

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ

# ТРУДЫ

СЕВЕРО-КАВКАЗСКОГО  
ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА  
(ГОСУДАРСТВЕННОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА)

ВЫПУСК ДВАДЦАТЬ ВТОРОЙ

ВЛАДИКАВКАЗ 2015

## РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Галачиева С. В. (гл. редактор), д-р эконом. наук, профессор  
Босиков И. И., канд. техн. наук, доцент  
Гончаров И. Н., д-р техн. наук, профессор  
Гроппен В. О., д-р техн. наук, профессор  
Делиева Л. М., канд. филолог. наук, профессор  
Евдокимов С. И., канд. техн. наук, доцент  
Клюев Р. В., д-р техн. наук, профессор  
Лолаева Д. Т., канд. филос. наук, доцент  
Лолаев А. Б., д-р техн. наук, профессор  
Осикина Р. В., д-р с.-х. наук, профессор  
Позднякова Т. А., д-р эконом. наук, профессор  
Тускаева З. Р., канд. техн. наук, доцент  
Темираев Р. Б., д-р с.-х. наук, профессор  
Хадзарагова Е. А., д-р техн. наук, профессор  
Хугаева Р. Г., канд. юрид. наук, доцент

В сборник "Труды Северо-Кавказского горно-металлургического института (государственного технологического университета)" включены статьи и представлены научные разработки преподавателей, сотрудников и студентов вуза.

УДК 004.358

*Канд. техн. наук ВОЛОШИН С. Б.,  
инженер БУРДУНОВА С. Э.,  
студент ХУРИЕВ Г. Ф.*

### **ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ В ОБУЧЕНИИ СПЕЦИАЛИСТОВ В ОТРАСЛЯХ С ВЫСОКОЙ СТЕПЕНЬЮ РИСКА**

*В данной статье рассмотрены проблемы и возможности обучения специалистов в областях с высокой степенью риска, тенденции развития образовательного процесса в Российской Федерации, особенности применения технологий дополненной реальности в обучении. Проведен обзор устройств, использующих технологии дополненной реальности. Приведена схема работы интерактивного помощника выполнения лабораторных работ.*

**Ключевые слова:** обучение специалистов, дополненная реальность, AR, современные образовательные технологии.

Обучение специалистов в отраслях с высокой степенью риска в условиях усложнения процессов и механизмов современного мира способствует увеличению сложности и времени обучения, за счёт чего растёт нагрузка на обучаемых. На сегодняшний день актуальна проблема реализации решения, которое позволило бы сократить нагрузку, повысить скорость обучения, и, соответственно, положительно повлияло бы на качество обучения в данных областях [1]. Поставленная задача может быть решена за счёт повышения интерактивности образовательного процесса с помощью технологии дополненной реальности.

Дополненная реальность (AR – Augmented Reality) – результат введения в поле восприятия любых сенсорных данных с целью дополнения сведений об окружении и улучшения восприятия информации [2]. Термином «дополненная реальность» обозначаются системы, в которых окружающая действительность снабжается виртуальными объектами. Виртуальными объектами могут быть тексты, ссылки на сайты, фотографии, объемные элементы, звуки, видео, которые могут отличаться как статичностью, так и интерактивностью.

Для создания эффекта дополненной реальности нужны четыре основные составляющие: веб-камера (или её аналог, например, видеочки), компьютер (или мобильное устройство), маркер и программа. Пользователь печатает на листе бумаги специальное изображение (маркер или метку дополненной реальности) и подносит его к веб-камере. На компьютере должно быть запущено приложение, которое распознает маркер на получаемой с камеры картинке и отобразит на его месте какой-либо элемент (рис. 1).

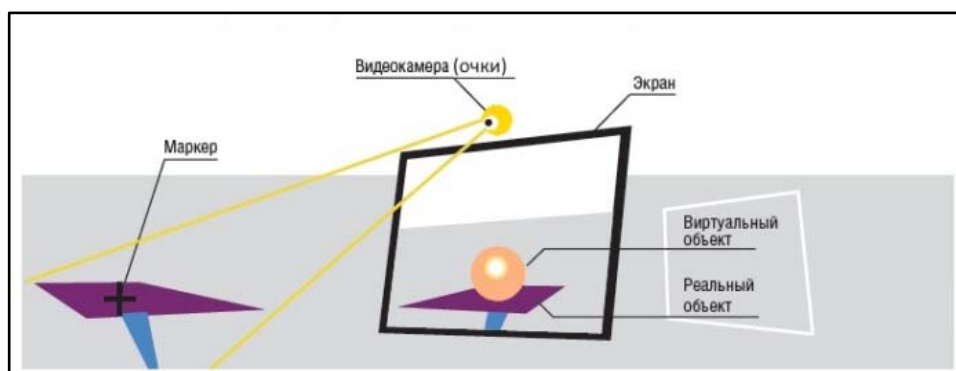


Рис. 1. Принцип работы дополненной реальности [3]

Технологии с применением дополненной реальности широко используются в различных программах профессионального и специализированного обучения. В настоящее время доступны инструменты, используемые для создания обучающих материалов специалистами многих областей образования, и существует тенденция к упрощению инструментов разработки; за счёт существующих проблем стабильности в обучении, а также достижения каждым учеником высоких результатов разрабатываются новые педагогические методики [4].

Многие инструменты, используемые в образовательном процессе, являются строго специализированными (например, они могут быть предназначены для стимулирования диалога в обучении, для безопасной практики, которая не грозит потерей ценных ресурсов, для поддержки креативности и совместной работы), но технология дополненной реальности к подобным инструментам не относится, что позволяет ей проникать не только в академический учебный процесс, но и применяться в повседневной жизни [5].

Одним из наиболее эффективных устройств для визуализации обучающих инструментов являются очки дополненной реальности – автономное носимое устройство, основанное на технологии одновременного взаимодействия пользователя с реальным и виртуальным мирами. Для использования в целях обучения специалистов в отраслях с высокой степенью риска наибольший интерес представляют такие экземпляры подобных очков, как Epson Moverio VT-200, Google Glass 2.0 и Microsoft HoloLens.

Система видеоочков Epson Moverio VT-200 определена двумя составляющими: блоком управления с тачпадом (включающим в себя процессор, оперативную и постоянную память, интерфейсы) и соединёнными с ним несъёмным проводом очками. В окуляры очков встроены два полупрозрачных жидкокристаллических дисплея разрешением 960 x 540 px. Дисплеи позволяют объединить два изображения в одно – двухмерное или трёхмерное, в зависимости от подаваемого сигнала. Для адаптации отображения приложений под расположение головы (например, поворот или наклон) и для формирования сценариев дополненной реальности в очки встроены гироскоп, акселерометр и видеокамера (рис. 2). В качестве операционной системы используется Android, версия 4.0.4. Имеется магазин фирменных приложений Moverio Apps Market [6,7].



*Рис. 2.* Внешний вид Epson Moverio BT-200 [6]

Google Glass 2.0 представляют собой очки с прозрачным проекционным HMD-дисплеем (HMD – head-mounted display, дисплей, который крепится на голову) и встроенной камерой для записи фото- и видеоматериала. Для управления устройством используются голосовые команды за счёт имеющейся функции распознавания голоса и жестов, распознаваемых тачпадом, который расположен на дужке за дисплеем (рис. 3). Передача звукового сигнала происходит за счёт резонанса костей черепа. С помощью встроенных беспроводных модулей Bluetooth и Wi-Fi очки могут взаимодействовать со смартфоном и получать доступ в сеть Интернет соответственно. Работает устройство под управлением операционной системы Android, версия 4.4. Имеются встроенный гироскоп и акселерометр. Для установки приложений используется каталог приложения My Glass – Glassware, доступного в специализированном магазине Google Play Market [8,9].



*Рис. 3.* Внешний вид Google Glass 2.0 [9]

Microsoft Holo Lens – это очки дополненной реальности, позволяющие проецировать объекты (голограммы) прямо перед человеком, дополняя окружающую действительность. Очки представляют собой автономное устройство, которое включает в себя полупрозрачные линзы, четыре камеры (с углом обзора в 120 градусов), восемнадцать датчиков и процессор, обрабатывающий информацию, поступающую с сенсоров (рис. 4). Взаимодействие с устройством осуществляется с помощью жестов и голосовым управлением. Аку-

стическая система поддерживает систему пространственного звучания. Для предотвращения перегрева очков используется система охлаждения, при которой горячие потоки воздуха отводятся через дужки устройства. Работают очки под управлением операционной системы Microsoft Windows 10. Для создания «голограмм» имеется специализированное программное обеспечение Holo Studio, доступное из виртуальной среды Microsoft Holo Lens [10, 11].



Рис. 4. Внешний вид Microsoft Holo Lens [10]

Характеристики рассмотренных устройств отражены в табл. 1.

Таблица 1

### Сравнительные характеристики очков дополненной реальности

Характеристика	Видеоочки		
	Epson Moverio BT-200	Google Glass 2.0	Microsoft Holo Lens
Автономность	Нет	Нет	Да
Голосовое управление	Нет	Да	Да
Управление жестами	Нет	Нет	Да
Управление тачпадом	Да	Да	Нет
Операционная система	Android 4.0.4	Android 4.4.4	Microsoft Windows 10
Вес	88 г. + 124 г.	40 г.	400 г.
Процессор	TI OMAP 4460 1,2 ГГц	TI OMAP 4430 ARM Cortex-A9 1,2 ГГц	Holographic Processing Unit (HPU)
Память	8 ГБ	16 ГБ	н/д
ОЗУ	1 ГБ	2 ГБ	н/д
Дисплей	960x540px	640x360px	н/д
Камера	2 шт., 23 градуса	5 МП, видео 720p	4 шт., 120 градусов
Звук	Dolby Digital Plus	передача вибраций в кость/моно-наушник	система пространственного звучания
Беспроводные соединения	Wi-Fi, Bluetooth 3.0	Wi-Fi, Bluetooth 4.0	Wi-Fi, Bluetooth 4.0

Несмотря на то, что в Российской Федерации образование претерпевает масштабные изменения, за счёт которых образовательный процесс становится всё более непрерывным, повсеместным, дистанционным, человеко-ориентированным, и данные изменения способствуют созданию и распространению так называемой «умной обучающей среды», которая ориентируется на обучение на основе технологий виртуальной реальности и когнитивных технологий, на сегодняшний день в обучении всё ещё повсеместно применяются статичные изображения, макеты, не позволяющие эффективно изучать предмет.

Для решения подобных проблем наиболее подходящим представляется решение в виде интерактивного помощника выполнения лабораторных работ. Оно состоит из программного обеспечения для мобильных устройств и специализированного оборудования (видеоочки дополненной реальности), работающего под управлением операционной системы Google Android или Microsoft Windows, а также программного обеспечения для разработки обучающих курсов, работающего на стационарном компьютере.

Принцип работы интерактивного помощника заключается в следующем: преподаватель, маркируя оборудование для проведения лабораторных работ метками дополненной реальности, создает курс из последовательных действий. Курс сохраняется в репозиторий. Обучаемый с помощью специального Embedded-приложения (установленного на устройство) скачивает нужный курс, который выполняется на видеоочках при помощи взаимодействия студента с устройством (рис. 5).

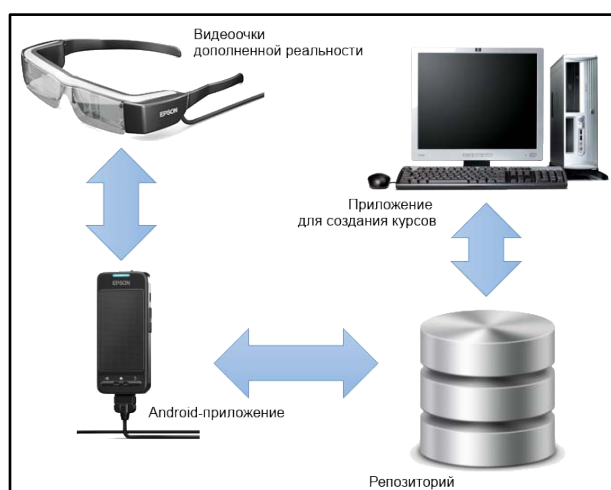


Рис. 5. Принцип работы интерактивного помощника выполнения лабораторных работ

Для того чтобы данная система могла не только взаимодействовать с обучаемыми, но и создавать обучающие курсы, необходима пользовательская реализация взаимодействия Embedded-приложения с репозиторием – подсистемой создания курсов. Данная подсистема представляет собой веб-приложение (веб-сервис), доступное в сети Интернет, разработанное с помощью современных технологий создания высокопроизводительных веб-приложений. Выбранная реализация соответствует требованиям методик

профессионального образования о базах данных, как об основном информационном ресурсе в образовании и использовании средств телекоммуникаций и ресурсов Интернет для доступа обучающихся к ресурсам.

Дополненная реальность выступает эффективным инструментом современного обучения с применением мобильных технологий. Использование дополненной реальности в обучении специалистов в отраслях с высокой степенью риска увеличивает качество обучения, позволяет более глубоко и быстро усвоить материал за счёт создания эффекта присутствия и интерактивности, выйти на новый уровень визуализации и восприятия изучаемого материала.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Щеглов П. Е., Никитина Н. Ш.* Качество высшего образования. Риски при подготовке специалистов // Университетское управление: практика и анализ. 2003. № 1(24). С. 46–59.
2. Материал из Википедии – свободной энциклопедии. Дополненная реальность [Электронный ресурс] // Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/%C4%EE%EF%EE%EB%ED%E5%ED%ED%E0%FF\\_%F0%E5%E0%EB%FC%ED%EE%F1%F2%FC](https://ru.wikipedia.org/wiki/%C4%EE%EF%EE%EB%ED%E5%ED%ED%E0%FF_%F0%E5%E0%EB%FC%ED%EE%F1%F2%FC) (дата обращения: 26.02.2015).
3. Материал с портала Образовательной галактики Intel [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://edugalaxy.intel.ru/index.php?automodule=blog&blogid=1211&showentry=4941> (дата обращения: 26.02.2015).
4. *Маркова С. М., Полунин В. Ю.* Теория и методика профессионального образования: теоретические основы // Вестник Московского государственного гуманитарного университета им. М. А. Шолохова. Педагогика и психология. 2013. № 4. С. 40–44.
5. *Духнич Ю.* Как использовать дополненную реальность в образовании и обучении персонала [Электронный ресурс] // Режим доступа: <http://www.smart-edu.com/augmented-reality-in-learning.html> (дата обращения: 26.02.2015).
6. Материал с официального Интернет-сайта компании Seiko Epson Corporation в Российской Федерации – Видеоочки Epson Moverio BT-200 [Электронный ресурс] // Режим доступа: <http://www.epson.ru/catalog/moverio/epson-moverio-bt-200/> (дата обращения: 26.02.2015).
7. *Бабулин А.* Обзор Epson Moverio Bt-200: необычные 3D-очки дополненной реальности [Электронный ресурс] // Режим доступа: [https://hi-tech.mail.ru/review/epson\\_moverio\\_bt-200-rev.html](https://hi-tech.mail.ru/review/epson_moverio_bt-200-rev.html) (дата обращения: 26.02.2015).
8. Материал с официального Интернет-сайта компании Google – GoogleGlass [Электронный ресурс] // Режим доступа: <http://www.google.ru/glass/start/> (дата обращения: 26.02.2015).
9. *Бабулин А.* Обзор Google Glass 2.0: очки, которые изменили мир [Электронный ресурс] // Режим доступа: [https://hi-tech.mail.ru/review/google\\_glass\\_2\\_0-rev.html](https://hi-tech.mail.ru/review/google_glass_2_0-rev.html) (дата обращения: 26.02.2015).
10. Материал с официального Интернет-сайта компании Microsoft – MicrosoftHoloLens [Электронный ресурс] // Режим доступа:



<http://www.microsoft.com/microsoft-hololens/en-us> (дата обращения: 26.02.2015).

11. Материал с официального Интернет-сайта программы Hitech. Вести – «Умные» очки Microsoft: чем HoloLens лучше Google Glass и Oculus Rift [Электронный ресурс] // Режим доступа: <http://hitech.vesti.ru/news/view/id/6299> (дата обращения: 26.02.2015).

*Ph. D. Voloshin S. B., Burdunova S. E., Huriev G. F.*

### **THE PROSPECTS OF AUGMENTED REALITY TECHNOLOGIES' USING IN TRAINING THE SPECIALISTS IN HIGH-RISK FIELDS**

*The article examines the problems and opportunities of training the specialists in high-risk fields, development trends of educational process in the Russian Federation, application features of augmented reality technologies in learning. Devices using augmented reality technologies are reviewed. The work scheme of interactive assistant of laboratory works execution is shown.*

**Key Words:** *training the specialists, augmented reality, AR, modern educational technologies.*



УДК 681.31: 620. 179. 14

*Д-р техн. наук, профессор ДЕДЕГКАЕВ А. Г.,  
канд. техн. наук, доцент СТЕПАНОВ А. Л.*

### **ОРИЕНТИРОВАННАЯ ДЛЯ САПР УНИВЕРСАЛЬНАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ВИХРЕТОКОВОГО КОНТРОЛЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ПРОВОДЯЩИХ СРЕД. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ПОСТРОЕНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ**

*Проведен краткий анализ существующих математических моделей (ММ) неразрушающего вихретокового контроля (ВТК) цилиндрических проводящих объектов вихретоковыми преобразователями (ВТП) линейно-протяженной формы. Обоснована необходимость построения первоначальной ММ ВТК в виде нитевидной двухпроводной линии с синусоидальным током, расположенной вблизи цилиндрических проводящих объектов.*

*Осуществлена постановка задачи по расчету квазистационарного электромагнитного поля, создаваемого нитевидным проводником с током, помещенным вблизи цилиндрических проводящих объектов. Получены и обоснованы исходные уравнения и граничные условия для их решения.*

**Ключевые слова:** *математическое обеспечение САПР, нитевидный проводник с током, цилиндрические проводящие среды, система цилиндрических (круговых) координат и цилиндрических эллиптических координат, квазистационарное электромагнитное поле проводника, основное ДУ, граничные условия.*

Математическое обеспечение САПР методов и средств неразрушающего вихретокового контроля (ВТК) линейно-протяженных металлоизделий (трубы, полосы, прутки, проволока, профиль различной формы) в основном представлено использованием математических моделей (ММ) проходных вихретоковых преобразователей (ВТП) [1]. Имеются работы, использующие первоначальные ММ накладных ВТП в виде нитевидных проводников с током [2–6]. Также известен ряд работ, результаты которых могут быть использованы для создания накладных ВТП [7–12]. Они построены для конкретных условий контроля и простейших ММ ВТП и ММ контролируемой среды, но страдают отсутствием строгой постановки задачи и некорректностью решения.

Целью всей работы является создание универсальной ММ ВТК многослойных проводящих цилиндрических объектов с использованием ММ накладных, погружных, экранных и щелевых ВТП с обмотками линейно-протяженной формы и произвольным поперечным сечением. Для реализации этой цели в данной статье представлена постановка задачи согласно следующему её условию.

#### *Условие задачи*

В пустоте бесконечной протяженности (термин "пустота" понимается в электротехническом смысле этого слова [13]) расположен цилиндрический проводящий объект бесконечной длины. Параллельно его продольной оси симметрии находится нитевидный прямолинейный проводник также бесконечной длины, по которому протекает сторонний ток от идеального источника синусоидального тока. Необходимо определить основное (расчетное) уравнение, позволяющее описать электромагнитное поле в рассматриваемом пространстве и граничные условия его решения, сопрягающие такие поля в смежных областях пространства.

В работе [14] подобное условие задачи рассмотрено для плоских проводящих сред. При этом система уравнений Максвелла в квазистационарной постановке [15] сведена к векторному неоднородному ДУ Гельмгольца в частных производных:

$$\nabla^2 \dot{\underline{A}} + \underline{k}^2 \dot{\underline{A}} = -\mu_a \dot{j}_{\text{стор}}, \quad (1)$$

где  $\nabla$  – оператор Гамильтона;

$\dot{\underline{A}}$ ,  $\dot{j}_{\text{стор}}$  – соответственно, комплекс действующего значения вектор-потенциала и вектора сторонней плотности тока в проводах линии;

$\underline{k}^2 = -j\omega\mu_a\gamma$  – волновой коэффициент применительно к условиям квазистационарного электромагнитного поля;

$\mu_a = \mu\mu_0$  – абсолютная ( $\mu_a$ ), относительная ( $\mu$ ) магнитные проницаемости и магнитная постоянная ( $\mu_0$ );

$j$  – мнимая единица;

$\omega$  – угловая частота стороннего тока;

$\gamma$  – удельная электропроводность в данной точке пространства.

Рассмотрим построение исходных расчетных ДУ в цилиндрической (круговой) и эллиптической цилиндрической системах ортогональных коор-

динат. Схему ММ объекта контроля представим в виде коаксиально расположенных проводящих цилиндра и трубы (в данной статье это не принципиально), имеющих бесконечную длину (рис. 1а и 1б). Проводник А расположен в пустоте 2 между проводящими средами 1 и 3 (положительное направление тока в проводнике указано на рис. 1).

