов А.С., Окс Е.М. О возможности электронно-лучевой обработки диэлектриков плазменным источником электронов в форвакуумной области давлений // Письма в ЖТФ. 2009 — Т. 35, Вып. 11. — С. 61–66.
8. Бурдовицин В.А., Жирков И.С., Окс Е.М. и др. Источник электронов с плазменным катодом для генерации сфокусированного пучка в форвакуумном диапазоне давлений // ПТЭ. 2005 — № 6. — С. 66–68.



*Научное издание*

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ: ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА

Международная заочная научная конференция  
г. Чита, апрель 2012 г.

*Материалы печатаются в авторской редакции*

Дизайн обложки: *Е.А. Шишков*

Верстка: *П.Я. Бурьянов*

Подписано в печать 24.04.2012. Формат 60х90 <sup>1</sup>/<sub>8</sub>.  
Гарнитура «Литературная». Бумага офсетная.  
Усл. печ. л. 17,0. Уч.-изд. л. 13,4. Тираж 300 экз.

Отпечатано в типографии «Ваш полиграфический партнер»  
127238, Москва, Ильменский пр-д, д. 1, стр. 6