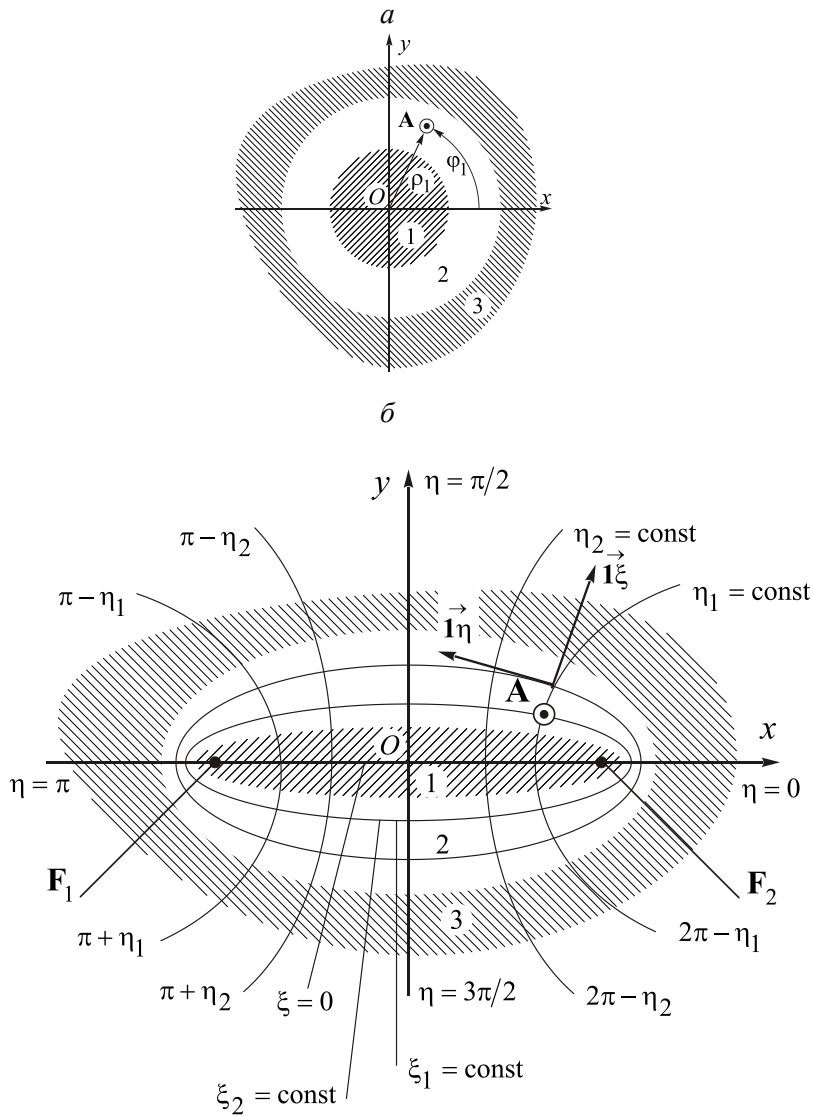


Рис 1. Схема расположения нитевидного прямолинейного проводника с синусоидальным током и проводящей цилиндрической круговой (1а) и проводящей эллиптической цилиндрической (1б) средами

Зададим цилиндрическую систему ортогональных координат  $(\rho, \varphi, z)$  на рис 1а) и связанную с ней (вспомогательную) декартову правую прямоугольную систему координат  $(Oxy)$ . Формулы отражения и обращения между точками систем  $(\rho, \varphi, z)$  и  $(Oxy)$  известны [16]. В указанной постановке

$\dot{\vec{B}}, \dot{\vec{A}}, \dot{\vec{H}}, \dot{\vec{E}}$  вдоль оси  $Z$  не изменяются [14]. При этом  $\dot{j}_{\text{стоп}}, \dot{\vec{A}}, \dot{\vec{E}}$  параллельны друг другу, поэтому вектор  $\dot{\vec{A}}$  имеет только одну составляющую:

$$\dot{\vec{A}} = \dot{A}_z \vec{1k} \quad \text{и} \quad \frac{\partial \dot{A}_z}{\partial z} = 0, \quad (2)$$

где  $\dot{\vec{B}}, \dot{\vec{H}}, \dot{\vec{E}}$  – векторы, соответственно, магнитной индукции, магнитной и электрической напряженностей в рассматриваемой точке пространства;  $\vec{1\rho}, \vec{1\varphi}, \vec{1k}$  – орты цилиндрической системы координат.

Раскроем в (1) выражение для  $\nabla^2 \dot{\vec{A}}$  [17], получим:

$$\begin{aligned} \nabla^2 \dot{\vec{A}} &= -\text{rot rot } \dot{\vec{A}} = -\left[ \nabla \times \left[ \nabla \times \dot{\vec{A}} \right] \right] = -\text{rot } \dot{\vec{B}} = \\ &= -\left[ \nabla \times \left[ \left| \text{rot}_\rho \dot{\vec{A}} \right| \vec{1\rho} + \left| \text{rot}_\varphi \dot{\vec{A}} \right| \vec{1\varphi} + \left| \text{rot}_z \dot{\vec{A}} \right| \vec{1k} \right] \right], \quad (3) \\ \left| \text{rot}_\rho \dot{\vec{A}} \right| &= \dot{\vec{B}}_\rho, \quad \left| \text{rot}_\varphi \dot{\vec{A}} \right| = \dot{\vec{B}}_\varphi, \quad \left| \text{rot}_z \dot{\vec{A}} \right| = \dot{\vec{B}}_z. \end{aligned}$$

Формула операции  $\text{rot } \dot{\vec{A}}$  в цилиндрической системе координат известна [17]. Дважды применив её в (3), получим:

$$\begin{aligned} \nabla^2 \dot{\vec{A}} &= \left\{ \left[ \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial \rho} \left( \rho \frac{\partial \dot{A}_\rho}{\partial \rho} \right) + \frac{1}{\rho^2} \frac{\partial^2 \dot{A}_\rho}{\partial \varphi^2} + \frac{\partial^2 \dot{A}_\rho}{\partial z^2} \right] - \frac{1}{\rho^2} \left( \dot{A}_\rho + 2 \frac{\partial \dot{A}_\varphi}{\partial \varphi} \right) \right\} \vec{1\rho} + \\ &+ \left\{ \left[ \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial \rho} \left( \rho \frac{\partial \dot{A}_\varphi}{\partial \rho} \right) + \frac{1}{\rho^2} \frac{\partial^2 \dot{A}_\varphi}{\partial \varphi^2} + \frac{\partial^2 \dot{A}_\varphi}{\partial z^2} \right] - \frac{1}{\rho^2} \left( \dot{A}_\varphi + 2 \frac{\partial \dot{A}_\rho}{\partial \rho} \right) \right\} \vec{1\varphi} + \\ &+ \left[ \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial \rho} \left( \rho \frac{\partial \dot{A}_z}{\partial \rho} \right) + \frac{1}{\rho^2} \frac{\partial^2 \dot{A}_z}{\partial \varphi^2} + \frac{\partial^2 \dot{A}_z}{\partial z^2} \right] \vec{1k}. \quad (4) \end{aligned}$$

Из соотношений (2) следует, что при данной постановке задачи имеем:

$$\dot{A}_\rho = 0, \dot{A}_\varphi = 0 \quad \text{и} \quad \frac{\partial \dot{A}_\rho}{\partial z} = 0, \quad \frac{\partial \dot{A}_\varphi}{\partial z} = 0. \quad (5)$$

В результате формула (4) примет вид:

$$\nabla^2 \dot{\vec{A}}_z = \left[ \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial \rho} \left( \rho \frac{\partial \dot{A}_z}{\partial \rho} \right) + \frac{1}{\rho^2} \frac{\partial^2 \dot{A}_z}{\partial \varphi^2} \right] \vec{1k}.$$

Полученные соотношения показывают, что в выражении (1) все векторные величины имеют только z-ю составляющую. То есть (1) можно представить в скалярном виде:

$$\nabla^2 \dot{A} + \underline{k}^2 \dot{A} = -\mu_a \dot{J}_{\text{стоп}}$$

или

$$\left[ \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial \rho} \left( \rho \frac{\partial \dot{A}}{\partial \rho} \right) + \frac{1}{\rho^2} \frac{\partial^2 \dot{A}}{\partial \varphi^2} \right] + \underline{k}^2 \dot{A} = -\mu_a \dot{J}_{\text{стоп}}. \quad (6)$$

Получаем исходное уравнение задачи: скалярное неоднородное дифференциальное уравнение Гельмгольца второго порядка в частных производных относительно  $\dot{A}$ .

В общем случае, на границах разделения  $i$ -го и  $(i+1)$ -го слоев рассматриваемого пространства имеем для тангенциальных составляющих основных векторов поля [1, 2]:

$$\dot{E}_{ti} = \dot{E}_{t,i+1}, \quad (7)$$

$$\dot{H}_{ti} = \dot{H}_{t,i+1}. \quad (8)$$

В (7) используем связь [1]:

$$\dot{E} = -j\omega \dot{A}. \quad (9)$$

получим первое граничное условие:

$$\dot{A}_i = \dot{A}_{i+1} \text{ при } \rho = \rho_i. \quad (10)$$

Выразим  $\dot{A}$  через  $\dot{H}$ , используя [1, 2]:

$$\dot{H} = (1/\mu_a) \dot{B} \text{ и } \text{rot } \dot{A} = \dot{B}.$$

$$\frac{1}{\mu_{ai}} \text{rot} \dot{A}_i = \frac{1}{\mu_{a,i+1}} \text{rot} \dot{A}_{i+1}. \quad (11)$$

Раскроем  $\text{rot} \dot{A}$  в цилиндрической системе координат [17]:

$$\begin{aligned} \text{rot} \dot{A} &= \text{rot}_{\rho} \dot{A} + \text{rot}_{\varphi} \dot{A} + \text{rot}_z \dot{A} = \\ &= \left[ \frac{1}{\rho} \frac{\partial \dot{A}_z}{\partial \varphi} - \frac{\partial \dot{A}_{\varphi}}{\partial z} \right] \mathbf{1}_{\rho} + \left[ \frac{\partial \dot{A}_z}{\partial z} - \frac{\partial \dot{A}_z}{\partial \rho} \right] \mathbf{1}_{\varphi} + \left[ \frac{1}{\rho} \dot{A}_{\varphi} + \frac{\partial \dot{A}_{\varphi}}{\partial \varphi} - \frac{1}{\rho} \frac{\partial \dot{A}_{\rho}}{\partial \varphi} \right] \mathbf{1}_k. \end{aligned} \quad (12)$$

Тангенциальными являются  $\varphi$ -я и  $z$ -я составляющие  $\text{rot}\dot{\vec{A}}$  и, с учетом (5), выражение (11) примет вид:

$$\text{rot}\dot{\vec{A}}_t = -\frac{\partial A_z}{\partial \rho} \vec{1}\varphi.$$

Следовательно, из (8) вытекает второе граничное условие:

$$\frac{1}{\mu_{ai}} \frac{\partial \dot{A}_i}{\partial \rho} = \frac{1}{\mu_{a,i+1}} \frac{\partial \dot{A}_{i+1}}{\partial \rho} \text{ при } \rho = \rho_i. \quad (13)$$

Рассмотрим постановку задачи в эллиптической цилиндрической системе координат ( $\xi \eta z$  на рис. 1б). Формулы отражения и обращения между точками систем ( $\xi \eta z$ ) и ( $O x y z$ ) известны [16]. Пространственная ориентация между всеми вышеуказанными векторами остается неизменной и в данной системе координат. Поэтому построение исходного ДУ на основе (1) требует формального проведения операции  $\nabla^2 \dot{\vec{A}}$  в системе эллиптических цилиндрических координат. В частности [17]:

$$\begin{aligned} \text{rot}\dot{\vec{A}} &= \frac{1}{f^2(\text{ch}^2\xi - \cos^2\eta)} \times \begin{vmatrix} f(\text{ch}^2\xi - \cos^2\eta)^{1/2} \vec{1}\xi & f(\text{ch}^2\xi - \cos^2\eta)^{1/2} \vec{1}\eta & \vec{1}k \\ \frac{\partial}{\partial \xi} & \frac{\partial}{\partial \eta} & \frac{\partial}{\partial z} \\ f(\text{ch}^2\xi - \cos^2\eta)^{1/2} \dot{A}_\xi & f(\text{ch}^2\xi - \cos^2\eta)^{1/2} \dot{A}_\eta & \dot{A}_z \end{vmatrix} = \\ &= \text{rot}_\xi \dot{\vec{A}} + \text{rot}_\eta \dot{\vec{A}} + \text{rot}_z \dot{\vec{A}} = \dot{\vec{B}}_\xi + \dot{\vec{B}}_\eta + \dot{\vec{B}}_z, \end{aligned}$$

где  $\vec{1}\xi, \vec{1}\eta, \vec{1}z$  – орты по осям данной системы координат (рис. 1б). Проведя указанную операцию и учитывая условия (2), а также:

$$\dot{A}_\xi = 0, \dot{A}_\eta = 0 \quad \text{и} \quad \frac{\partial \dot{A}_\xi}{\partial z} = 0, \quad \frac{\partial \dot{A}_\eta}{\partial z} = 0,$$

получим развернутое выражение (1) в скалярном виде в этой системе координат:

$$\frac{1}{f^2(\text{ch}^2\xi - \cos^2\eta)} \left[ \frac{\partial^2 \dot{A}}{\partial \xi^2} + \frac{\partial^2 \dot{A}}{\partial \eta^2} \right] + \underline{k}^2 \dot{A} = -\mu_a \dot{J}_{\text{стор}}. \quad (14)$$

Оно также является исходным расчетным уравнением и определяется как скалярное неоднородное ДУ Гельмгольца второго порядка в частных производных относительно  $\dot{A}$ . Форма построения граничных условий и в этом случае аналогична при других обозначениях координатных параметров:

$$\dot{A}_i = \dot{A}_{i+1} \quad \text{и} \quad \frac{1}{\mu_{ai}} \frac{\partial \dot{A}_i}{\partial \xi} = \frac{1}{\mu_{a,i+1}} \frac{\partial \dot{A}_{i+1}}{\partial \xi} \quad \text{при} \quad \xi = \xi_i. \quad (15)$$

Таким образом, в данной статье произведена постановка задачи о поле, создаваемом нитевидным прямолинейным проводником с синусоидальным током, расположенным параллельно проводящим цилиндрическим или проводящим эллиптическим цилиндрическим объектам. Она заключается в определении исходного расчетного уравнения (6) и управления(14), решение которого должно удовлетворять приведенным граничным условиям (10), (13) и (15).

## ЛИТЕРАТУРА

1. Герасимов В. Г., Ключев В. В., Шатерников В. Е. Методы и приборы электромагнитного контроля. М.: Издательский дом «Спектр», 2010. 256 с.
2. Власов В. В., Комаров В. А. Взаимодействие магнитного поля длинной одновитковой рамки с проводящим ферромагнитным цилиндром // Дефектоскопия, 1972, № 4, С. 64–74.
3. Курозаев В. П., Костров Д. С., Полулех А. В. Расчет поля линейно-протяженного вихретокового преобразователя, расположенного между цилиндрами конечной толщины // Труды научно-исследовательского и конструкторского института испытательных машин, приборов и средств измерения масс. Современные проблемы развития неразрушающего контроля качества изделий. Вып. 10, 1976. М., НИКИМП. С. 3–8.
4. Мироненко А. С. Зависимость сигнала рамочного вихретокового преобразователя от параметров двухслойной трубы / В кн.: Методы и приборы автоматического неразрушающего контроля // Рига: Рижский политехнический институт. 1983. С. 153–162.
5. Никитин А. И., Архипова Л. М. Расчет накладного датчика для контроля труб / В кн.: Доклады Первой Всесоюзной межвузовской конференции по электромагнитным методам контроля качества материалов и изделий. Часть 1. М.: МЭИ, 1972, С. 95–106.
6. Шкатов П. Н., Сухоруков В. В. Неразрушающий контроль качества тел вращения сложной формы с помощью рамочных преобразователей / В кн.: Методы и приборы автоматического неразрушающего контроля / Материалы семинара. Рига: Рижский политехнический институт. 1977. Выпуск 1. С. 49–58.
7. Смайт В. Электростатика и электродинамика. М.: Издательство иностранной литературы, 1954. 606 с.
8. Бухгольц Г. Расчет электрических и магнитных полей. М.: Издательство иностранной литературы, 1961. 712 с.
9. Овчинников И. К. Теория поля: Лекции для геофизиков разведчиков. Часть 2. Свердловский горный институт, 1963.
10. Бинс К., Лауренсон П. Расчет и анализ электрических и магнитных полей. М.: Энергия, 1970. 256 с.
11. Тихонов А. Н., Самарский А. А. Уравнения математической физики. М.: Наука, 1977. 736 стр.
12. Камке Э. Справочник по обыкновенным дифференциальным уравнениям. М.: Наука, 1976. 576 с.
13. Нейман Л. Р., Демирчан К. С. Теоретические основы электротехники. Т.1. М.: Энергоиздат, 1981. 536 с.
14. Степанов А. Л. Ориентированная для САПР универсальная ММ ВТК

плоских проводящих сред. Часть 1. Постановка вспомогательной задачи // Труды СКГМИ (ГТУ). Владикавказ. Вып. 21. 2014. С. 103–111.

15. *Тамм И. Е.* Основы теории электричества. М.: Наука, 1976. 616 с.

16. *Бермант А. Ф.* Отображения. Криволинейные координаты. Преобразования. Формулы Грина. М.: ИЗМАТГИЗ, 1958. 308 с.

17. *Анго А.* Математика для электро- и радиоинженеров. М.: Наука, 1967. 780 с.

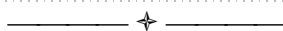
*Dedegkaev A. G., Stepanov A. L.*

#### **ORIENTED CAD UNIVERSAL MATHEMATICAL MODEL OF NON-DESTRUCTIVE EDDY CURRENT TESTING OF CYLINDRICAL CONDUCTIVE OBJECTS. STATEMENT OF THE PROBLEM**

*A brief analysis of existing mathematical models of non-destructive eddy current testing of cylindrical conductive objects eddy current probe linearly extended form. The necessity of constructing an initial mathematical model of non-destructive eddy current testing in the form of filamentary two-wire line with a sinusoidal current that is near cylindrical conductive objects.*

*The problem on the calculation of quasi-stationary electromagnetic field generated threadlike conductor placed near cylindrical conductive objects. Received and substantiated the original equations and boundary conditions for their solution.*

**Key words:** *software CAD, threadlike conductor, a cylindrical conductive environment, the system cylindrical (circular) coordinates and qi indecency elliptic coordinates, quasi-static electromagnetic field of the conductor, the basic differential equation, boundary conditions.*



УДК 004.75

*Канд. техн. наук, доцент КОВАЛЕВА М. А.,  
канд. техн. наук, ВОЛОШИН С. Б.*

#### **ЕДИНОЕ ЭЛЕКТРОННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ ПРОСТРАНСТВО СЕВЕРО-КАВКАЗСКОГО РЕГИОНА КАК ФАКТОР УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ГОРНЫХ ТЕРРИТОРИЙ**

*Статья посвящена актуальной проблеме организации единого электронного образовательного пространства Северо-Кавказского региона. Приведены основные направления фактора устойчивого развития горных территорий единого электронного пространства. Предложена многоуровневая модель системных взаимосвязей образовательных структур с различными источниками информации.*

**Ключевые слова:** *информационно-коммуникационные технологии, информационно-образовательная среда, единое электронное образовательное*



*пространство, устойчивое развитие горных территорий, информатизация образования, дистанционное обучение.*

В современных условиях прогресс в области информационно-коммуникационных технологий (ИКТ) в Российской Федерации (РФ) сопровождается сменой образовательной парадигмы, что ведет к формированию новой модели программно-телекоммуникационной среды образовательного пространства, отличающейся содержанием, подходами, правовыми аспектами и педагогическим менталитетом. Под образовательным пространством понимается вся совокупность образовательных и учебно-воспитательных процессов, взаимодействие образовательных учреждений разного типа.

Большинство образовательных учреждений Северо-Кавказского региона оснащены современным компьютерным оборудованием, лицензированным программным обеспечением и электронными обучающими курсами. Информатизация образования в условиях горных территорий позволила улучшить качество обучения, однако дальнейшему повышению эффективности мешают отсутствие педагогов необходимой квалификации, недостаточное количество учителей, владеющих информационно-коммуникационными технологиями, сложность мониторинга эффективности использования ИКТ-ресурсов, а также депопуляция горных территорий, ведущая к появлению малокомплектных классов [1].

В настоящее время образовательное пространство большинства регионов Северного Кавказа представляет собой слабо связанную на техническом уровне совокупность государственных, ведомственных и негосударственных образовательных учреждений различного уровня. Как следствие – отсутствует формализованный подход к централизованному управлению различными информационными ресурсами и инструментами в сфере образования в масштабах субъекта РФ; слабо развиты методики и инструменты для оценки эффективности работы преподавательского состава образовательных учреждений; низка эффективность методологий и инструментария для выявления на ранней стадии скрытого потенциала учащихся.

Модернизация образовательных процессов и совершенствование информационных технологий, осуществление взаимодействия разрозненных информационных систем существующего образовательного пространства позволят оптимизировать бизнес-процессы регионального образования, что в конечном итоге приведет к сокращению временных и финансовых затрат. Особое значение имеет поиск новых подходов к повышению эффективности управления образовательными системами. Система образования должна в большей степени ориентироваться непосредственно на региональные образовательные условия и удовлетворение региональных потребностей. Задача по созданию региональной образовательной инфраструктуры единого электронного образовательного пространства (ЕЭОП) является наиболее актуальной на ближайшее время. Таким образом, для успешного решения данной задачи необходимо разработать подходы, алгоритмы, методы и инструменты организации ЕЭОП Северо-Кавказского региона (с целью обеспечения взаимодействия внутренних и внешних информационных потоков), прикладное программное обеспечение ЕЭОП (использующее для работы Cloud-технологии).

Особенности развития современной образовательной системы предъявляют новые требования: непрерывность; постоянный рост уровня образова-

тельных программ; преемственность разных уровней образования; практическую ориентированность программ; достижение высокого образовательного уровня.

При разработке региональной системы единого электронного образовательного пространства субъектов Северо-Кавказского региона необходимо обеспечить консолидацию следующих систем: электронной очереди в дошкольные и общеобразовательные учреждения (интегрированные в портал государственных услуг); аттестации и повышения квалификации педагогических и руководящих работников; дистанционного обучения; оценки качества знаний; дистанционного анкетирования; дистанционного доступа к электронным каталогам библиотек региона; проведения предметных олимпиад школьников и студентов; предоставления информации о результатах государственных экзаменов; оценки качества и результативности деятельности педагогических работников, руководителей общеобразовательных учреждений в соответствии с заданными критериями.

Структура организации ЕЭОП представлена на рис. 1.

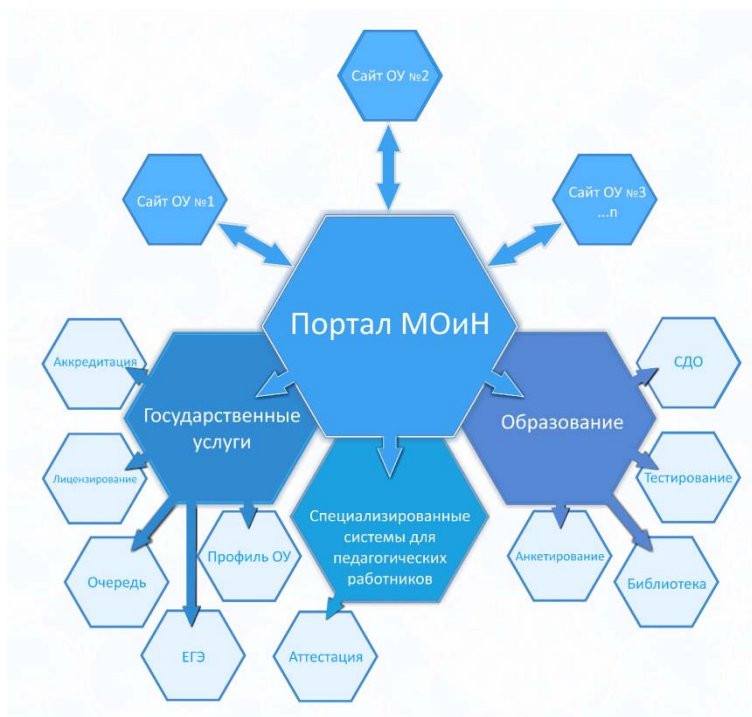


Рис. 1. Структура организации единого электронного образовательного пространства

Без сомнения, ключевую задачу по разворачиванию, настройке системы и обучению работы в ней должен взять на себя координационный центр в столице региона. Благодаря веб-ориентированности системы появится возможность из центра управлять доступом к ней отдельных образовательных учреждений и муниципалитетов, контролировать эффективность ее использования на местах.

Стоит отметить, что проектирование функциональных особенностей подобных систем должно быть основано на методах и подходах моделирования социальных процессов, учета законодательства РФ и последних достижений в области педагогики.

Одним из ключевых направлений в деятельности управленческого звена является проблема обеспечения системы образования педагогическими кадрами. В связи с этим в системе регионального управления должны использоваться системы, направленные на регулярную оценку соответствия структуры педагогических кадров существующей потребности, исследование тенденций его количественного и качественного развития и прогнозирование новых компонент для будущих этапов его функционирования.

Использование аналитического потенциала результатов социологического прогнозирования помогает преодолевать стихийность, импульсивность в принятии важных решений, ориентироваться в работе на надежный критерий количественно-качественной оценки реального состояния кадров педагогов в регионе и позволит разработать принципы стратегии, направленной на развитие приоритетных для региона специальностей, обеспеченных рыночным спросом. Результаты социологического прогнозирования кадровых процессов, происходящих в системе образования, могут быть использованы также и для оценки эффективности деятельности управленческого звена. Так, в Республике Северная Осетия-Алания разработана и успешно применяется система автоматизированного мониторинга и прогнозирования «Педагогические кадры» [2].

Согласно [3] «высокое качество образования» включает в себя: соответствие содержания образовательных программ и стандартов; высокую удовлетворенность заинтересованных сторон качеством услуг; высокую удовлетворенность преподавателей и сотрудников образовательного учреждения своей работой – положительное влияние на общество, повышение общей культуры и образованности, доступ к образовательным ресурсам. В современных условиях образовательным учреждениям и библиотекам отводится особая роль в построении нового информационного общества. Разработка и распространение электронных ресурсов способствуют созданию открытой образовательной среды; появляется возможность обмена информацией между библиотеками и образовательными учреждениями, повышается эффективность процесса просвещения, что позволяет формировать информационную грамотность и культуру.

Совокупность внедряемых в систему обучения принципиально новых систем и методов обработки данных, представляющих собой целостные обучающие системы, и отображение данных, идей, знаний с наименьшими затратами и в соответствии с закономерностями той среды, в которой они развиваются – это синтез достижений педагогической науки и средств информационно-вычислительной техники, который подразумевает научные подходы к организации учебно-воспитательного процесса, в целях его оптимизации и повышения эффективности, а также обновления материально-технической базы учебных учреждений [4].

Развитие информационных технологий в области образования в перспективе позволит освоить не только такие формы обучения, как электронные лекции и семинары, но и лабораторные работы на реальном оборудовании с помощью удаленного доступа [5, 6]. Например, в ФГБОУ ВПО «Северо-Кав-

казский горно-металлургический институт (государственный технологический университет)» проходит апробацию система дистанционного обучения, предназначенная для подготовки инженерных кадров, в предусмотренных законодательством формах получения образования и обучения (Федеральный закон «Об образовании в Российской Федерации» от 29.12.2012 № 273-ФЗ и Приказ Министерства образования и науки РФ от 9 января 2014 года № 2 «Порядок применения организациями, осуществляющими образовательную деятельность, электронного обучения, дистанционные образовательные технологии при реализации образовательных программ») [7]. В перспективе, в условиях уменьшения квалифицированных инженерных кадров, новое содержание может получить идея виртуального участия студентов в практической работе предприятия, что неизбежно приведет и к дальнейшему развитию новых форм обучения.

Развитие телекоммуникационных средств позволит более широко использовать дистанционные технологии, тем самым способствуя повышению качества образования в учреждениях, расположенных в труднодоступных территориях [8].

Практика показывает, что при организации обучения на горных территориях, необходимо предусмотреть возможность использования дистанционного обучения. Такой подход позволяет эффективно решать проблемы нехватки высококвалифицированных специалистов, способствует распространению передового опыта и его внедрению в образовательный процесс.

Таким образом, единое образовательное пространство является важным фактором устойчивого развития горных территорий. Его наличие позволит создать дополнительные условия для социализации учащихся: сформирует творческие навыки, научит сотрудничать со сверстниками и взрослыми, работать с большими объемами информации, осуществлять выбор и нести за него ответственность; сформирует новые социальные объединения, работающие над коллективными проектами. Новая среда, в основе которой лежит коллективная познавательная, творческая и учебная деятельность, учит думать по-новому, воспитывает толерантность и критическое мышление. Весь комплекс мер приведет к повышению качества жизни населения региона за счет широкомасштабного использования информационно-коммуникационных технологий, в частности, повышению общего уровня грамотности населения в области современных методов работы с информацией, организации дистанционного обучения детей с ограниченными возможностями, развитию системы непрерывной профессиональной подготовки и аттестации государственных и муниципальных служащих, повышению эффективности методов обучения, расширению доступа населения к получению образования за счет дистанционных средств. Современные информационные технологии дают колоссальные возможности именно в сфере образования, поскольку могут очень эффективно применяться в процессе передачи знаний.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Бероев Б. М., Макоев Х. Х.* Основные проблемы горных территорий Северной Осетии // Устойчивое развитие горных территорий. 2009. № 1. С. 31–37.

2. Ковалева М. А., Коровкина А. Ю., Волошин С. Б., Сырцев Г. А., Фарниев С. Р. Система автоматизированного мониторинга и прогнозирования в управлении образовательными системами // Сборник материалов IV междисциплинарной региональной конференции молодых ученых «Наука – обществу». Владикавказ. 2014. С. 21–30.

3. Солонин К. И., Кортков С. В. Качество образования: проблемы и задачи изучения внутренней среды ВУЗа // Университетское управление: практика и анализ. 2003. № 2. С. 69.

4. Оценка качества деятельности образовательного учреждения / В. И. Васильев, В. Б. Красильников, С. И. Плаксий, Т. Н. Тягунова. М.: ИКАР, 2005. С. 310.

5. Зеер Э. Ф. Психология профессионального образования. М.: Изд-во Моск. психол.-соц. ин-та, 2003. С. 53.

6. Семенова Г. П. Подготовка инженерных кадров с помощью ДОТ (опыт, результаты, перспективы) // Высшее образование в России. 2010. № 12. С. 90–95.

7. Волошин С. Б., Ковалева М. А., Коровкина А. Ю., Бурдунова С. Э. Система дистанционного образования как инструмент подготовки инженерных кадров // Проблемы модернизации инженерного образования в России: сб. науч. ст. по проблемам высшей школы/ Южный Российский государственный политехнический университет (НПИ) им. М. И. Платонова. Новочеркасск: ЮРГПУ (НПИ), 2014. С. 83–86.

8. Милованова Н. Г. Потенциал сельских базовых школ в построении единого образовательного пространства школьного округа // Человек и образование. 2014. № 4. (41). С. 111–116.

*Kovaleva M. A., Voloshin S. B.*

### **UNIFORMED ELECTRONIC EDUCATIONAL SPACE OF THE NORTH CAUCASUS REGION AS A FACTOR FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF MOUNTAIN AREAS**

*The article is dedicated to the urgent problem of organization of a unified electronic educational space of North Caucasian region. The main directions of a factor of sustainable development of mountain territories of a unified electronic space are adduced. The multilevel model of system interconnections in educational structures with different information sources is offered.*

**Key words** : *information and communication technologies, information-educational environment, uniformed electronic educational space, sustainable development of mountain territories, informatization of education, distance learning*

#### **REFERENCES**

1. Beroev B. M., Makoev H. H. The main problems of mountain territories of North Ossetia // Sustainable development of Mountain territories. 2009. № 1. P. 31–37.

2. Kovaleva M. A., Korovkina A. J., Voloshin S. B., Syrcev G. A., Farniev S. R. System of automated monitoring and forecasting in the management of educational

systems // Collection of materials IV multidisciplinary regional conference of young scientists "Science - society". Vladikavkaz: 2014. P. 21–30.

3. *Solonin K. I., Kortov S. V.* Quality of education: problems and tasks of studying the internal environment of a university // *University Management: Practice and Analysis*. 2003. № 2. P. 69.

4. Evaluation of the quality of an educational establishment // *V. I. Vasiliev, V. B. Krasilnikov, S. I. Plaksij, T. N. Tjagunova*. Moscow State University of Economics, Statistics and Informatics. M.: Publishing Center EAOI, 2007. P. 280.

5. *Zeer Je. F.* Psychology of vocational education // M.: Publishing: mpsu, 2003. P. 53.

6. *Semenova G. P.* Engineering personnel training using distance learning technologies (experience, results, perspectives) // *G. P. Semenova* // *Vysshee obrazovanie v Rossii ulitsa*. 2010. № 12. P. 90–95.

7. *Voloshin S. B., Kovaleva M. A., Korovkina A. Ju., Burdunova S. Je.* System of distance education as a tool for engineering personnel training // *The Problems of Modernization of Engineering Education in Russia / Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI)*. Novocherkassk: SRSPU (NPI), 2014. P. 83–86.

8. *Milovanova N. G.* The potential of the rural basic schools in a building of a unified educational space of the school district // *Chelovek i obrazovanie*. 2014. № 4. (41). P. 111–116.



УДК 681.31:620.179.14

*Канд. техн. наук, доцент СТЕПАНОВ А. Л.,  
д-р техн. наук, профессор ДЕДЕГКАЕВ А. Г.*

**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ  
ВИХРЕТОКОВОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ.  
ЭДС ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ОБМОТОК**

*Работа посвящена вопросам математического обеспечения САПР методов и средств неразрушающего электромагнитного контроля плоских проводящих изделий.*

*Рассматриваются универсальные математические модели вихретоковых преобразователей, содержащие модели обмотки возбуждения и модели измерительной обмотки как линейно-протяженной, так и круглой формы с различным профилем в поперечном сечении.*

*Для каждого сочетания обмоток приведены выражения для расчета вектор-потенциалов результирующего поля и ЭДС измерительной обмотки. Приведены схемы, таблица определения и аббревиатура измерительных обмоток линейно-протяженной формы.*

**Ключевые слова:** *математическая модель, вихретоковый преобразователь, обмотка возбуждения, измерительная обмотка, вектор-потенциал поля, ЭДС.*

Работа продолжает построение математической модели (ММ) вихревого преобразователя (ВТП), начатое в [1–5]. В ММ трансформаторного ВТП помимо ММ обмотки возбуждения (ОВ) входит еще и ММ измерительной обмотки (ИО). При этом ток в проводниках реальной ОВ создает результирующее электромагнитное поле. ЭДС, наводимая в проводниках реальной ИО, несет информацию об электромагнитных и геометрических параметрах объекта контроля. Построение ММ ВТП, включающее его выходные характеристики, описывающие поле, создаваемое ОВ, приведены в [3–5], а описывающие ЭДС, наводимые в ИО, являются целью данной работы. Поэтому построение универсальной ММ ВТП должно сопровождаться сочетанием конкретных вариантов ММ указанных обмоток.

Учитывая рассмотренные в [3] варианты ММ ОВ, предварительно опишем разработанную терминологию вариантов ММ ИО линейно-протяженной формы или иной формы.

Допущения для ОВ и ИО, связанные с их представлением в виде двух половин: правой и левой, изложены в [4, 7].

Наиболее характерными моделями ИО являются первоначальные ММ (нитевидные и одномерные, имеющие, как максимум, конечным только один из размеров в поперечном сечении). Рассмотрим именно такие сочетания ММ обмоток в ММ ВТП, которые будем сокращенно обозначать их аббревиатурой.

1. Вариант ММ ВТП – НДЛ-НДЛ (ОВ – ИО) (рис. 1а). ЭДС, наводимую в измерительной обмотке, определяют на основе известного выражения [8]:

$$\dot{E} = -j\omega \oint \dot{A} d\ell. \quad (1)$$

В декартовой системе координат (1) примет вид [9]:

$$\dot{E} = -j\omega \oint \left( \dot{A}_x \vec{1}_i + \dot{A}_y \vec{1}_j + \dot{A}_z \vec{1}_k \right) \left( dx \vec{1}_i + dy \vec{1}_j + dz \vec{1}_k \right) = -j\omega \oint \dot{A}_z dz, \quad (2)$$

где  $\dot{E}$  – комплекс действующего значения ЭДС в ИО,

$\omega$  – угловая частота тока в проводах обмотки возбуждения (ОВ),

$j$  – мнимая единица,

$\dot{A}$  – комплекс, действующего значения векторного потенциала поля,

$(\dot{A}_x, \dot{A}_y, \dot{A}_z)$  – его составляющие по осям декартовой системы координат,

$(\vec{1}_i, \vec{1}_j, \vec{1}_k)$  – орты соответствующей оси координат.

Начальное поле ОВ  $A_1(x_1, y_1) B_1(x_2, y_2)$ , вторичное поле вихревых токов в проводящих средах, а также результирующее поле, создаваемое в пустоте между проводящими средами, описывают выражения для векторных потенциалов [3, 4]:

$$\dot{A}_{012} = \frac{\dot{I} \mu_0}{2\pi} \ln \frac{\sqrt{(x-x_2)^2 + (y-y_2)^2} \vec{1}_k}{\sqrt{(x-x_1)^2 + (y-y_1)^2}}; \quad (3)$$

### Варианты ММ измерительной обмотки

Русская аббревиатура обозначения	Abbreviation marks in English
<u>И</u> змерительная <u>о</u> бмотка вихретокового преобразователя [6] (ИО)	<u>M</u> easuring <u>w</u> inding of eddy current probe [6] (MW)
<u>Н</u> итевидная <u>д</u> вухпроводная <u>л</u> иния (НДЛ)	Filiform <u>t</u> wo- <u>w</u> ire <u>l</u> ine (TWL)
<u>О</u> бмотка <u>м</u> ногопроводная, <u>с</u> осредоточенная в поперечном сечении, обмотка в виде двухпроводной многожильной линии (ОМС)	<u>M</u> ulti-wire <u>w</u> inding <u>c</u> entered in the cross <u>s</u> ection (MWC)
Линейно-протяженная идеально <u>т</u> онкостенная <u>о</u> бмотка (ТО)	Linearly extended perfectly <u>t</u> hin walled <u>w</u> inding (TW)
Линейно-протяженная идеально короткая обмотка ( <u>с</u> пиральная <u>о</u> бмотка) (СО)	Linearly extended <u>s</u> piral <u>w</u> inding (SW)
Линейно-протяженная <u>о</u> бмотка <u>п</u> рямоугольная в поперечном <u>с</u> ечении (ОПС)	Linearly extended <u>w</u> inding is <u>r</u> ectangular in cross <u>s</u> ection (WRS)
Линейно-протяженная <u>о</u> бмотка <u>р</u> омбовидная в поперечном <u>с</u> ечении (ОПС)	Linearly extended <u>w</u> inding <u>d</u> iamond-shaped in cross <u>s</u> ection (WDS)
Линейно-протяженная <u>о</u> бмотка <u>э</u> ллиптическая в поперечном <u>с</u> ечении (ОЭС)	Linearly extended <u>w</u> inding is <u>e</u> lliptical in cross <u>s</u> ection (WES)
Линейно-протяженная <u>о</u> бмотка <u>к</u> руглая в поперечном <u>с</u> ечении (ОКС)	Linearly extended <u>w</u> inding <u>r</u> ound in cross <u>s</u> ection (WRS)
Линейно-протяженная <u>о</u> бмотка с формой поперечного <u>с</u> ечения в виде <u>м</u> ногоугольника (ОМС)	Linearly extended <u>w</u> inding is <u>p</u> olygon in cross <u>s</u> ection (WPS)
<u>О</u> бмотка в виде <u>к</u> ругового нитевидного <u>к</u> онтура [3] (ОКК)	<u>W</u> inding as a <u>c</u> ircular threadlike <u>c</u> ontour (WCC)
<u>О</u> бмотка в виде <u>к</u> ругового <u>м</u> ногопроводного <u>к</u> онтура (ОКМК)	<u>W</u> inding as a <u>c</u> ircular <u>m</u> ulti-wire <u>c</u> ontour (MCMC)
<u>О</u> бмотка идеально <u>т</u> онкостенная <u>к</u> руглой формы (ОТК)	Perfectly <u>t</u> hin walled <u>w</u> inding of <u>r</u> ound form (TWR)



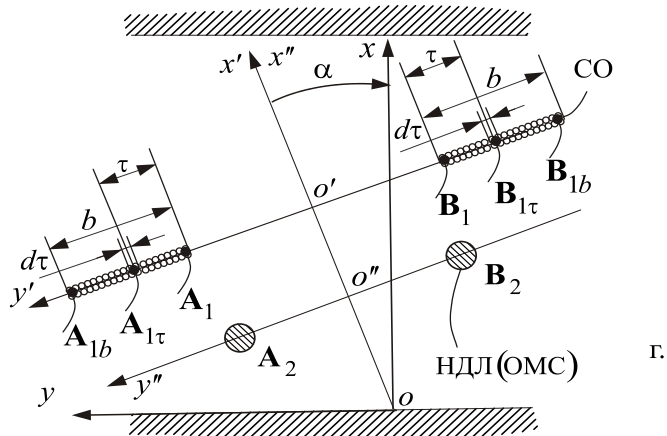
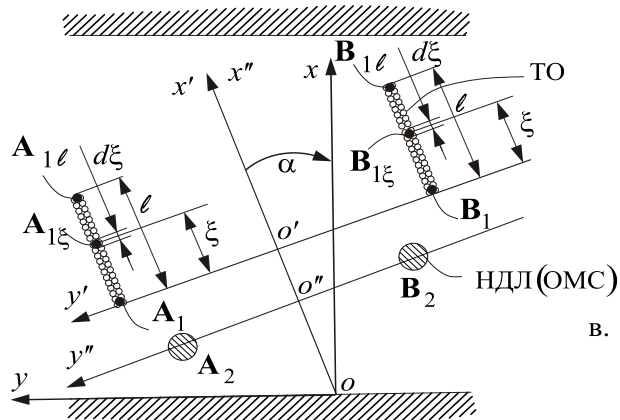
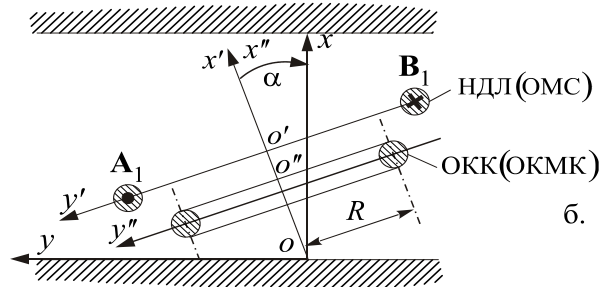
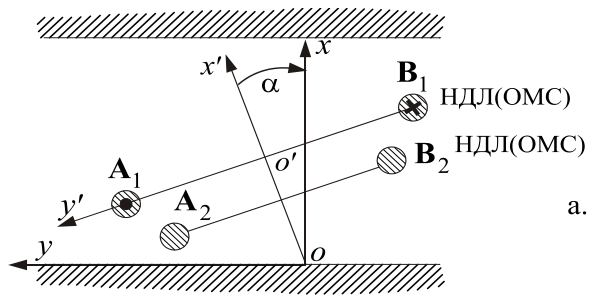
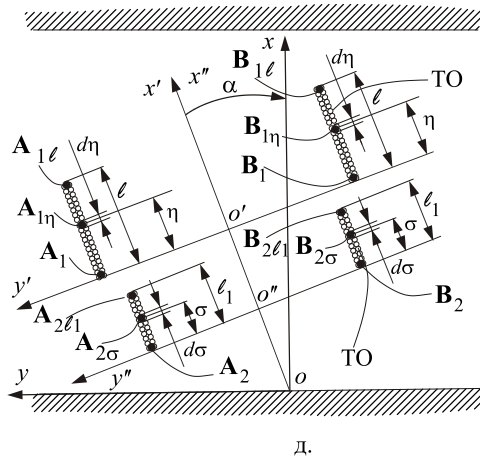
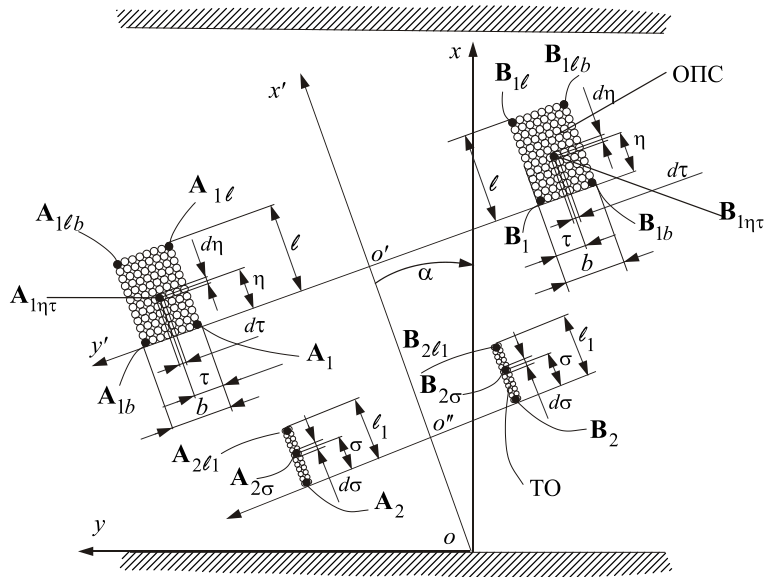


Рис. 1. Схемы сочетаний ММ обмоток трансформаторного ВТП  
(начало, окончание на стр. 24)



д.



е.

Рис. 1. Схемы сочетаний ММ обмоток трансформаторного ВТП (окончание, начало на стр. 163)

$$\dot{A}_{\text{BH}12} = -\frac{\dot{I} \mu_0}{2\pi} \int_0^{\infty} \left[ \frac{F_1 e^{\lambda x} + F_2 e^{-\lambda x}}{\lambda F} \cos \lambda(y - y_1) - \frac{F_3 e^{\lambda x} + F_4 e^{-\lambda x}}{\lambda F} \cos \lambda(y - y_2) \right] d\lambda \vec{1k}; \quad (4)$$

$$\dot{A}_{d12} = \dot{A}_{012} + \dot{A}_{\text{BH}12}, \quad (5)$$

где  $\dot{A}_{012}$ ,  $\dot{A}_{\text{вн}12}$ ,  $\dot{A}_{d12}$  – соответственно, вектор-потенциал начального поля, вносимый вектор-потенциал и полный вектор-потенциал поля в пространстве между проводящими средами;

$\lambda$  – параметр интегрального преобразования Фурье.

Для остальных вариантов ММ ВТП результирующее поле описывают выражением, подобным (5). ЭДС, наводимую в нитевидной двухпроводной линии  $A_2(x_3, y_3) B_2(x_4, y_4)$ , на единице ее длины, получают, используя (3)–(5):

$$\dot{E}_{d34} = \dot{E}_{034} + \dot{E}_{\text{вн}34}, \quad (6)$$

где

$$\begin{aligned} \dot{E}_{034} &= -j\omega \left( \dot{A}_{012} \Big|_{\substack{x=x_3 \\ y=y_3}} - \dot{A}_{012} \Big|_{\substack{x=x_4 \\ y=y_4}} \right) = -2j\omega \dot{A}_{012} \Big|_{\substack{x=x_3 \\ y=y_3}} = -2j\omega \dot{A}_{012} \Big|_{\substack{x=x_4 \\ y=y_4}} = \\ &= -j\omega \frac{i\mu_0}{2\pi} \ln \frac{(x_3 - x_2)^2 + (y_3 - y_2)^2}{(x_3 - x_1)^2 + (y_3 - y_1)^2} = j\omega \frac{i\mu_0}{2\pi} \ln \frac{(x_4 - x_2)^2 + (y_4 - y_2)^2}{(x_4 - x_1)^2 + (y_4 - y_1)^2}; \quad (7) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{E}_{\text{вн}34} &= -j\omega \left( \dot{A}_{\text{вн}12} \Big|_{\substack{x=x_3 \\ y=y_3}} - \dot{A}_{\text{вн}12} \Big|_{\substack{x=x_4 \\ y=y_4}} \right) = \\ &= j\omega \frac{i\mu_0}{2\pi} \int_0^\infty \left[ \frac{F_1 e^{\lambda x_3} + F_2 e^{-\lambda x_3}}{\lambda F} \cos \lambda (y_3 - y_1) - \frac{F_3 e^{\lambda x_3} + F_4 e^{-\lambda x_3}}{\lambda F} \cos \lambda (y_3 - y_2) + \right. \\ &\quad \left. + \frac{F_1 e^{\lambda x_4} + F_2 e^{-\lambda x_4}}{\lambda F} \cos \lambda (y_4 - y_1) - \frac{F_3 e^{\lambda x_4} + F_4 e^{-\lambda x_4}}{\lambda F} \cos \lambda (y_4 - y_2) \right] d\lambda, \quad (8) \end{aligned}$$

где  $\dot{E}_{d34}$ ,  $\dot{E}_{034}$ ,  $\dot{E}_{\text{вн}34}$  – соответственно, полная, начальная и вносимая ЭДС, наводимая на единице длины линии  $A_2 B_2$ . В дальнейшем результирующую ЭДС получают для всех вариантов ММ ВТП с помощью выражений аналогичных (6).

*Замечание.* Относительно полученных выражений (7) и (8) сделаем следующие пояснения. Из (3) следует, что плоскопараллельное поле вектора  $\dot{A}_0$  имеет нечётную симметрию относительно плоскости симметрии линии  $A_1 B_1$ , а, следовательно, и относительно плоскости симметрии линии  $A_2 B_2$  (рис. 1а). Если определять длину каждого провода  $A_2$  и  $B_2$  в одном и том же направлении оси  $z$ , то в силу сказанного о криволинейном интеграле, ЭДС холостого хода, наводимые на единице длины каждого провода линии  $A_2 B_2$ , будут равны по модулю и противоположны по знаку. При вычислении же контурной ЭДС во всей линии  $A_2 B_2$ , в силу сделанного замечания, она ока-

зывается равной удвоенному значению ЭДС в каждом проводе. Так и следует из (7). Полученное обстоятельство, в силу геометрической симметрии поля холостого хода, будет справедливым и для более сложных вариантов модели ВТП. В дальнейшем используем его.

Искомые параметры ММ ВТП более сложной конструкции получают, интегрируя (3) и (4) по известным правилам [3]. Несмотря на то, что интегрирование выражений достаточно просто, они имеют весьма громоздкий вид для демонстрации их в одной работе (некоторые выражения в развернутом виде приведены в [4, 5]). Учитывая это обстоятельство, расчетные выражения представим в интегральном виде.

## 2. Вариант ММ ВТП – НДЛ-ОКК (рис. 1б).

Выразим координаты  $X$  и  $Y$  посредством координат  $x''$  и  $y''$  системы  $O''x''y''$ , связанной с контуром [10]:

$$x = x_0'' + x'' \cos \alpha - y'' \sin \alpha; \quad y = y_0'' + x'' \sin \alpha + y'' \cos \alpha; \quad z = z'', \quad (9)$$

где  $x_0'', y_0''$  – координаты центра  $o''$  в системе  $Ox y$ .

Зададим уравнение круглого контура ОКК в системе  $x'', o'', y''$  в параметрической форме:

$$x'' = R \cos \theta; \quad y'' = R \sin \theta, \quad (10)$$

где  $\theta$  – некоторый угол, отсчитываемый от положительного направления оси  $y''$  против часовой стрелки и определяющий положение текущей точки на окружности контура. Подставив (9) и (10) в (3), получим после некоторых преобразований:

$$\dot{E}_0 = -j\omega \frac{\dot{I} \mu_0}{4\pi} \oint \ln \frac{R^2 \cos^2 \theta + Rk_2 \cos \theta + g_2}{R^2 \cos^2 \theta + Rk_1 \cos \theta + g_1} d(R \sin \theta),$$

где

$$k_1 = 2 \left[ (y_0'' + x'' \sin \alpha - y_1) \cos \alpha - (x_0'' + x'' \cos \alpha - x_1) \sin \alpha \right],$$

$$g_1 = \left[ (y_0'' + x'' \sin \alpha - y_1)^2 + (x_0'' + x'' \cos \alpha - x_1)^2 \right].$$

Постоянные  $k_2$  и  $g_2$  определяют аналогично – заменой  $x_1$  и  $y_1$  на  $x_2$  и  $y_2$ .

Подынтегральное выражение, как функция от  $\theta$  в точках контура, симметрично относительно осей  $o''y''$  и  $o''z''$ , поэтому контурный интеграл можно заменить на линейный интеграл:

$$\dot{E}_0 = -j\omega \frac{\dot{I} \mu_0}{\pi} \int_0^{\pi/2} \ln \frac{R^2 \cos^2 \theta + Rk_2 \cos \theta + g_2}{R^2 \cos^2 \theta + Rk_1 \cos \theta + g_1} d(R \sin \theta).$$

Подставив (10) в (9) и в (4), определяем исходный повторный интеграл для расчета вносимой ЭДС  $\dot{E}_{\text{вн}}$ :

$$\begin{aligned} \dot{E}_{\text{вн}} = & -\frac{\dot{I}\mu_0}{2\pi} \times \\ & \times \int_0^\infty \left\{ \frac{R}{\lambda F} \left[ e^{\lambda u} (\underline{F}_1 \cos \lambda v_1 - \underline{F}_3 \cos \lambda v_2) \int_0^{2\pi} e^{-\lambda p \cos \theta} \cos(\lambda g \cos \theta) \cos \theta d\theta - \right. \right. \\ & - e^{\lambda u} (\underline{F}_1 \sin \lambda v_1 - \underline{F}_3 \sin \lambda v_2) \int_0^{2\pi} e^{-\lambda p \cos \theta} \sin(\lambda g \cos \theta) \cos \theta d\theta + \\ & + e^{-\lambda u} (\underline{F}_2 \cos \lambda v_1 - \underline{F}_4 \cos \lambda v_2) \int_0^{2\pi} e^{\lambda p \cos \theta} \cos(\lambda g \cos \theta) \cos \theta d\theta - \\ & \left. \left. - e^{-\lambda u} (\underline{F}_2 \sin \lambda v_1 - \underline{F}_4 \sin \lambda v_2) \int_0^{2\pi} e^{-\lambda p \cos \theta} \sin(\lambda g \cos \theta) \cos \theta d\theta \right] \right\} d\lambda, \end{aligned}$$

где

$$\begin{aligned} u &= x'' + x'' \cos \alpha; v_1 = y_0'' + x'' \sin \alpha - y_1; \\ v_2 &= y_0'' + x'' \sin \alpha - y_2; p = R \sin \alpha; g = R \cos \alpha \end{aligned}$$

3. *Вариант ММ ВТП – ТО-НДЛ* (рис. 1б). Вектор-потенциалы ОБ определяют интегрированием (3) и (4) вдоль высоты стенки обмотки  $\ell$ :

$$\dot{A}_{ok} = \frac{\dot{I}\mu_0 w_\ell}{4\pi\ell} \int_0^\ell \ln \frac{(x-x_{2\eta})^2 + (y-y_{2\eta})^2}{(x-x_{1\eta})^2 + (y-y_{1\eta})^2} d\eta \vec{1k}; \quad (11)$$

$$\begin{aligned} \dot{A}_{\text{внк}} = & \frac{w\dot{I}\mu}{2\pi\ell} \int_0^\ell \int_0^\infty \left[ \frac{\underline{F}_1(x_{1\eta})e^{\lambda x} + \underline{F}_2(x_{1\eta})e^{-\lambda x}}{\underline{F}\lambda} \cos \lambda(y-y_{1\eta}) - \right. \\ & \left. - \frac{\underline{F}_3(x_{2\eta})e^{\lambda x} + \underline{F}_4(x_{2\eta})e^{-\lambda x}}{\underline{F}\lambda} \cos \lambda(y-y_{2\eta}) \right] d\eta d\lambda \vec{1k}. \end{aligned} \quad (12)$$

Определим ЭДС, наводимые в линии  $A_2(x_3, y_3)B_2(x_3, y_3)$

$$\begin{aligned} \dot{E}_{ok} &= -j\omega \frac{\dot{I}\mu_0 w_\ell}{2\pi\ell} \int_0^\ell \ln \frac{(x_3-x_{2\eta})^2 + (y_3-y_{2\eta})^2}{(x_3-x_{1\eta})^2 + (y_3-y_{1\eta})^2} d\eta = \\ &= j\omega \frac{\dot{I}\mu_0 w_\ell}{2\pi\ell} \int_0^\ell \ln \frac{(x_4-x_{2\eta})^2 + (y_4-y_{2\eta})^2}{(x_4-x_{1\eta})^2 + (y_4-y_{1\eta})^2} d\eta; \end{aligned} \quad (13)$$

$$\begin{aligned} \dot{E}_{\text{внк}} = j\omega \frac{i\mu}{2\pi\ell} \int_0^{\infty} \int_0^{\ell} & \left[ \frac{\underline{F}_1(x_{1\eta})e^{\lambda x_3} + \underline{F}_2(x_{1\eta})e^{-\lambda x_3}}{\underline{F}\lambda} \cos\lambda(y_3 - y_{1\eta}) - \right. \\ & - \frac{\underline{F}_3(x_{2\eta})e^{\lambda x_3} + \underline{F}_4(x_{2\eta})e^{-\lambda x_3}}{\underline{F}\lambda} \cos\lambda(y_3 - y_{2\eta}) + \\ & + \frac{\underline{F}_1(x_{1\eta})e^{\lambda x_4} + \underline{F}_2(x_{1\eta})e^{-\lambda x_4}}{\underline{F}\lambda} \cos\lambda(y_4 - y_{1\eta}) - \\ & \left. - \frac{\underline{F}_3(x_{2\eta})e^{\lambda x_4} + \underline{F}_4(x_{2\eta})e^{-\lambda x_4}}{\underline{F}\lambda} \cos\lambda(y_4 - y_{2\eta}) \right] d\eta d\lambda. \end{aligned} \quad (14)$$

4. Вариант ММ ВТП СО-НДЛ (рис. 1з). Вектор-потенциалы, создаваемые ОВ, определяют интегрированием (3) и (4) вдоль толщины стенки  $\mathbf{b}$ . Вид выражений для вектор-потенциалов и ЭДС аналогичен (11)–(14).

Построение указанных выражений для ММ ВТП ТО – ТО и ОПС – ТО проводят аналогично (рис. 1д) и (рис. 1е).

В качестве выходного параметра ВТП часто используют относительное вносимое напряжение:

$$\dot{U}_{\text{внк}}^* = \frac{\dot{U}_{\text{внк}}}{|\dot{U}_{\text{ок}}|}, \quad \dot{U}_{\text{внк}} = -\dot{E}_{\text{внк}}, \quad \dot{U}_{\text{ок}} = -\dot{E}_{\text{ок}},$$

где  $\dot{U}_{\text{внк}}$ ,  $\dot{U}_{\text{ок}}$  – соответственно, начальное и вносимое напряжение ВТП [8].

Таким образом, в данной работе построены варианты ММ универсального трансформаторного ВТП, включающей ММ ОВ и ММ ИО. Эти варианты являются математической основой построения универсальной ММ вихретокового контроля плоских проводящих сред.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Степанов А. Л. Ориентированная для САПР универсальная ММ ВТК плоских проводящих сред. Часть 1. Постановка вспомогательной задачи // Труды СКГМИ (ГТУ). Выпуск двадцать первый. Владикавказ, 2014. С. 103–111.
2. Степанов А. Л., Дедегкаев А. Г. Ориентированная для САПР универсальная ММ ВТК плоских проводящих сред. Часть 2. Решение задач для построения ММ // Труды СКГМИ (ГТУ). Выпуск двадцать первый. Владикавказ, 2014. С. 112–122.
3. Дедегкаев А. Г., Степанов А. Л. Ориентированная для САПР универсальная математическая модель вихретокового преобразователя. Часть 1. Результирующее поле обмотки возбуждения // Вестник ДГТУ. Технические науки. 2015. С. 70–78.
4. Степанов А. Л., Воронин П. А. Математическая модель линейно-протяженного вихретокового преобразователя для контроля плоских многослойных проводящих сред: Деп. в ВИНТИ 06.08.97. № 2619 В97.

5. Степанов А. Л. Многослойное проводящее полупространство в электромагнитном поле нитевидной двухпроводной линии с синусоидальным током: Деп. в ВИНТИ 08.01.97. № 41 В97 34 с.

6. Гост 24289-80. Контроль неразрушающий вихретоковый. Термины и определения.

7. Степанов А. Л., Пагиев К. Х., Дедегкаев А. Г. Математические модели измерительных обмоток для САПР щелевых вихретоковых преобразователей с однородным электромагнитным полем // Известия вузов. Электромеханика. 2006. № 2, С. 7–14.

8. Герасимов В. Г., Клюев В. В., Шатерников В. Е. Методы и приборы электромагнитного контроля промышленных изделий. М.: Наука, 1983. 272 с.

9. Анго А. Математика для электро- и радиоинженеров. М.: Наука, 1967. 780 с.

10. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. М.: Наука, 1974. 832 с.

*Stepanov A. L., Dedegkaev A. G.*

**ORIENTED FOR CAD A UNIVERSAL MATHEMATICAL MODEL  
OF THE EDDY CURRENT PROBE.  
PART 2. DETERMINING OUTPUT CHARACTERISTICS**

*Work is devoted to issues of computer-aided design methods and tools for non-destructive electromagnetic testing and diagnostic of flat conductive products. Discusses universal mathematical models of Eddy-current probe that contain models drive winding and models of measuring winding linear-long form. The following combinations of mathematical models of windings in the form*

- two filiform two-wire lines or two multi-wire lines centered in the cross section,*
- filiform two-wire line and threadlike circular contour,*
- linearly extended perfectly thin walled winding and filiform two-wire line,*
- linearly extended spiral winding and filiform two-wire line*
- two linearly extended perfectly thin walled windings*
- linearly extended spiral windings rectangular in cross-section and filiform two-wire line.*

*How to build a mathematical model of the Eddy current probe in combination with other forms of windings. For each combination of winding gives expression to calculate a vector-field potentials and electromotive force. Lists the schematics and abbreviation of measuring winding of linear-long form.*

**Key words:** *mathematical model, Eddy-current transducer, winding measuring excitation winding, vector-potential fields, EMF.*



Канд. техн. наук, доцент СТЕПАНОВ А. Л.,  
аспирант ДОРОШ Н. В.,  
канд. техн. наук, доцент СОИН А. М.

## НОРМИРОВКА ПАРАМЕТРОВ МАШИННОГО АНАЛИЗА ММ ВТП

*Работа посвящена созданию математического обеспечения САПР методов и средств неразрушающего вихретокового контроля плоских проводящих сред. Конкретно – к мероприятиям и методике подготовки данных для машинного анализа математической модели трансформаторного вихретокового преобразователя, а также представления результатов анализа. Рассматриваются вопросы выбора и обоснования линейного нормирующего параметра, вопросы представления выражений для выходных характеристик преобразователя в безразмерном виде, включая аналогичные по форме расчетные выражения для постоянных интегрирования с учетом нескольких по сложности моделей проводящей среды.*

**Ключевые слова:** математическая модель, вихретоковый преобразователь, обмотка возбуждения, измерительная обмотка, начальная ЭДС, вносимая ЭДС, начальное напряжение, вносимое напряжение.

Результаты данной статьи являются продолжением исследований по созданию универсальной математической модели (ММ) трансформаторного вихретокового преобразователя (ВТП) для неразрушающего вихретокового контроля (ВТК) плоских проводящих сред. В предыдущих работах [1–4] приведены выражения, описывающие поле обмотки возбуждения (ОВ) и ЭДС, наводимую в измерительной обмотке (ИО) ВТП линейно-протяженной формы с поперечным сечением в виде многоугольника.

Данная работа преследует ту же цель и решает задачи:

- нормировки влияющих параметров ВТК, используемых при машинном моделировании ММ ВТП, и представления результатов этого анализа в обобщенном (безразмерном) виде;
- представления постоянных интегрирования, а также формул, определяющих ЭДС ВТП, в виде выражений, позволяющих провести их численный расчет.

Рассмотрим решение этих задач. В качестве нормирующего параметра возьмем координату  $y'$  “условно срединных точек”  $A_{cp}(x'_{b1,cp} y'_{b1,cp})$  и  $B_{cp}(x'_{b2,cp} y'_{b2,cp})$ , выбранных в системе  $O'_b x'_b y'_b$  на площади поперечного сечения ОВ1 и симметричных относительно  $O'_b x'_b$  (рисунок). При этом

$$x'_{b1,cp} = \frac{x'_{b1,max} + x'_{b1,min}}{2}; y'_{b1,cp} = \frac{y'_{b1,max} + y'_{b1,min}}{2}$$

$$x'_{b2,cp} = \frac{x'_{b2,max} + x'_{b2,min}}{2}; y'_{b2,cp} = \frac{y'_{b2,max} + y'_{b2,min}}{2},$$



где  $x'_{b2\max}; x'_{b2\min}$  и  $x'_{b1\max}; x'_{b1\min}$  – координаты вершин многоугольника в поперечном сечении обмоток на правой и левой половине, имеющие максимальное и минимальное значения этой координаты;

$y'_{b1\max}; y'_{b1\min}$  и  $y'_{b2\max}; y'_{b2\min}$  – координаты точек пересечения прямой  $x' = x'_{b1,cp}$  на левой половине и  $x' = x'_{b2,cp}$  на правой половине поперечного сечения обмотки со сторонами многоугольника. При этом присваиваем  $y'_{b1,cp} = -y'_{b2,cp} = d$  – значение базового линейного нормирующего параметра. Если поменять местами порядок определения и назначение координат, то условие  $y'_{b1,cp} = -y'_{b2,cp} = d$  остается в силе.

Основной влияющий параметр

$$\underline{q} = \sqrt{\lambda^2 - \underline{k}^2} = \sqrt{\lambda^2 + j\omega\mu_0\mu\gamma}$$

входит в выражения для вектор-потенциала поля в проводящей среде [2] и в выражения для постоянных интегрирования [5]. Проведем нормировку этого параметра:

$$\underline{q}^* = \underline{q}d = \sqrt{\lambda^2 d^2 - \underline{k}^2 d^2} = \sqrt{\lambda^2 d^2 + jd^2\omega\mu_0\mu\gamma}.$$

Примем обозначения. Учтем, что  $\lambda$  – параметр интегрального преобразования Фурье имеет смысл пространственной частоты ( $\dim \lambda = \text{радиан/м}$ ). По-

этому  $\lambda d = \overset{*}{x}$  – безразмерная величина, которая является нормированным параметром интегрального преобразования Фурье;

$d^2\omega\mu_0\mu\gamma = \beta^2$  – безразмерная величина, которая называется обобщенным параметром ВТК [6];

$\omega$  – угловая частота переменного тока в проводах линии;

$j = \sqrt{-1}$  – мнимая единица;

$\mu_a = \mu\mu_0$  – абсолютная ( $\mu_a$ ), относительная ( $\mu$ ) магнитные проницаемости, магнитная постоянная ( $\mu_0$ ) и  $\gamma$  – удельная электропроводность в данной точке пространства. Таким образом:

$$\underline{q}^* = \sqrt{x^{*2} + j\beta^2\mu}.$$

Представляя  $\underline{q}^*$  в алгебраической форме записи, получим

$$\operatorname{Re} \underline{q}^* = \sqrt{\frac{\sqrt{x^{*4} + j\beta^4\mu^2} + x^{*2}}{2}}; \operatorname{Im} \underline{q}^* = \sqrt{\frac{\sqrt{x^{*4} + j\beta^4\mu^2} - x^{*2}}{2}}. \quad (1)$$

Данные выражения являются исходными в операции разделения формулы для вносимой ЭДС на действительную и мнимую составляющие. В качестве примера рассмотрим такое разделение для погружного ВТП. На рисунке обозначены геометрические и электрофизические параметры каждого слоя в рассматриваемом пространстве.

1. Пусть погружной трансформаторный ВТП расположен между двухслойными проводящими средами (рис. 1), каждая из которых является проводящим полупространством ( $\mu_{1г}, \gamma_{1г}$  и  $\mu_{1н}, \gamma_{1н}$ ) с проводящим покрытием ( $\mu_{2г}, \gamma_{2г}$  и  $\mu_{2н}, \gamma_{2н}$ ). Задаваемыми нормированными параметрами расчета являются:

$$\mu_{1г}, \beta_{1г}, \kappa_{\gamma_{1н}} = \frac{\gamma_{1н}}{\gamma_{1г}}, \kappa_{\mu_{1н}} = \frac{\mu_{1н}}{\mu_{1г}}, \kappa_{\gamma_{2г}} = \frac{\gamma_{2г}}{\gamma_{1г}},$$

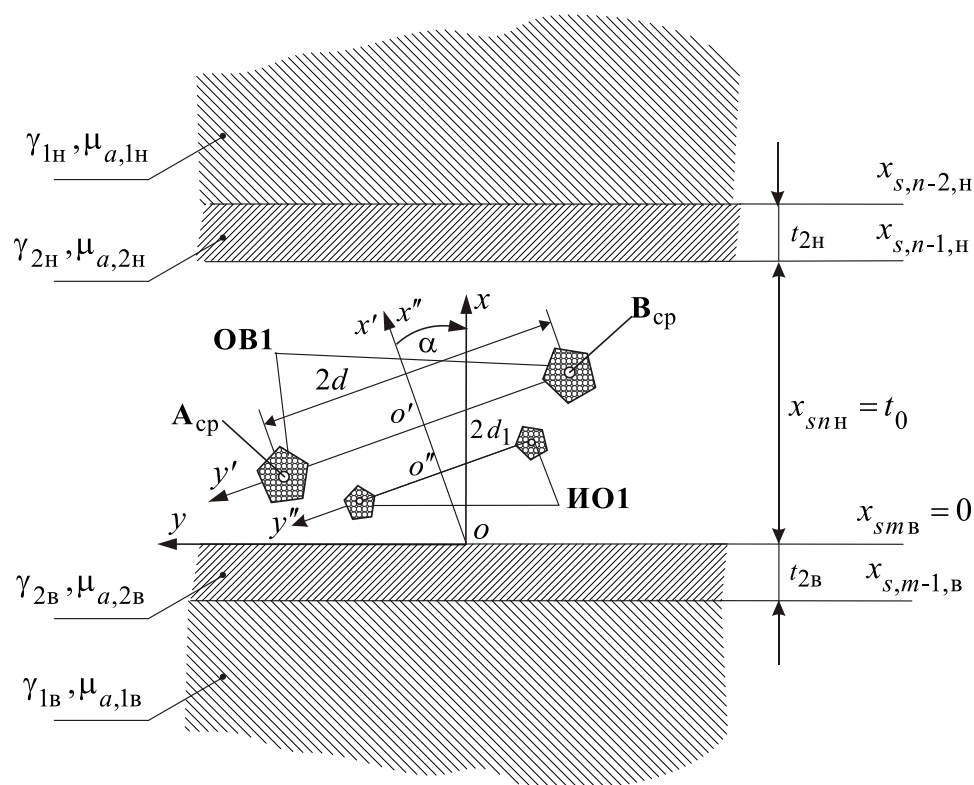


Рис. 1. Расположение линейно-протяженных обмоток трансформаторного погружного ВТП

$$\kappa_{\mu_{2г}} = \frac{\mu_{2г}}{\mu_{1г}}, \kappa_{\gamma_{2н}} = \frac{\mu_{2н}}{\mu_{1г}}, \kappa_{\mu_{2н}} = \frac{\mu_{2н}}{\mu_{1г}},$$

$$t_{2\hat{a}}^* = \frac{t_{2\hat{a}}}{d}, t_{2\hat{i}}^* = \frac{t_{2\hat{i}}}{d}, t_0^* = t_0/d \quad (2)$$

$$d_1^* = d_1/d; \quad x'_{b0} = x_{b0}/d, \quad y'_{b0} = y_{b0}/d,$$

$$x''_{b0} = x''_{b0}/d, \quad y''_{b0} = y''_{b0}/d, \quad x = \lambda d.$$

Также нормируются координаты вершин многоугольников в поперечном сечении обмоток и координаты текущих точек интегрирования:

$$A_{b1}(\check{x}_{b1\xi\chi}; \check{y}_{b1\xi\chi}); \quad B_{b1}(\check{x}_{b2\xi\chi}; \check{y}_{b2\xi\chi}); \quad A_{b2}(\check{x}_{b3\sigma\nu}; \check{y}_{b3\sigma\nu}); \quad B_{b2}(\check{x}_{b4\sigma\nu}; \check{y}_{b4\sigma\nu})$$

по площадям поперечного сечения обмоток. В целях более компактного построения формул обозначения индексов координат сокращены.

$$\check{x}_{b1\xi\chi} \equiv \check{x}_{b1}, \quad \check{y}_{b1\xi\chi} \equiv \check{y}_{b1}, \quad \check{x}_{b2\xi\chi} \equiv \check{x}_{b2}, \quad \check{y}_{b2\xi\chi} \equiv \check{y}_{b2},$$

$$\check{x}_{b3\sigma\nu} \equiv \check{x}_{b3}, \quad \check{y}_{b3\sigma\nu} \equiv \check{y}_{b3}, \quad \check{x}_{b4\sigma\nu} \equiv \check{x}_{b4}, \quad \check{y}_{b4\sigma\nu} \equiv \check{y}_{b4}.$$

Выражение для вносимой ЭДС такого ВТП приведено в [4]. Нормированное выражение примет вид:

$$\begin{aligned} \dot{E}_{\text{внк}} = j\omega \frac{i\mu}{2\pi \check{S}_1 \check{S}_2} \frac{0w_1 w_2}{\int_0^{\infty} \int_{S_1} \int_{S_2} \int} & \left[ \frac{\check{F}_1(\check{x}, \check{x}_{b1}) e^{\check{x}\check{x}_{b3}} + \check{F}_2(\check{x}, \check{x}_{b1}) e^{-\check{x}\check{x}_{b3}}}{\check{x} \check{F}(\check{x})} \times \right. \\ & \times \cos \check{x}(\check{y}_{b3} - \check{y}_{b1}) - \frac{\check{F}_3(\check{x}, \check{x}_{b2}) e^{\check{x}\check{x}_{b3}} + \check{F}_4(\check{x}, \check{x}_{b2}) e^{-\check{x}\check{x}_{b3}}}{\check{x} \check{F}(\check{x})} \cos \check{x}(\check{y}_{b3} - \check{y}_{b2}) + \\ & + \frac{\check{F}_1(\check{x}, \check{x}_{b1}) e^{\check{x}\check{x}_{b4}} + \check{F}_2(\check{x}, \check{x}_{b1}) e^{-\check{x}\check{x}_{b4}}}{\check{x} \check{F}(\check{x})} \cos \check{x}(\check{y}_{b4} - \check{y}_{b1}) - \\ & \left. - \frac{\check{F}_3(\check{x}, \check{x}_{b2}) e^{\check{x}\check{x}_{b4}} + \check{F}_4(\check{x}, \check{x}_{b2}) e^{-\check{x}\check{x}_{b4}}}{\check{x} \check{F}(\check{x})} \cos \check{x}(\check{y}_{b4} - \check{y}_{b2}) \right] d(\check{S}_1) d(\check{S}_2) d\check{x}, \quad (3) \end{aligned}$$

где нормированные  $\check{F}_1, \check{F}_2, \check{F}_3, \check{F}_4, \check{F}$  согласно [2] можно представить:

$$\check{F}_1(\check{x}, \check{x}_{b1}) = \left[ sh(\check{x}\check{x}_{b1}) + \frac{\check{x}}{\mu_0} \check{D}_{m\epsilon} ch(\check{x}\check{x}_{b1}) \right] \cdot \left( 1 - \frac{\check{x}}{\mu_0} \check{D}_{n\eta} \right) e^{-\check{x}t_0};$$

$$\begin{aligned}
\tilde{F}_2(\tilde{x}, \tilde{x}_{b1}) &= \left[ sh \tilde{x}(t_0 - \tilde{x}_{b1}) + \frac{\tilde{x}}{\mu_0} \tilde{D}_{nH} ch \tilde{x}(t_0 - \tilde{x}_{b1}) \right] \cdot \left( 1 - \frac{\tilde{x}}{\mu_0} \tilde{D}_{m\epsilon} \right); \\
\tilde{F}_3(\tilde{x}, \tilde{x}_{b2}) &= \left[ sh(\tilde{x} \tilde{x}_{b2}) + \frac{\tilde{x}}{\mu_0} \tilde{D}_{m\epsilon} ch(\tilde{x} \tilde{x}_{b2}) \right] \cdot \left( 1 - \frac{\tilde{x}}{\mu_0} \tilde{D}_{nH} \right) e^{-\tilde{x} t_0}; \\
\tilde{F}_4(\tilde{x}, \tilde{x}_{b2}) &= \left[ sh \tilde{x}(t_0 - \tilde{x}_{b2}) + \frac{\tilde{x}}{\mu_0} \tilde{D}_{nH} ch \tilde{x}(t_0 - \tilde{x}_{b2}) \right] \cdot \left( 1 - \frac{\tilde{x}}{\mu_0} \tilde{D}_{m\epsilon} \right); \\
\tilde{F}(\tilde{x}) &= \frac{\tilde{x}}{\mu_0} \left( \tilde{D}_{nH} + \tilde{D}_{m\epsilon} \right) ch(\tilde{x} t_0) \cdot \left( 1 + \frac{\tilde{x}^2}{\mu_0} \tilde{D}_{nH} \tilde{D}_{m\epsilon} \right) sh(\tilde{x} t_0).
\end{aligned}$$

Используя рекуррентные выражения [5], получим нормированные постоянные интегрирования:

$$\tilde{D}_{2H}^* = \frac{\mu_0 \mu_{1B} \kappa_{\mu 2H}}{\tilde{q}_{2H}^*} \cdot \frac{sh \left( \frac{\tilde{q}_{2H}^*}{\mu_0 \mu_{1B} \kappa_{\mu 2H}} \cdot t_{2H}^* \right) + \frac{\tilde{q}_{2H}^*}{\mu_0 \mu_{1B} \kappa_{\mu 2H}} \tilde{D}_{1H}^* \cdot ch \left( \frac{\tilde{q}_{2H}^*}{\mu_0 \mu_{1B} \kappa_{\mu 2H}} \cdot t_{2H}^* \right)}{ch \left( \frac{\tilde{q}_{2H}^*}{\mu_0 \mu_{1B} \kappa_{\mu 2H}} \cdot t_{2H}^* \right) + \frac{\tilde{q}_{2H}^*}{\mu_0 \mu_{1B} \kappa_{\mu 2H}} \tilde{D}_{1H}^* \cdot sh \left( \frac{\tilde{q}_{2H}^*}{\mu_0 \mu_{1B} \kappa_{\mu 2H}} \cdot t_{2H}^* \right)}; \quad (4)$$

$$\tilde{D}_{2B}^* = \frac{\mu_0 \mu_{1B} \kappa_{\mu 2B}}{\tilde{q}_{2B}^*} \cdot \frac{sh \left( \frac{\tilde{q}_{2B}^*}{\mu_0 \mu_{1B} \kappa_{\mu 2B}} \cdot t_{2B}^* \right) + \frac{\tilde{q}_{2B}^*}{\mu_0 \mu_{1B} \kappa_{\mu 2B}} \tilde{D}_{1B}^* \cdot ch \left( \frac{\tilde{q}_{2B}^*}{\mu_0 \mu_{1B} \kappa_{\mu 2B}} \cdot t_{2B}^* \right)}{ch \left( \frac{\tilde{q}_{2B}^*}{\mu_0 \mu_{1B} \kappa_{\mu 2B}} \cdot t_{2B}^* \right) + \frac{\tilde{q}_{2B}^*}{\mu_0 \mu_{1B} \kappa_{\mu 2B}} \tilde{D}_{1B}^* \cdot sh \left( \frac{\tilde{q}_{2B}^*}{\mu_0 \mu_{1B} \kappa_{\mu 2B}} \cdot t_{2B}^* \right)}; \quad (5)$$

$$\tilde{D}_{1B}^* = \frac{\mu_0 \mu_{1B}}{\tilde{q}_{1B}^*}, \tilde{D}_{1H}^* = \frac{\mu_0 \mu_{1B} \kappa_{\mu 1H}}{\tilde{q}_{1H}^*}. \quad (6)$$

Представляя (3) с помощью (1), (2) и (4–6) в алгебраической форме, получим расчетное выражение для вносимой ЭДС. Порядок построения формул «снизу–вверх» рекомендован в [7]:

$$\operatorname{Re} \dot{E}_{\text{внк}} = j\omega \frac{i\mu_0 w_1 w_2}{2\pi \dot{S}_1 \dot{S}_2} \int_0^\infty \int_0^{S_1} \int_0^{S_2} \left[ \operatorname{Re}(\underline{FSR}) \right] d\xi^* d\chi^* d\sigma^* d\nu^* d\dot{x}^*;$$

$$\operatorname{Im} \dot{E}_{\text{внк}} = j\omega \frac{i\mu_0 w_1 w_2}{2\pi \dot{S}_1 \dot{S}_2} \int_0^\infty \int_0^{S_1} \int_0^{S_2} \left[ \operatorname{Im}(\underline{FSR}) \right] d\xi^* d\chi^* d\sigma^* d\nu^* d\dot{x}^*;$$

где

$$\operatorname{Re}(\underline{FSR}) = \frac{\operatorname{Re}(\underline{\text{CH1}})}{z^2} - \frac{\operatorname{Re}(\underline{\text{CH2}})}{z^2} + \frac{\operatorname{Re}(\underline{\text{CH3}})}{z^2} - \frac{\operatorname{Re}(\underline{\text{CH4}})}{z^2};$$

$$\operatorname{Im}(\underline{FSR}) = \frac{\operatorname{Im}(\underline{\text{CH1}})}{z^2} - \frac{\operatorname{Im}(\underline{\text{CH2}})}{z^2} + \frac{\operatorname{Im}(\underline{\text{CH3}})}{z^2} - \frac{\operatorname{Im}(\underline{\text{CH4}})}{z^2};$$

$$z^2 = \dot{x}^* \operatorname{Re}[\underline{F}(\dot{x}^*)]^2 + \dot{x}^* \operatorname{Im}[\underline{F}(\dot{x}^*)]^2;$$

$$\operatorname{Re}(\underline{\text{CH1}}) = \frac{\delta_1 \tau + s_1 \eta + \delta_2 \tau + s_2 \eta}{z^2} \cos \varepsilon_1;$$

$$\operatorname{Im}(\underline{\text{CH1}}) = \frac{s_1 \tau - \delta_1 \eta - \delta_2 \eta + s_2 \tau}{z^2} \cos \varepsilon_1;$$

$$\operatorname{Re}(\underline{\text{CH2}}) = -\frac{\delta_3 \tau + s_3 \eta + \delta_4 \tau + s_4 \eta}{z^2} \cos \varepsilon_2;$$

$$\operatorname{Im}(\underline{\text{CH2}}) = -\frac{s_3 \tau - \delta_3 \eta - \delta_4 \eta + s_4 \tau}{z^2} \cos \varepsilon_2;$$

$$\operatorname{Re}(\underline{\text{CH3}}) = \frac{\delta_5 \tau + s_5 \eta + \delta_6 \tau + s_6 \eta}{z^2} \cos \varepsilon_3;$$

$$\operatorname{Im}(\underline{\text{CH3}}) = \frac{s_5 \tau - \delta_5 \eta - \delta_6 \eta + s_6 \tau}{z^2} \cos \varepsilon_3;$$

$$\operatorname{Re}(\underline{\text{CH4}}) = -\frac{\delta_7 \tau + s_7 \eta + \delta_8 \tau + s_8 \eta}{z^2} \cos \varepsilon_4;$$

$$\text{Im}(\underline{\text{CH2}}) = -\frac{s_7\tau - \delta_7\eta - \delta_8\eta + s_8\tau}{Z^2} \cos \varepsilon_4;$$

$$\cos \left[ \overset{*}{x} \left( \overset{*}{y}_{b3} - \overset{*}{y}_{b1} \right) \right] = \varepsilon_1, \quad \cos \left[ \overset{*}{x} \left( \overset{*}{y}_{b3} - \overset{*}{y}_{b2} \right) \right] = \varepsilon_2,$$

$$\cos \left[ \overset{*}{x} \left( \overset{*}{y}_{b4} - \overset{*}{y}_{b1} \right) \right] = \cos \varepsilon_3, \quad \cos \left[ \overset{*}{x} \left( \overset{*}{y}_{b4} - \overset{*}{y}_{b2} \right) \right] = \cos \varepsilon_4;$$

$$\delta_1 = \text{Re} \left[ \underline{F}_1^*(\overset{*}{x}, \overset{*}{x}_{b1}) \right] e^{\overset{*}{x}\overset{*}{x}_{b3}}; \quad \delta_2 = \text{Re} \left[ \underline{F}_2^*(\overset{*}{x}, \overset{*}{x}_{b1}) \right] e^{-\overset{*}{x}\overset{*}{x}_{b3}};$$

$$\delta_3 = \text{Re} \left[ \underline{F}_3^*(\overset{*}{x}, \overset{*}{x}_{b2}) \right] e^{\overset{*}{x}\overset{*}{x}_{b3}}; \quad \delta_4 = \text{Re} \left[ \underline{F}_4^*(\overset{*}{x}, \overset{*}{x}_{b2}) \right] e^{-\overset{*}{x}\overset{*}{x}_{b3}};$$

$$\delta_5 = \text{Re} \left[ \underline{F}_1^*(\overset{*}{x}, \overset{*}{x}_{b1}) \right] e^{\overset{*}{x}\overset{*}{x}_{b4}}; \quad \delta_6 = \text{Re} \left[ \underline{F}_2^*(\overset{*}{x}, \overset{*}{x}_{b1}) \right] e^{-\overset{*}{x}\overset{*}{x}_{b4}};$$

$$\delta_7 = \text{Re} \left[ \underline{F}_3^*(\overset{*}{x}, \overset{*}{x}_{b2}) \right] e^{\overset{*}{x}\overset{*}{x}_{b4}}; \quad \delta_8 = \text{Re} \left[ \underline{F}_4^*(\overset{*}{x}, \overset{*}{x}_{b2}) \right] e^{-\overset{*}{x}\overset{*}{x}_{b4}};$$

$$s_1 = \text{Im} \left[ \underline{F}_1^*(\overset{*}{x}, \overset{*}{x}_{b1}) \right] e^{\overset{*}{x}\overset{*}{x}_{b3}}; \quad s_2 = \text{Im} \left[ \underline{F}_2^*(\overset{*}{x}, \overset{*}{x}_{b1}) \right] e^{-\overset{*}{x}\overset{*}{x}_{b3}};$$

$$s_3 = \text{Im} \left[ \underline{F}_3^*(\overset{*}{x}, \overset{*}{x}_{b2}) \right] e^{\overset{*}{x}\overset{*}{x}_{b3}}; \quad s_4 = \text{Im} \left[ \underline{F}_4^*(\overset{*}{x}, \overset{*}{x}_{b2}) \right] e^{-\overset{*}{x}\overset{*}{x}_{b3}};$$

$$\delta_5 = \text{Re} \left[ \underline{F}_1^*(\overset{*}{x}, \overset{*}{x}_{b1}) \right] e^{\overset{*}{x}\overset{*}{x}_{b4}}; \quad s_6 = \text{Im} \left[ \underline{F}_2^*(\overset{*}{x}, \overset{*}{x}_{b1}) \right] e^{-\overset{*}{x}\overset{*}{x}_{b4}};$$

$$s_7 = \text{Im} \left[ \underline{F}_3^*(\overset{*}{x}, \overset{*}{x}_{b2}) \right] e^{\overset{*}{x}\overset{*}{x}_{b4}}; \quad s_8 = \text{Im} \left[ \underline{F}_4^*(\overset{*}{x}, \overset{*}{x}_{b2}) \right] e^{-\overset{*}{x}\overset{*}{x}_{b4}};$$

$$\tau = \text{Re} \left[ \underline{F}_3^*(\overset{*}{x}) \right]; \quad \eta = \text{Im} \left[ \underline{F}_4^*(\overset{*}{x}) \right];$$

$$\text{Re} \left[ \underline{F}_1^*(\overset{*}{x}, \overset{*}{x}_{b1}) \right] = \left\{ \left[ sh(\overset{*}{x}\overset{*}{x}_{b1}) + (\overset{*}{x} \cdot \mu_{1e} \kappa_{\mu_{2e}}) K_e ch(\overset{*}{x}\overset{*}{x}_{b1}) \right] \times \right.$$

$$\begin{aligned}
& \times \left[ 1 - (\check{x} \cdot \mu_{1\epsilon} \kappa_{\mu_{2H}}) K_H \right] + \left[ (\check{x} \cdot \mu_{2\epsilon} \kappa_{\mu_{2\epsilon}}) V_\epsilon ch(\check{x} \check{x}_{b1}) \right] \left[ (\check{x} \cdot \mu_{1\epsilon} \kappa_{\mu_{2H}}) V_H \right] \left. \right\} e^{-\check{x} t_0} ; \\
& \quad \text{Im} \left[ \underline{F}_1^*(\check{x}, \check{x}_{b1}) \right] = \left\{ \left[ sh(\check{x}, \check{x}_{b1}) + (\check{x} \cdot \mu_{1\epsilon} \kappa_{\mu_{2\epsilon}}) K_\epsilon ch(\check{x} \check{x}_{b1}) \right] \times \right. \\
& \times \left[ (\check{x} \cdot \mu_{1\epsilon} \kappa_{\mu_{2H}}) V_H \right] - \left. \left[ (\check{x} \cdot \mu_{1\epsilon} \kappa_{\mu_{2\epsilon}}) V_\epsilon ch(\check{x} \check{x}_{b1}) \right] \left[ 1 - (\check{x} \cdot \mu_{1\epsilon} \kappa_{\mu_{2H}}) K_H \right] \right\} e^{-\check{x} t_0} ; \\
& \quad \text{Re} \left[ \underline{F}_2^*(\check{x}, \check{x}_{b1}) \right] = \left\{ sh \left[ \check{x} (\check{t}_0 - \check{x}_{b1}) \right] + (\check{x} \cdot \mu_{1\epsilon} \kappa_{\mu_{2H}}) K_H ch \left[ \check{x} (\check{t}_0 - \check{x}_{b1}) \right] \right\} \times \\
& \times \left[ 1 - (\check{x} \cdot \mu_{1\epsilon} \kappa_{\mu_{2\epsilon}}) K_\epsilon \right] + \left\{ (\check{x} \cdot \mu_{1\epsilon} \kappa_{\mu_{2H}}) V_H ch \left[ \check{x} (\check{t}_0 - \check{x}_{b1}) \right] \right\} \left[ (\check{x} \cdot \mu_{1\epsilon} \kappa_{\mu_{2\epsilon}}) V_\epsilon \right] ; \\
& \quad \text{Im} \left[ \underline{F}_2^*(\check{x}, \check{x}_{b1}) \right] = \left\{ sh \left[ \check{x} (\check{t}_0 - \check{x}_{b1}) \right] + (\check{x} \cdot \mu_{1\epsilon} \kappa_{\mu_{2H}}) K_H ch \left[ \check{x} (\check{t}_0 - \check{x}_{b1}) \right] \right\} \times \\
& \times \left[ 1 - (\check{x} \cdot \mu_{1\epsilon} \kappa_{\mu_{2\epsilon}}) V_\epsilon \right] - \left\{ (\check{x} \cdot \mu_{1\epsilon} \kappa_{\mu_{2H}}) V_H ch \left[ \check{x} (\check{t}_0 - \check{x}_{b1}) \right] \right\} \left[ (\check{x} \cdot \mu_{1\epsilon} \kappa_{\mu_{2\epsilon}}) K_\epsilon \right] ; \\
& \quad \text{Re} \left[ \underline{F}_3^*(\check{x}, \check{x}_{b2}) \right] = \left\{ \left[ sh(\check{x} \check{x}_{b2}) + (\check{x} \cdot \mu_{1\epsilon} \kappa_{\mu_{2\epsilon}}) K_\epsilon ch(\check{x} \check{x}_{b2}) \right] \times \right. \\
& \times \left[ 1 - (\check{x} \cdot \mu_{1\epsilon} \kappa_{\mu_{2H}}) K_H \right] + \left. \left[ (\check{x} \cdot \mu_{1\epsilon} \kappa_{\mu_{2\epsilon}}) V_\epsilon ch(\check{x} \check{x}_{b2}) \right] \left[ (\check{x} \cdot \mu_{1\epsilon} \kappa_{\mu_{2H}}) V_H \right] \right\} e^{-\check{x} t_0} ; \\
& \quad \text{Im} \left[ \underline{F}_3^*(\check{x}, \check{x}_{b2}) \right] = \left\{ \left[ sh(\check{x}, \check{x}_{b2}) + (\check{x} \cdot \mu_{1\epsilon} \kappa_{\mu_{2\epsilon}}) K_\epsilon ch(\check{x} \check{x}_{b2}) \right] \times \right. \\
& \times \left. \left[ (\check{x} \cdot \mu_{1\epsilon} \kappa_{\mu_{2H}}) V_H \right] - \left[ (\check{x} \cdot \mu_{1\epsilon} \kappa_{\mu_{2\epsilon}}) V_\epsilon ch(\check{x} \check{x}_{b2}) \right] \left[ 1 - (\check{x} \cdot \mu_{1\epsilon} \kappa_{\mu_{2H}}) K_H \right] \right\} e^{-\check{x} t_0} ; \\
& \quad \text{Re} \left[ \underline{F}_4^*(\check{x}, \check{x}_{b2}) \right] = \left\{ sh \left[ \check{x} (\check{t}_0 - \check{x}_{b2}) \right] + (\check{x} \cdot \mu_{1\epsilon} \kappa_{\mu_{2H}}) K_H ch \left[ \check{x} (\check{t}_0 - \check{x}_{b2}) \right] \right\} \times \\
& \times \left[ 1 - (\check{x} \cdot \mu_{1\epsilon} \kappa_{\mu_{2\epsilon}}) K_\epsilon \right] + \left\{ (\check{x} \cdot \mu_{1\epsilon} \kappa_{\mu_{2H}}) V_H ch \left[ \check{x} (\check{t}_0 - \check{x}_{b1}) \right] \right\} \left[ (\check{x} \cdot \mu_{1\epsilon} \kappa_{\mu_{2\epsilon}}) V_\epsilon \right] ;
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Im} \left[ \underline{F}_2^*(\check{x}, \check{x}_{b1}) \right] &= \left\{ \text{sh} \left[ \check{x}(\check{t}_0 - \check{x}_{b1}) \right] + (\check{x} \cdot \mu_{1\epsilon} \kappa_{\mu 2H}) K_H \text{ch} \left[ \check{x}(\check{t}_0 - \check{x}_{b1}) \right] \right\} \times \\ &\times \left[ 1 - (\check{x} \cdot \mu_{1\epsilon} \kappa_{\mu 2\epsilon}) V_\epsilon \right] - \left\{ (\check{x} \cdot \mu_{1\epsilon} \kappa_{\mu 2H}) V_H \text{ch} \left[ \check{x}(\check{t}_0 - \check{x}_{b1}) \right] \right\} \left[ (\check{x} \cdot \mu_{1\epsilon} \kappa_{\mu 2\epsilon}) K_\epsilon \right]; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Re} \left[ \underline{F}^*(\check{x}) \right] &= \left[ (\check{x} \cdot \mu_{1B} \kappa_{\mu 2H}) K_H + (\check{x} \cdot \mu_{1B} \kappa_{\mu 2B}) K_B \right] \text{ch}(\check{x} \check{t}_0) + \\ &\left[ 1 - (\check{x} \cdot \mu_{1B} \kappa_{\mu 2H} \mu_{1B} \kappa_{\mu 2B}) (K_H K_B - V_H V_B) \right] \text{sh}(\check{x} \check{t}_0); \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Im} \left[ \underline{F}^*(\check{x}) \right] &= - \left[ (\check{x} \cdot \mu_{1B} \kappa_{\mu 2H}) V_H + (\check{x} \cdot \mu_{1B} \kappa_{\mu 2B}) V_B \right] \text{ch}(\check{x} \check{t}_0) + \\ &+ \left[ \check{x}^2 \cdot \mu_{1B} \mu_{1B} \kappa_{\mu 2B} \kappa_{\mu 2H} (K_H V_B - V_H K_B) \right] \text{sh}(\check{x} \check{t}_0). \end{aligned}$$

$$K_B = \frac{u_{2Bch} u'_{2Bzn} + h_{2Bch} h'_{2Bzn}}{(u'_{2Bzn})^2 + (h'_{2Bzn})^2}; \quad V_B = \frac{-h'_{2Bzn} u_{2Bch} + h_{2Bch} u'_{2Bzn}}{(u'_{2Bzn})^2 + (h'_{2Bzn})^2};$$

$$u'_{2Bzn} = f_{2B} u_{2Bzn} - \rho_{2B} h_{2Bzn}; \quad h'_{2Bzn} = f_{2B} h_{2Bzn} + \rho_{2B} u_{2Bzn};$$

$$u_{2Bzn} = \left[ u_{2Bc} + \frac{1}{\kappa_{\mu 2B}} \frac{1}{f_{1B}^2 + \rho_{1B}} \left( f_{1B} f_{2B} u_{2Bs} + f_{2B} \rho_{1B} h_{2Bs} + \rho_{2B} f_{1B} h_{2Bs} + \rho_{2B} \rho_{1B} u_{2Bs} \right) \right];$$

$$h_{2Bzn} = \left[ h_{2Bc} + \frac{1}{\kappa_{\mu 2B}} \frac{1}{f_{1B}^2 + \rho_{1B}} \left( f_{1B} f_{2B} h_{2Bs} - f_{2B} \rho_{1B} u_{2Bs} + \rho_{2B} f_{1B} u_{2Bs} + \rho_{2B} \rho_{1B} h_{2Bs} \right) \right];$$

$$u_{2Bch} = \left[ u_{2Bs} + \frac{1}{\kappa_{\mu 2B}} \frac{1}{f_{1B}^2 + \rho_{1B}} \left( f_{1B} f_{2B} u_{2Bc} + f_{2B} \rho_{1B} h_{2Bc} + \rho_{2B} f_{1B} h_{2Bc} + \rho_{2B} \rho_{1B} u_{2Bc} \right) \right];$$

$$h_{2Bch} = \left[ h_{2Bs} + \frac{1}{\kappa_{\mu 2B}} \frac{1}{f_{1B}^2 + \rho_{1B}} \left( f_{1B} f_{2B} h_{2Bc} - f_{2B} \rho_{1B} u_{2Bc} + \rho_{2B} f_{1B} u_{2Bc} + \rho_{2B} \rho_{1B} h_{2Bc} \right) \right];$$

$$u_{2Bc} = \text{ch}(f_{2B} \check{t}_{2B}) \cos(\rho_{2B} \check{t}_{2B}); \quad h_{2Bc} = \text{sh}(f_{2B} \check{t}_{2B}) \sin(\rho_{2B} \check{t}_{2B});$$

$$u_{2Bs} = \text{sh}(f_{2B} \check{t}_{2B}) \cos(\rho_{2B} \check{t}_{2B}); \quad h_{2Bs} = -\text{ch}(f_{2B} \check{t}_{2B}) \sin(\rho_{2B} \check{t}_{2B});$$



$$f_{1B} = \sqrt{\frac{\sqrt{\tilde{x}^{*4} + \beta_{1B}^4 \mu_{1B}^2} + \tilde{x}^{*2}}{2}}; \quad \rho_{1B} = \sqrt{\frac{\sqrt{\tilde{x}^{*4} + \beta_{1B}^4 \mu_{1B}^2} - \tilde{x}^{*2}}{2}}; \quad (7)$$

$$f_{2B} = \sqrt{\frac{\sqrt{\tilde{x}^{*4} + \beta_{1B}^4 \kappa_{\gamma 2B}^2 \kappa_{\mu 2B}^2 \mu_{1B}^2} + \tilde{x}^{*2}}{2}}; \quad \rho_{2B} = \sqrt{\frac{\sqrt{\tilde{x}^{*4} + \beta_{1B}^4 \kappa_{\gamma 2B}^2 \kappa_{\mu 2B}^2 \mu_{1B}^2} - \tilde{x}^{*2}}{2}}. \quad (8)$$

$$K_H = \frac{u_{2Hch} u'_{2HZN} + h_{2Hch} h'_{2HZN}}{(u'_{2HZN})^2 + (h'_{2HZN})^2}; \quad V_H = \frac{-h'_{2HZN} u_{2Hch} + h_{2Hch} u'_{2HZN}}{(u'_{2HZN})^2 + (h'_{2HZN})^2};$$

$$u'_{2HZN} = f_{2H} u_{2HZN} - \rho_{2H} h_{2HZN}; \quad h'_{2HZN} = f_{2H} h_{2HZN} + \rho_{2H} u_{2HZN};$$

$$u_{2HZN} = \left[ u_{2HC} + \frac{\mu_{1H}}{\mu_{2H}} \frac{1}{f_{1H}^2 + \rho_{1H}^2} (f_{1H} f_{2H} u_{2HS} + f_{2H} \rho_{1H} h_{2HS} + \rho_{2H} f_{1H} h_{2HS} + \rho_{2H} \rho_{1H} u_{2HS}) \right];$$

$$h_{2HZN} = \left[ h_{2HC} + \frac{\mu_{1H}}{\mu_{2H}} \frac{1}{f_{1H}^2 + \rho_{1H}^2} (f_{1H} f_{2H} h_{2HS} - f_{2H} \rho_{1H} u_{2HS} + \rho_{2H} f_{1H} u_{2HS} + \rho_{2H} \rho_{1H} h_{2HS}) \right];$$

$$u_{2Hch} = \left[ u_{2HS} + \frac{\mu_{1H}}{\mu_{2H}} \frac{1}{f_{1H}^2 + \rho_{1H}^2} (f_{1H} f_{2H} u_{2HC} + f_{2H} \rho_{1H} h_{2HC} + \rho_{2H} f_{1H} h_{2HC} + \rho_{2H} \rho_{1H} u_{2HC}) \right];$$

$$h_{2Hch} = \left[ h_{2BH} + \frac{\mu_{1H}}{\mu_{2H}} \frac{1}{f_{1H}^2 + \rho_{1H}^2} (f_{1H} f_{2H} h_{2HC} - f_{2H} \rho_{1H} u_{2HC} + \rho_{2H} f_{1H} u_{2HC} + \rho_{2H} \rho_{1H} h_{2HC}) \right];$$

$$u_{2HC} = \text{ch}(f_{2H} \tilde{t}_{2H}) \cos(\rho_{2H} \tilde{t}_{2H}); \quad h_{2HC} = \text{sh}(f_{2H} \tilde{t}_{2H}) \sin(\rho_{2H} \tilde{t}_{2H});$$

$$u_{2HS} = \text{sh}(f_{2H} \tilde{t}_{2H}) \cos(\rho_{2H} \tilde{t}_{2H}); \quad h_{2HS} = -\text{ch}(f_{2H} \tilde{t}_{2H}) \sin(\rho_{2H} \tilde{t}_{2H});$$

$$f_{1H} = \sqrt{\frac{\sqrt{\tilde{x}^{*4} + \beta_{1B}^4 \kappa_{\mu 1H}^2 \kappa_{\gamma 1H}^2 \mu_{1B}^2} + \tilde{x}^{*2}}{2}}; \quad \rho_{1H} = \sqrt{\frac{\sqrt{\tilde{x}^{*4} + \beta_{1B}^4 \kappa_{\mu 1H}^2 \kappa_{\gamma 1H}^2 \mu_{1B}^2} - \tilde{x}^{*2}}{2}}; \quad (9)$$

$$f_{2H} = \sqrt{\frac{\sqrt{\tilde{x}^{*4} + \beta_{1B}^4 \kappa_{\mu 2H}^2 \kappa_{\gamma 2H}^2 \mu_{1B}^2} + \tilde{x}^{*2}}{2}}; \quad \rho_{1B} = \sqrt{\frac{\sqrt{\tilde{x}^{*4} + \beta_{1B}^4 \kappa_{\mu 2H}^2 \kappa_{\gamma 2H}^2 \mu_{1B}^2} - \tilde{x}^{*2}}{2}}; \quad (10)$$

$\dot{E}_{034}$  также определяем посредством нормированных координат

$$\dot{E}_{034} = -j\omega \frac{w_1 w_2 \dot{I} \mu_0}{S_1^* S_2^* 2\pi S_1^* S_2^*} \iint \iint \ln \frac{(\dot{x}_{b3} - \dot{x}_{b2})^2 + (\dot{y}_{b3} - \dot{y}_{b2})^2}{(\dot{x}_{b3} - \dot{x}_{b1})^2 + (\dot{y}_{b3} - \dot{y}_{b1})^2} d\xi^* d\chi^* d\sigma^* d\psi^*.$$

Наконец, рассчитываем относительную вносимую ЭДС или относительное вносимое напряжение ВТП [5, 7]:

$$\dot{E}_{\text{ВТК}^*} = \frac{\dot{E}_{\text{ВТК}}}{|\dot{E}_{0k}|} = \frac{\text{Re} \dot{E}_{\text{ВТК}}}{|\dot{E}_{0k}|} + j \frac{\text{Im} \dot{E}_{\text{ВТК}}}{|\dot{E}_{0k}|}; \quad \dot{U}_{\text{ВТК}^*} = -\dot{E}_{\text{ВТК}^*}.$$

2. Другой пример. Погружной ВТП расположен между проводящими средами, каждая из которых является проводящим полупространством с проводящим покрытием, но какое-либо полупространство, слой или все они являются немагнитными. В совокупности задаваемых параметров (2) полагают величину немагнитного проводящего слоя  $\mu = 1$ .

3. Следующий пример. Погружной ВТП расположен между проводящими полупространствами. В этом случае в (2) полагают равными:

$$\kappa_{\mu 1H} = \frac{\mu_{1H}}{\mu_{1B}} = \kappa_{\gamma 2H} = \frac{\mu_{2H}}{\mu_{1B}}, \quad \kappa_{\gamma 1H} = \frac{\gamma_{1H}}{\gamma_{1B}} = \kappa_{\gamma 2H} = \frac{\gamma_{2H}}{\gamma_{1B}}, \quad \kappa_{\gamma 2B} = 1, \quad \kappa_{\mu 2B} = 1.$$

4. Наконец, пусть погружной ВТП расположен между проводящими пластинами. В данном случае полагают изменения в (7)–(10):

$$f_{1\sigma} = \dot{x}^*, \quad \rho_{1\sigma} = 0, \quad f_{1H} = \dot{x}^*, \quad \rho_{1H} = 0,$$

задаваемыми параметрами, помимо линейных размеров, будут:

$$\beta_{2B}, \mu_{2B}, \kappa_{\mu 2H} = \frac{\mu_{2H}}{\mu_{2B}}, \quad \kappa_{\gamma 2H} = \frac{\gamma_{2H}}{\gamma_{2B}},$$

в этом случае

$$f_{2B} = \sqrt{\frac{\dot{x}^{*4} + \beta_{2B}^4 \mu_{2B}^2 + \dot{x}^{*2}}{2}}, \quad \rho_{2B} = \sqrt{\frac{\dot{x}^{*4} + \beta_{2B}^4 \mu_{2B}^2 - \dot{x}^{*2}}{2}}$$

$$f_{2H} = \sqrt{\frac{\dot{x}^{*4} + \beta_{2\sigma}^4 \kappa_{\mu 2H}^2 \kappa_{\gamma 2H}^2 \mu_{2\sigma}^2 + \dot{x}^{*2}}{2}}, \quad \rho_{2H} = \sqrt{\frac{\dot{x}^{*4} + \beta_{2\sigma}^4 \kappa_{\mu 2H}^2 \kappa_{\gamma 2H}^2 \mu_{2\sigma}^2 - \dot{x}^{*2}}{2}}$$

Таким образом, в данной работе, на основе решения указанных задач, создана методика представления влияющих параметров ВТК в нормированном виде. Она позволяет проводить анализ ММ ВТП с представлением обобщенных результатов, что является необходимым условием эффективности математического обеспечения САПР для получения проектных рекомендаций по разработке методов и средств ВТК плоских проводящих изделий.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Степанов А. Л. Ориентированная для САПР универсальная ММ ВТК плоских проводящих сред. Часть 1. Постановка вспомогательной задачи // Труды СКГМИ (ГТУ). Владикавказ. 2014. С 103–111.
2. Степанов А. Л., Дедегкаев А. Г. Ориентированная для САПР универсальная ММ ВТК плоских проводящих сред. Часть 2. Решение задач для построения ММ // Труды СКГМИ (ГТУ). Владикавказ. 2014. С 112–122.
3. Дедегкаев А. Г., Степанов А. Л. Ориентированная для САПР универсальная ММ вихретокового преобразователя. Часть 1. Результирующее поле обмотки возбуждения // ВЕСТНИК Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. №1 (Т. 36), 2015. С. 70–78.
4. Степанов А. Л., Воронин П. А. Математическая модель линейно-протяженного вихретокового преобразователя для контроля плоских многослойных проводящих сред: Деп. в ВИНТИ 06.08.97. № 2619 - В97.
5. Герасимов В. Г., Ключев В. В., Шатерников В. Е. Методы и приборы электромагнитного контроля. М.: Издательский дом «Спектр», 2010. 256 с.
6. Соболев В. С. К теории метода накладной катушки при контроле вихревыми токами // Известия сибирского отделения АН СССР. Серия "Технические науки". 1963, № 2. Вып. 1. С. 78–88.
7. Дорофеев А. А., Никитин А. И., Рубин А. Л. Индукционная толщинометрия. М.: Энергия, 1978. 184 с.

*Stepanov A. L., Dorosh N. V., Soin A. M.*

### **NORMALIZATION PARAMETERS MACHINE ANALYSIS OF MATHEMATICAL MODELS OF EDDY CURRENT PROBE**

*The work is dedicated to creating software CAD methods and means of non-destructive Eddy current testing flat conductive media. Specifically to arrangement and methodology of training data for machine analysis of mathematical model of transformer Eddy current probe, as well as presenting the results for analysis. Discusses selecting and justifying the linear the normalizing parameter issues represent expressions for output characteristics of this eddy current probe are scaled to be as similar in form, including payment for regular expression integration, taking into account several complexity models conductive medium.*

**Key words:** *mathematical model, Eddy-current probe, drive winding of eddy current probe, measuring winding of eddy current probe, initial electromotive force of eddy current probe, added electromotive force of eddy current probe, initial voltage, added voltage of eddy current probe.*

УДК 504.55.054:622(470.6)

*Д-р техн. наук, профессор ГОЛИК В. И.,  
канд. техн. наук, доцент ТЕЗИЕВ Т. М.*

### **ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ И СОЦИАЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ ИСТОРИИ САДОНА**

*Приведена справка об истории Садонского свинцово-цинкового комбината и его работниках, в том числе о периоде, когда хозяевами месторождений были бельгийцы. Даны сведения о состоянии технологии дореволюционного времени. Приведен анализ динамики изменения социальных условий горняков. Показана ведущая роль комбината в добыче свинца и цинка СССР в довоенные годы. Описаны направления модернизации производства. Упомянута пионерная роль ССЦК в строительстве подземного рудника для добычи балансовых руд с производством металлического концентрата. Высказано мнение, что возрождение горной отрасли невозможно без вовлечения в разработку некондиционных запасов руд с использованием новых технологий с выщелачиванием металлов.*

Садонский свинцово-цинковый комбинат – старейшее промышленное предприятие на Северном Кавказе. На территории современной Осетии металлы добывали с медного века, достигнув значительных успехов в позднебронзовом веке (X–VIII в. до н. э.), в период сарматской культуры и еще интенсивнее – после переселения потомков алан в горы в XIII в. [1].

Обладание ценными стратегическими металлами способствовало вхождению Осетии в Российскую империю. В 1768 г. Российская экспедиция дала описание найденным в Осетии серебряным признакам, а в 1843 г. предприниматель Чекалов приступил к разработке месторождения кустарным способом. В 1850 г. Садонский рудник перешел в казенное управление.

История его промышленного освоения начинается с 1853 г. с начала эксплуатации Садонского рудника и Алагирского серебросвинцового завода.

Положение рабочих Садона и Алагирского завода было тяжелым. Казенные рабочие получали от 3 до 5 рублей в месяц, провианта по 2 пуда на рабочего и его жену и 1 пуд на ребенка. Их труд не был нормирован. После основной работы их выводили на заготовку леса, выжигание угля для плавильных печей, военные занятия и другие работы [2].

В 1859 г. была найдена Ходская жила, которая оказалась продолжением главной Садонской рудной жилы. К 1859–1861 гг. рядом с Александровской штольней была построена вторая шахта, пройдены 8 штолен в Ходском районе. По основной артерии рудника – Александровской штольне – производилась конная откатка руды.

С 1859 г. к горно-промышленным разработкам стали привлекать местное население, вначале лишь к вспомогательным работам – перевозке руды, вы-

жигу угля и т. п. Среди 482 рабочих Алагирского серебряноцинкового завода и Садонского рудника было уже 30 рабочих-осетин. В дальнейшем число осетин увеличивалось, несмотря на ухудшение условий и оплаты работ. Продолжительность рабочего дня была 12–14 часов. За тяжелый труд в день получали не более 60–70 коп.

С 1892 г. основным активом Садонского рудника стала цинковая обманка, а горные работы активизировались.

В 1895 г. Алагирский завод и Садонский рудник были отданы правительством в аренду сроком на 60 лет, а в 1896 г. оказались в распоряжении смешанного русско-бельгийского горно-промышленного и химического общества «Алагир». С 1897 по 1901 гг. на территории Северной Осетии царил рудоискательская «горячка».

В 1898 г. для эксплуатации рудных месторождений в пределах Северного Кавказа было создано «Терское горно-промышленное общество». В мае 1899 г. общество приступило к систематическим рудничным работам, а осенью начало строительство Фаснальской обогатительной фабрики для переработки руд наиболее богатого Стур-Издинского месторождения.

В 1897 г. в Садон прибыла группа бельгийских специалистов во главе с директором рудника Дезире Харига. Харига уже через год довел число штолен до 10. Освоив правый берег р. Ходки, он активизировал разведку месторождения на центральном участке.

Была построена церковь, водопровод и гидроэлектростанция. В шести километрах от рудника построена обогатительная фабрика по схеме мокрой отсадки. В селении Ход была построена школа.

Начиная с 1907 г., отрабатывали рудные тела мощностью от 10 до 17 м с повышенным содержанием металлов. В 1912 г. предприятия общества «Алагир» произвели рекордное для дореволюционного времени количество продукции. Садонский рудник, Мизурская фабрика превратились в крупные предприятия цветной металлургии России, а Владикавказский завод по номенклатуре продукции стал единственным в стране.

Положение рабочих на Садонских рудниках было хуже, чем на других рудниках и промыслах. Они не были защищены законами о рабочем времени, охране труда, порядке найма и увольнения. Рабочий день длился 10–12 часов. Шахтеры получали за месяц 25–30 рублей в то время, когда «...обед, состоящий из одного борща, обходился от 10 до 12 рублей в месяц».

До конца XIX века семейные жили в землянках и каменных домиках, а одинокие в бараках без удобств.

Бельгийцы вели себя в Осетии как в колонии. К. Хетагуров писал: «Акционеры захватили Алагирское ущелье вплоть до Мамисонского перевала, расхищая его богатства, варварски уничтожая его леса. Когда-то вековые сосновые леса, краса Алагирского ущелья, вырублены дотла».

В 60–90 г. XIX века в Северной Осетии формируется состоящий из осетин и русских рабочий класс, развивающий интернациональные традиции.

В 1881 году бурильщики Садона, недовольные тяжелыми условиями труда и отсутствием техники безопасности, отказались идти на работу. Более многочисленной была забастовка шахтеров 1891 года, закончившаяся спровоцированным администрацией столкновением между шахтерами.

Особого размаха борьба достигла в конце XIX– начале XX вв. Важным событием была массовая забастовка 1897 года, поводом для которой послужило увеличение рабочего дня.

В мае 1917 г. представители рабочих депутатов предъявили администрации требования, включающие: 8-часовой рабочий день, обеспечение топливом рабочих, установление минимального заработка, оборудование бани в Садоне и Мизуре, постоянный персонал в садонской больнице и мизурском приемном покое, открытие конторских лавок, школы при мизурской фабрике, охрану труда малолетних.

В дни революции 1905 г. в Мизуре и Садоне были сожжены контора, дом директора рудника, магазины и склады. Бельгийцы-капиталисты укрылись в горах.

Поражение революции сопровождалось репрессиями и наступлением на жизненные права рабочих. Бельгийцы заставили рабочих почти без оплаты восстановить рудник.

В 1918 г. бельгийцы заложили оставшийся цинк и свинец во Владикавказское отделение Тифлисского банка, забрали наличность больничной кассы и попытались сжечь Владикавказский завод.

В конце 1920 г. СНК РСФСР принял решение о строительстве железнодорожной ветки к Садонским свинцово-цинковым рудникам. К Алагиру по железной дороге стало возможным везти материалы, оборудование, людей, что увеличило возможности Садонских рудников.

В начале 1922 г. было организовано объединение «Кавцинк» в составе Садонского и Ходского рудников, Мизурской обогатительной фабрики, геолого-разведочной службы и Владикавказского свинцово-цинкового комбината. В 1923–1925 гг. на его долю приходилось 36 % добычи свинца в стране и почти всего цинка [3].

Технология добычи руд со временем развивалась, используя технические достижения своего времени.

Месторождения разрабатывали чаще всего с магазинированием руд и оставлением целиков без заполнения выработанного пространства закладкой. Технологии отличались большим объемом подготовительных работ, потерями и разубоживанием руд и нарушением устойчивости горного массива.

До 1950 г. на рудниках применяли систему разработки горизонтальными слоями с закладкой выработанного пространства металлосодержащей горной массой: с деревянным матом или с магазинированием руды в уступах.

С 1942 по 1958 годы значительная часть добычи обеспечивалась выпуском потерянных ранее богатых руд.

В 1954 г. освоен одностадийный порядок работ с магазинированием руды без целиков, различающихся подготовкой днищ блоков:

- с заездами для погрузки руды;
- с устройством горизонта скреперования.

С 1972 г. преобладают варианты магазинирования с оставлением целиков и отбойкой из буровых выработок (табл.1).

От системы разработки с магазинированием и отбойкой из очистного забоя и горизонтальных слоев с закладкой выработанного пространства породой перешли к менее опасным системам с отбойкой руды из восстающих. Освоены системы с магазинированием и отбойкой руды ярусно расположенными скважинами и системой подэтажных штреков с подсечкой блока.

## Показатели разработки маломощных крутопадающих рудных тел

Крепость		Размеры блока, м		Система разработки
руд	пород	высота	длина	
12	12	50	54	с магазинированием руды и горизонтом скрепления
13	14	60	45	с магазинированием руды подэтажным обрушением
13	13	50	32	с магазинированием руды подэтажным обрушением и скреперной доставкой
14	14	30	48	с магазинированием руды и прямым выпуском через люки в целике
14	14	52	60	с магазинированием руды и выпуском через горизонт скрепления без целиков
14	14	45	29	с подэтажным обрушением и выемкой целиков
15	16	50	50	с отбойкой руд из подэтажных выработок и люковым выпуском

В малоустойчивых породах применялась система горизонтальных и наклонных слоев с закладкой породой от проходки выработок.

В слабоустойчивых массивах система разработки с закладкой уступила место системе подэтажного обрушения.

В 1923 г. союз горняков, объединявший рабочих горной отрасли, и редакция газеты «Горская правда» приняли шефство над бытом шахтеров. Связь рабочих Садона и Мизура с горцами укрепилась путем строительства клуба, избы-читальни и школы.

В 1925 г. в Садоне построили общежитие, в 1927 г. в с. Галон – два общежития, баню и прачечную, в 1928 г. – два корпуса для семейных рабочих и один – для технического персонала, а также новый клуб и больницу в с. Нузал.

В 1938 г. началось строительство 53-квартирного жилого дома в п. Садон, общежития и детского сада в п. Мизур.

Внимание к Садонскому рудоуправлению определялось стратегическими причинами. В 1949 г. Совет Министров СССР принял решение об увеличении мощности Згидского рудника вдвое в 1949 году и вчетверо в 1950 году.

Реализация планов потребовала модернизации производства.

На рудниках освоены скоростные методы проходки горных выработок, улучшены схемы вентиляции и оборудование для их реализации, оборудованы грузоподъемные установки по стволам. Так, использование специального агрегата в шесть раз повысило скорость проходки вертикальных выработок. Крепление откаточных выработок и доставочных штреков подвесной крепью резко сократило расход дефицитных лесоматериалов.

В 1946 г. вступил в строй Згидский, в 1955 г. Буронский, в 1953 г. Холстинский, в 1955 г. Архонский и в 1969 г. Фиагдонский рудники.

Модернизация производства сопровождалась ростом годовой производительности горного передела: 1945 г. – 155 тыс. т, 1946 – 315 тыс. т, 1953 г. – 380 тыс. т, 1955 г. – 520 тыс. т, 1969 г. – 655 тыс. т.

В эти же годы продолжалась реконструкция рудников и обогатительных фабрик. Производительность обогатительных фабрик была доведена до 745 тыс. т в год, в т. ч. Мизурской обогатительной фабрики – до 545 тыс. т в год.

Максимальная производительность горного передела (650 тыс. т в год) сохранялась с начала 70-х до начала 80-х годов. Начиная с 1985 г., объем добычи и переработки собственных руд уменьшился, особенно заметно в 1990 г. (362,2 тыс. т). В 2002 г. было добыто всего 24,0 тыс. т руды.

Уже с начала 70-х г. комбинат занимался переработкой преимущественно привозных руд.

Так, на Садонском руднике с 1967 по 1990 годы из добытых 3363 тыс. тонн руд коренных было 29 % и металлоносной закладки 70 %.

Совершенствование производства нуждалось в кадровом обеспечении. В 1930 г. на рудниках начал работать рабочий университет, который выпустил сотни техников по горным специальностям.

Для подготовки квалифицированных кадров в том же году в Садоне и Нузале были открыты школы фабрично-заводского обучения, в которые была направлена молодежь в количестве 850 человек.

В начале тридцатых годов прошлого века горно-добывающие предприятия России остро нуждались в горных инженерах для подземной разработки рудных месторождений. Особенно интенсивно для регионов Северного Кавказа готовил кадры Северо-Кавказский горно-металлургический институт.

В Приказе № 580 ВСНХ СССР от 26 августа 1931 г. говорилось:

«Для удовлетворения потребности цветной металлургии в инженерных кадрах организовать на базе Отделения цветных металлов Северо-Кавказского металлургического института специальный институт цветных металлов с местонахождением его в г. Владикавказе и с подчинением его непосредственно Сектору кадров ВСНХ СССР».

В 1932 г. в СКГМИ был организован горно-рудный факультет со специальностями: «Эксплуатация месторождений» и «Обогащение рудных цветных металлов».

После войны проблема кадров еще более обострилась. В 1945 г. в Садонском рудоуправлении было 34 специалиста с высшим образованием (при штатном количестве 93) и 32 специалиста со средним образованием (при штатном количестве 137).

За период с 1941 по 1950 г. было осуществлено 9 выпусков горных инженеров в количестве 171 человека. Многие из них связали дальнейшую жизнь с ССЦК, например, Алборов Зарат Борисович – главный инженер института «Кавказгипроцветмет»; Емекеев Вячеслав Иванович – доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой СКГМИ; Беляев Вадим Георгиевич – профессор, проректор СКГМИ; Чельдиев Александр Хаджумарович – второй секретарь Северо-Осетинского обкома партии.

При использовании технологий с открытым выработанным пространством здесь всегда уделяли внимание улучшению качества добываемых руд и полноте использования недр [5].

В 40-х годах для уменьшения разубоживания руд при выпуске одними из первых в мировой практике применяли гибкие разделяющие дерево-канатные перекрытия конструкции проф. Остроушко И. А. В 80-х годах использовали



технологии с закладкой технологических пустот бетономной смесью, отличающаяся минимизацией потерь обогащенной рудной мелочи.

Вклад Садонского СЦК в мировую практику добычи металлов состоит в строительстве первого подземного рудника для добычи балансовых руд, который выдал продукцию – цинковый гель. Это достижение было обосновано работами Остроушко И. А. [6].

Идея подземного выщелачивания полиметаллов была дискредитирована тем, что на заводе «Электроцинк» не освоили технологию извлечения металлов из продукта выщелачивания – гелиевого концентрата.

Можно предполагать, что развитие этой технологии в свое время обеспечило бы комбинату и Северной Осетии экономическую безопасность в условиях изменения экономической основы хозяйствования.

Планы восстановления утраченного потенциала ССЦК связаны с увеличением его производственной мощности до 200 тыс. тонн руды в год путем добычи на флангах и глубоких горизонтах месторождений и вовлечения в эксплуатацию перспективного участка Бозанг Джимидонского месторождения.

Можно прогнозировать, что отработка этих запасов будет нерентабельна, а выборочная выемка еще более обеднит запасы в недрах.

По нашему мнению, единственной возможностью увеличить экономический потенциал региона является конверсия горного и перерабатывающего производств с вовлечением в разработку некондиционных запасов руд при комбинировании традиционных и инновационных способов добычи руд [7].

На Садонских месторождениях запасы пригодных для традиционной технологии добычи руд истощились и возникла необходимость использования другого сырья, которым являются бедные руды и отходы добычи и переработки прежних лет.

На экономике региона и социальном аспекте отрицательно сказалось изменение статуса: из дотируемого лидера стратегического сырья регион превратился в недотируемого производителя второстепенной для него продукции сельского хозяйства.

Диверсификация горной отрасли РСО-Алания обеспечивает создание новой продукции (табл. 2).

Минерально-сырьевая база диверсификации характеризуется данными:

1. Подземное выщелачивание некондиционных руд. Запасы некондиционных для традиционных технологий полиметаллических руд превышают 200 млн т с содержанием от 0,5 до 1,0 %, что достаточно для работы двух комплексов производительностью 4 млн т по горной массе в течение 50 лет.

2. Гидрометаллургическая переработка металлических руд ОАО «Электроцинк» обеспечивается продукцией Садонского СЦК в виде гелиевых концентратов.

3. Механохимическая переработка хвостов в ОАО «Электроцинк» развивается на базе хвостохранилища объемом более 3 000 000 т хвостов металлургии с содержанием свинца 0,6 %, цинка 0,9 %, меди 1,1 % и др. металлы, что обеспечивает сырье для переработки в течение десятков лет.

4. Механохимическая переработка хвостов обогащения развивается на базе Унальского хвостохранилища, в котором находится 2 600 000 т хвостов с содержанием свинца 0,21 %, цинка 0,32 %, меди 0,10 % и др. металлы, и Фиагдонского хвостохранилища, в котором находится 2 400 000 т хвостов

обогащения с содержанием свинца 0,19 %, цинка 0,39 %, меди 0,12 % и др. металлы, что обеспечивает сырье для переработки в течение десятков лет.

5. Электрохимическая очистка с электродиализным обессоливанием рудничных стоков обеспечивается дебитом стоков объемом 3 млн м<sup>3</sup>/г с концентрацией металлов в среднем: цинка 50 мг/дм<sup>3</sup> и свинца 10 мг/дм<sup>3</sup>.

Таблица 2

### Продукты диверсификации горной отрасли

Направление	Инновационная технология	Новый продукт
1. Добыча металлов горным способом, Садонский СЦК	Подземное выщелачивание техногенных запасов	Гелевый концентрат металлов и солей, строительное сырье, обессоленная вода, хлор, водород, кислород, кислоты и щелочи
2. Переработка металлических руд, ОАО «Электроцинк»	Гидрометаллургические процессы вместо пирометаллургических	Металлы и соли, строительное сырье, обессоленная вода, хлор, водород, кислород, кислоты и щелочи
3. Переработка хвостов металлургии, ОАО «Электроцинк»	Комбинированная механохимическая активация выщелачивания	Металлы и соли, строительное сырье, обессоленная вода, хлор, водород, кислород, кислоты и щелочи
4. Переработка хвостов обогащения, Садонский СЦК	Комбинированная механохимическая активация	Гелевые концентраты, флюс, песок, иловая фракция, вяжущие и др.
5. Переработка рудничных стоков, Садонский СЦК	Электрохимическая очистка с электродиализным обессоливанием	Гелевый концентрат металлов и солей, строительное сырье, обессоленная вода, хлор, водород, кислород, кислоты и щелочи
6. Добыча доломитового сырья, ОАО «Кавдоломит»	Механическая активация в дезинтеграторах	Сверхтонкие компоненты для изготовления наполнителей
7. Добыча песчано-гравийных материалов, карьеры	Отмывка аллювиальных отложений с повышением активности процессов	Золото и самородные металлы, строительное сырье, иловая фракция

6. Активация в дезинтеграторах доломитов ОАО «Кавдоломит» обеспечивается запасами одного из крупнейших доломитовых месторождений в мире – Боснийского, мощностью 400 м, простиранием 4 км с падением, что составляет около 240 млн тонн, и достаточно для работы карьера с производственной мощностью 700 тыс. т/г. в течение более 350 лет.

7. Отмывка песчано-гравийных аллювиальных отложений р. Терек с содержанием россыпного золота 63 мг/м<sup>3</sup> и песчаной фракции с содержанием 140 мг/м<sup>3</sup> обеспечивает практически неорганическую базу производства.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Садонский свинцово-цинковый комбинат / Под ред. Блиева М. М. Орджоникидзе. Ир. 1979. 292 с.
2. Каргинова С. Н. Сотни солнц. Дела и люди Садонского свинцово-цинкового комбината. Владикавказ: Иристон. 2003.
3. Воробьев А. Е., Голик В. И., Лобанов Д. П. Приоритетные пути развития горно-добывающего и перерабатывающего комплекса Северо-Кавказского региона. Владикавказ: Изд. Рухс. 1998. 364 с.
4. Козырев Е. Н. Эффективное освоение рудных месторождений Северного Кавказа в условиях завершения эксплуатации / Е. Н. Козырев, А. Е. Воробьев. Владикавказ: Ремарко, 2001. 286 с.
5. Голик В. И. Разработка месторождений полезных ископаемых. М.: Инфра-М. 2014. 190 с.
6. Голик В. И. Специальные способы разработки месторождений. М.: Инфра-М. 2014. 132 с.
7. Сатцаев А. М. К вопросу о готовности садонских месторождений полиметаллических руд к технологической конверсии / А. М. Сатцаев, И. К. Кабисова, В. И. Голик // Сборник трудов молодых ученых. Владикавказ: Терек, 2002. С. 116–121.

*Golik V. I., Teziev T. M.*

### TECHNOLOGICAL AND SOCIAL ASPECTS OF HISTORY SADON

*Refer note on the history Sadonskogo lead-zinc plant and its workers, including a period when the hosts deposits were Belgians. Provides information on the state of technology, pre-revolutionary times. The analysis of the dynamo changes in social conditions of miners. The leading role of the plant in the production of lead and zinc in the Soviet Union before the war. Describes the direction of modernization of production. Mentioned pioneering role in SSTS construction of an underground mine to balance production with the production of metallic ore concentrate. Suggested that the revival of the mining industry is not possible without the involvement of the development of substandard ore reserves using new technologies to the leaching of metals*

### LITERATURE

1. Sadonsky lead-zinc plant. Edited Blieva M. M. Ir. Ordzhonikidze. 1979. 292 p.
2. Sotni suns. Cases and people Sadonskogo lead – zinc plant. Karginova S. N. Vladikavkaz: Iriston.2003.
3. Vorobev A. E., V. I. Golik, Lobanov D. P. Priority the development of mining and processing complex in the North Caucasus region, ed. "Ruhs", Vladikavkaz, 1998 364 p.
4. Kozыrev E. N. Effective development of ore deposits of the North Caucasus under complete manual / E.N. Kozыrev, A.E. Sparrows. Vladikavkaz: Remarque. 2001. 286 p.

5. Golik V. I. Development of mineral deposits. Infra–M, M.: 2014. 190 p.
6. Golik V. I. Special methods of field development. Infra–M, with M., 2014. 132 p.
7. Sattsaev A. M. On the readiness Sadonskoe polymetallic ore deposits to the process of conversion / A. M. Sattsaev, I. K. Kabisova, V. I. Golik // Proceedings of the young scientists. Vladikavkaz: Terek. 2002. P. 116–121.



УДК 550.34–551.24

*Канд. геолог.-минералог. наук КОЛЕСНИКОВА А. М.*

### **ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ДАННЫЕ ПО ВОПРОСАМ ГЕОТЕКТОНИКИ И СЕЙСМИЧНОСТИ ШАУХОХ-ДАРЬЯЛЬСКОГО ПОДНЯТИЯ**

*Рассматриваются причины высокой сейсмической активности Шаухох-Дарьяльского поднятия (горста), в связи со сложным геолого-тектоническим строением, активизацией процессов неотектоники, усилением эндогенной активности (прогрева) в Казбекско-Джисмарайском массиве. Сложная геолого-динамическая обстановка в совокупности создает высокую сейсмическую опасность в районе Казбекского вулканического центра, что обуславливает серию катастрофических обвалов ледников Казбекской группы – ледников Колка, Майли, Девдоракского, Медагробинского и других.*

*В районе Шаухох-Дарьяльского поднятия и в соседствующих районах необходимо проводить постоянный долгосрочный мониторинг геолого-динамических, геодезических и сейсмических процессов с использованием новейших геофизических методов и применением методов сверхточной геодезии – GPS через систему спутников .*

**Ключевые слова:** *горст, неотектонические процессы, кливаж, зона экзоконтакта, сейсмологические наблюдения, эндогенный прогрев, фумарольные эманации, мониторинг.*

Рассматриваемый регион находится в зоне Центрального поднятия Главного Кавказского хребта; расположен в осевой части мегаантиклинория Большого Кавказа, в зоне Главного надвига, ширина которой колеблется в пределах 9–18 км.

С севера зона Главного надвига ограничена от зоны продольных депрессий серией крупных разломов (надвигов) широтного простирания, кулисообразно заходящих друг за друга; с юга зона Главного надвига ограничена Адайком-Казбекским разломом; в южной части зоны выделяется реликтовый рубец – зона спрединга Закавказской и Скифской плит.

В рассматриваемом регионе развиты преимущественно гранитоиды и вмещающие их глубоко-метаморфизованные вулканогенно-осадочные породы, в совокупности образующие нижний (герцинский) структурно-тектони-

ческий этаж зоны Центрального поднятия Кавказа; стратиграфически выше выделяются киммерийский и альпийский структурные этажи.

Шаухох-Дарьяльское поднятие представляет северные отроги Казбекского ледниково-вулканогенного центра; являясь отрогами Бокового хребта, захватывает верховья долины р. Геналдон и Дарьяльское ущелье.

Замыкающие склоны верховьев р. Геналдон – крутые, резко расчлененные, покрытые ледниками, в том числе и висячими; наиболее высокими вершинами являются – Джимарайхох (Шаухох) – 4780 м, Майлихох – 4597 м, Чачхох – 4098 м. Здесь развиты кристаллические сланцы, гравелиты, кварциты, измененные вулканогенные породы, прорванные гранодиоритами Теплинского типа (N<sub>2</sub>), в совокупности эти породы слагают ядро Шаухох-Дарьяльского поднятия.

Восточная часть поднятия – Дарьяльский горст, пространственно совпадающий с Дарьяльским ущельем, сложен гранитоидами касарского типа, кристаллическими сланцами Главного хребта, юрскими глинистыми сланцами.

Л. А. Варданянцем [2] было впервые выявлено, что Шаухох-Дарьяльское поднятие, включающее Дарьяльское ущелье (Дарьяльский горст), верховья рек Геналдон и Гизельдон, состоит из двух крупных веерообразно расходящихся антиклиналей, имеющих близширотное простирание, разделенных пологой синклиналью. Северная антиклиналь опрокинута на север, южная – почти вертикально «стоячая» Антиклинали ограничены двумя крупными разломами (сбросами). Южный разлом, круто падающий к северу, протягивается в направлении на запад между Девдораксим и Чачским ледниками и далее ясно прослеживается в бассейнах рек Фиагдон и Ардон.

С севера антиклинали срезаются крутопадающим, почти вертикальным, разломом широтного простирания.

Между этими крупными разломами, сходящимися на глубине, образуется Дарьяльский горст.

Северный из этих разломов, входящий в зону Главного надвига в бассейне р. Терек, называется Верхне-Ларским.

Продолжением этого разлома на западе в верховьях р. Геналдон, является Верхне-Кармадонсий разлом, к которому приурочены термальные минеральные источники, температура которых колеблется от 30 до 54 °С.

Кроме крупных разломов широтного простирания, при проведении геологической съемки (В. А. Мельников), по р. Геналдон был выявлен субмеридиональный разлом [8].

Аэрофотосъемкой в Джимарай-Казбекском массиве также выявлены разломы меридионального и северо-восточного простирания. Особо четко среди них выделяется активный тектонический разлом в районе г. Джимарайхох северо-восточного простирания, по которому непрерывно происходят обрушения блоков и глыб коренных пород, и части перекрывающих их висячих ледников.

Аэро- и космическими снимками в верховьях р. Геналдон выявлены кольцевые структуры, которые рассматриваются как «очаги активного развития опасных геодинамических процессов» [1].

Л. А. Варданянцем были проведены детальные геолого-тектонические исследования района Шаухох-Дарьяльского поднятия, им сделаны выводы и приводятся доказательства, что сложная геолого-тектоническая обстановка

района активизирует проявление неотектонических процессов, сейсмическую активность и, как следствие, обвалы и сход ледников. Он отмечает, что с разрядкой напряжений, обуславливающей часто происходящие в районе горста землетрясения, активизируется сейсмичность; этому предшествует изменение режима термальных источников – вода в них мутнеет, увеличивается их дебит, источники приобретают пульсирующий характер, что связано с активизацией эндогенных процессов; это также обуславливает образование воздушных вихрей, предшествующих обвалам и сходу ледников.

Катастрофические обвалы и сходы Девдоракского и Колкинского ледников Л. А. Варданянц связывает с часто происходящими землетрясениями в пределах горста, со скачкообразными поднятиями горста. Как доказательство последнего, он приводит факт существующего неизменного базиса эрозии р. Терек в Дарьяльском ущелье (в Дарьяльском горсте), в то время как ниже горста эрозия происходит нормально.

В дополнение к вышеизложенному отмечаем следующее.

Нами, при проведении геологической съемки масштаба 1:50 000 листа К-38-42-В, так называемого Казбекского листа, на высоте около 4000 м по левому борту Дарьяльского ущелья в апикальной части северной антиклинали (Дарьяльского горста), наблюдались значительные площади, устланные горизонтально свободно лежащими плитками аспидных сланцев. Это является еще одним доказательством вертикальных подвижек Дарьяльского горста, т. е. кливажа, « происходящего под влиянием вертикальных механических сил при горообразовательных процессах» [6, 9]. Картирование т. н. северной антиклинали Дарьяльского горста проводилось со стороны ущелья р. Чач, от контакта гранитов с аспидными сланцами палеозоя, в направлении вверх к востоку. Описываемый район контакта находится на большой высоте над дном ущелья, в исключительно труднодоступных местах. Здесь, на высоте около 3800 м, наблюдается четко выраженный активный горячий крутопадающий контакт гранитов с вмещающими аспидными сланцами Главного хребта. Аспидные сланцы на контакте с гранитами и в зоне экзоконтакта превращены в скрытокристаллические роговики. Под микроскопом в них наблюдается интенсивное окварцевание, роговиковая структура и новообразования хиастолита. Характерно, что в зоне экзоконтакта, параллельно контакту, наблюдается линза пирротина.

Факт горячего активного контакта гранитов с вмещающими аспидными сланцами Главного хребта по Чачскому ущелью, в дополнение к имеющимся данным [5], однозначно решает стоящую остро дискуссионную проблему об относительном возрасте и природе Дарьяльских гранитов (гранитоидов касарского типа) в пользу их изначально магматического происхождения. Л. А. Варданянц, на основании находок фауны, относит наблюдаемые выше по ущелью, вблизи ледника Чач, кварциты, аспидные сланцы и конгломераты к карбону [2]. Следовательно, наблюдаемые стратиграфически ниже ороговикованные аспидные сланцы в зоне экзоконтакта с гранитами – можно также считать палеозойскими.

На скачкообразное поднятие Дарьяльского горста и его высокую сейсмичность указывает и Ф. Н. Цхурбаев [ 11].

Вся эта сложная геолого-тектоническая обстановка в совокупности создает высокую сейсмическую опасность в районе Казбекского вулканического центра, обуславливающую серию катастрофических обвалов ледников Казбекской группы – ледников Колка, Девдоракского, Медаграбинского и других.

После последнего катастрофического схода ледника Колка, произошедшего 20 сентября 2002 года, для выявления причин этой катастрофы была создана «Межведомственная экспедиция» по комплексному изучению геодинамики в верховьях р. Геналдон и в районе Казбекского и Кельского вулканических центров [3].

Был использован комплекс новейших геофизических методов по изучению геодинамических условий в долине р. Геналдон и в соседствующих районах; была однозначно выявлена аномалия в районе р. Геналдон. Гравиметрическими методами выявлена близповерхностная магматическая камера в южной части долины р. Геналдон, вещество которой насыщено водными флюидами и нагрето до температуры 1000 °С.

Аномалии в районе Казбекского вулканического центра выявлены также космической съемкой и электроразведкой методами АМТЗ и МТЗ.

Геохимическими методами выявлено, что в Казбекском и Кельском вулканических центрах в источниках отношение  $^3\text{He}/^4\text{He}$  соответствует мантийным значениям, что в других районах, по мере удаления от центра, не наблюдается; это обусловлено плавлением пород нижней континентальной коры мантийным веществом под вулканическим центром [7].

Были использованы и другие методы исследования.

Об усилении эндогенного прогресса Казбекско-Джимарайского массива свидетельствуют факты появления подтеков на висячих ледниках и массовое обрушение их, в частности – на леднике Колка перед катастрофой 20.09.2002 г. Об этом свидетельствует также и появление фумарол на местах обрушения фирновых полей висячих ледников и скорое прекращение выделения фумарольных эманаций после катастрофы; а также и факт появления озер в нивальной зоне, где их раньше не было [10].

Основными причинами обвалов висячих ледников Казбекской группы является совокупность факторов – активизация магматической камеры спящего вулкана Казбек, проявление неотектоники в районе горста (Шаухох-Дарьяльского поднятия). Как следствие, произошел набор ледником Колка критической массы и, при активизирующей роли обилия воды, катастрофический сход его.

В районе Шаухох-Дарьяльского поднятия и в соседствующих районах необходимо проводить постоянный долгосрочный мониторинг геолого-динамических, геодезических и сейсмических процессов с использованием новейших геофизических методов и применением методов сверхточной геодезии – GPS через систему спутников.

С этой целью Республиканская сейсмическая сеть наблюдений Геофизического Центра в конце 2003 года была преобразована в сеть комплексных наблюдений «Кармадонский параметрический полигон», включающую сейсмологические наблюдения, с введением сейсмических регистраторов нового поколения «Дельта-Геон» в совокупности с геодинамическими и гравиметрическими наблюдениями [4].

## ЛИТЕРАТУРА

1. Бондырев И. В., Заалишвили В. Б. Результаты исследования активизации процессов в междуречье Гизельдон – Геналдон (Кармадонский блок) летом-осенью 2003 // Вестник ВНИЦ РАН и РСО-А. Т. 4, № 1, 2004, С. 27–33.
2. Варданянц Л. А. Геотектоника и сейсмика Дарьяла как основная причина катастрофических обвалов Девдоракского и Геналдонского ледниковых массивов // Вестник ВНИЦ РАН и РСО-А. Т. 3. № 1. 2003. С. 38–45.
3. Гурбанов А. Г. и др. Первые результаты исследования эндогенных процессов в Геналдонском и прилегающих ущельях // Вестник Владикавказского научного центра РАН и РСО-А. 2004. Том 4. № 3. С. 2–8.
4. Заалишвили В. Б., Невская Н. И. и др. Мониторинг опасных природных и техногенных процессов на территории РСО-Алания // Геология и геофизика юга России, С. 17.
5. Колесникова А. М. Некоторые особенности геологического строения зоны Центрального поднятия Главного Кавказского хребта в разрезах и междуречьях рек Терек, Ардон, Геналдон (Горная Осетия) // Труды СКГМИ (ГТУ). Вып. пятнадцатый, 2008.
6. Левинсон-Лессинг Ф. Ю. Струве Э. А. Петрографический словарь. М.: Госгеолтехиздат, 1963.
7. Лаврушин В. Ю., Маковозов А. Я. Температура минеральных вод – отражение магматогенной термоаномалии в в районе вулкана Казбек // Вестник ВНИЦ РАН и РСО-А. Том 4. № 3. 2004. С. 33.
8. Мельников В. А. Отчет по геологической съемке масштаба 1:50 000, Владикавказ. 1956 г. Фонды «ТФГИ по ЮФО».
9. Полквой П. А., Колесникова А. М. и др. Отчет о геологической съемке листа К-38-42-В, масштаб 1:50 000, г. Владикавказ, 1958. Фонды «ТФГИ по ЮФО».
10. Тавасиев Р. А. Ледник Майли и Колка (Центральный Кавказ) // Вестник Владикавказского научного центра РАН и РСО-А, 2012. Т. 12. № 3. С. 44–45.
11. Цхурбаев Ф. И. Причины обвала ледника Колка // Природные и техногенные катастрофы. Владикавказ: Изд. Проект-Пресс, 2005. С. 157–158.

*Sc.Candidate (Geol.-Min.) Kolesnikova A. M.,*

### **ADDITIONAL DATA ON THE QUESTIONS OF GEOTECTONICS AND SEISMICITY OF SHAUKHOKH-DARIAL UPLIFT**

*The article considers the reasons of high seismic activity of Shaukhokh-Darial uplift (lifted block) connected with the complex geological-tectonic structure, activation of neotectonics processes, the increase of endogenous activity (heating) in Kazbek-Dzhimara massif. Complex geological-dynamic situation creates in conjunction a high seismic hazard in the area of Kazbek volcano center what causes a series of the disastrous landfalls of the Kazbek group – the glaciers Kolka, Mayli, Devdoraki, Midagrabin and others. It is necessary to realize permanent long-term monitoring of geological-dynamic, geodesic and seismic processes with the help of*



*modern geophysical methods and usage of the methods of high-accuracy geodesy – GPS by means of a satellite system.*

**Key words:** *lifted block, neotectonics processes, cleavage, zone of an exocontact, seismological observations, endogenous heating, fumarole emanation, monitoring.*



УДК 622.73

*Д-р техн. наук, профессор КЛЫКОВ Ю. Г.,  
соискатель ТАВАСИЕВА Е. Б.*

### **НЕКОТОРЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ТЕОРИИ РАЗДЕЛЕНИЯ ТВЕРДЫХ ТЕЛ ПРИ ДЕЗИНТЕГРАЦИИ**

*В статье приведены некоторые соображения о теоретических принципах разделения сростков минералов с включающей породой при дезинтеграции руд.*

*Предложены универсальные формулы для определения раскрытия сростков минералов, включающей фазы и нераскрытых сростков.*

*Предложено образование частиц неоднородного состава и степень раскрытия как включенной, так и включающей фазы, рассчитанной на основе функции распределения частиц измельченного продукта и функции распределения зерен включений в измельчаемом теле.*

*Определена вероятность выделения частиц неоднородного состава при дезинтеграции.*

**Ключевые слова:** *руда, фаза, дезинтеграция, селективность, включенная и включающая фазы.*

Вследствие сложности строения руд и большого различия в форме и размерах включений минералов в сростках теоретический расчет раскрытия представляется весьма сложным. Решением этой задачи занимались многие авторы, с учетом или без учета избирательности измельчения по контактам слоев [1]. Наиболее полно поставленную задачу, по нашему мнению, помогает решить зависимость Волковой, применяемая для оценки сепарируемости твердых тел. Однако в этой работе предполагается, что при измельчении нет преимущественного разрушения вдоль границ разреза фаз, т. е. измельчаемость минеральных включений и включающей фазы одинакова. Введение в зависимость Волковой понятия селективности дезинтеграции позволяет получить универсальные формулы для определения раскрытия сростков минералов включающей фазы и нераскрытых сростков.

Для оценки степени раскрытия включенной и преобладающей по содержанию включающей фазы Годеном разработан метод совмещения пространственной решетки кубиков частиц с кубиками включений равномерно рас-

пределенных в объеме частиц [2]. Если ребро решетки кубиков частиц меньше ребра кубиков включений в  $k$  раз и отношение объема преобладающей по содержанию фазы к объему включений равно  $n$ , то степень раскрытия включенной первой фазы равна:

$$f_1 = \left( \frac{k-1}{k} \right)^3, \quad (1)$$

а степень раскрытия включающей второй фазы равна:

$$f_2 = \frac{nk^2 - 3k - 2}{nk^2}. \quad (2)$$

Для оценки степени раскрытия обеих фаз,  $f_1$  и  $f_2$  (%), в полученном после дезинтеграции рудного тела продукте, с определенным распределением по размеру, Годеном предлагается усреднить произведения весового выхода каждой фракции на соответствующую степень раскрытия данного компонента в этой фракции.

При этом предполагается, что зерна включений одинаковы по размеру и равны  $kl_m$ , где  $l_m$  – величина частиц фракции измельченного материала с наибольшим выходом по весу.

Зерна включений в неоднородной по составу частице распределяются по форме и размеру. Определение функций распределения по их формам и размеру производится известными методами, применяемыми для фазового анализа неоднородных твердых тел.

Процесс образования измельченного продукта регулируется статистическими закономерностями. Вероятность образования частиц неоднородного состава и степень раскрытия как включенной, так и включающей фазы, можно рассчитать на основе функции распределения частиц измельченного продукта и функции распределения зерен включений в измельчаемом теле. Для упрощения будем считать, что конечный продукт, полученный из включенной и включающей фазы, имеет совпадающие функции распределения.

Пусть функции распределения зерен включений  $F_r(r)$ , тогда число их на каждый кубический сантиметр включенной фазы составит:

$$N_k = \frac{1}{\int_0^{r_k} r^3 F_r(r) dr}, \quad (3)$$

где  $r_k$  – максимальный размер зерен включений.

Считая, что объем включенной фазы составляет  $1/n$  объема неоднородного твердого тела, поверхность зерен включений  $S$ , содержащихся в единице объема этого тела, определяется из зависимости:

$$S = \frac{a \int_0^{l_k} r^2 F_r(r) dr}{n \int_0^{l_k} r^3 F_r(r) dr}, \quad (4)$$

где  $a$  – коэффициент, зависящий от формы зерен включения. Для круглых зерен и кубических с ребром, равным диаметру сферической частицы, он равен 6.

Здесь и далее мы будем использовать идеализированную модель профессора Белоглазова, в которой включения примеси минерала представляют собой сферические частицы, расположенные в куске рудного материала беспорядочно, по законам случая.

Измельченные частицы будем также считать сферами любых возможных размеров.

Если по свойствам исходного рудного материала и механизму процесса измельчения включения минералов и сами измельченные частицы отличаются от сферической формы, то точный расчет состава измельченных частиц усложняется и существенно зависит от взаимной ориентации зерна минерала и измельченной частицы.

Эта ориентация является совершенно случайной, и в процессе расчета придется производить усреднение по всем возможным ориентациям, что практически эквивалентно замене всех частичек некоторыми усредненными частицами сферической формы.

В результате измельчения минерального материала получается продукт с функцией распределения по размеру  $F_l$  и максимальным размером  $l_k$ . Число частиц, образовавшихся из единицы объема, равно:

$$N_0 \frac{1}{\int_0^{l_k} l^3 F_l(l) dl}. \quad (5)$$

Если допустить, что вероятность совпадения поверхности раскола с границей раздела фаз весьма низка, то в данном случае можно оценить вероятность выделения частиц неоднородного состава отношением числа частиц, располагающихся вдоль поверхности границ раздела фаз, к общему числу частиц, образующихся при измельчении.

При этом средняя площадь сферических частиц измельченного материала, размером от 0 до  $l_k$ , равна:

$$l^2 = \frac{\pi}{4} \int_0^{l_k} l^2 F_l(l) dl. \quad (6)$$

Число частиц всех размеров от 0 до  $l_k$ , располагающихся вдоль границ раздела фаз, равно:

$$N_P = \frac{4\alpha \int_0^{r_k} r^2 F_r(r) dr}{n\pi\gamma \int_0^{r_k} r^3 F_r(r) dr \int_0^{l_k} l^2 F_l(l) dl} . \quad (7)$$

Каждая из частиц неоднородного состава может содержать включенную и включающую фазы в различных соотношениях. Коэффициент  $\gamma$  является множителем усреднения площади пересечения границ условного компонента границей раздела фаз.

Последняя формула справедлива в случае, если нет преимущественного раскола по границам раздела фаз, и для приближения предлагаемых зависимостей к реальным способам дезинтеграции минерального сырья в различных аппаратах для измельчения необходимо ввести понятие селективности раскрытия сростков минералов.

Как правило, для достаточно полного раскрытия минералов, измельчение необходимо вести в несколько стадий, так, чтобы размер частиц после измельчения был на один или два порядка меньше толщины мономинеральных прослоев или поперечников вкраплений рудных или нерудных минералов. При этом следует учитывать, что при раскрытии поверхности мономинеральных зерен освобождается поверхностная энергия  $E$ , и можно считать, что:

$$E = \sigma \cdot S ,$$

где  $\sigma$  – удельная поверхностная энергия;

$S$  – поверхность.

Селективность раскрытия минералов по Деневу характеризуется отношением

$$K_P = \frac{E_0 - E_2}{E_1} , \quad (8)$$

где  $E_0$  – поверхностная энергия всех минералов в исходных кусках;

$$E_0 = \sum_{i=1}^n \sigma_i S_i^o , \quad (9)$$

$E_2$  – неосвобожденная поверхностная энергия контактов между минералами в сростках;

$E_1$  – поверхностная энергия всех частиц после измельчения – освобожденная поверхностная энергия.

При  $K_P = 1$  все сростки полностью раскрыты, при  $K_P \rightarrow 0$  все сростки полностью не раскрыты, при  $E_0 = E_2$  разрушаются мономинеральные зерна, а при этом степень раскрытия не только не увеличивается, но даже уменьшается, в случае, если размер рудных зерен слишком мал, то происходит образо-

вание поверхностных сростков вследствие близости периодов кристаллических решеток. Причем, если измельчение сухое, образованию поверхностных сростков способствуют также и силы пьезо-электрического эффекта, на несколько порядков превышающие силы тяжести.

Исходя из вышеизложенного, в формулу (7) вводим в качестве множителя коэффициент селективности раскрытия минералов  $K_p$ , который определяется для каждого вида измельчаемого материала экспериментальным путем.

Определение удельной поверхности срастания, пропорциональной удельной поверхностной энергии срастания, проводилось с помощью металлографического анализатора структур типа “Эпиквант”, на основе анализа серии проб измельченного материала.

Вместе с тем коэффициент селективности раскрытия минералов лишь частично характеризует способность руды к раскрытию при ее дезинтеграции, из-за того, что разрушение происходит в большей степени непосредственно по минералам. Коэффициент, учитывающий это явление, называется коэффициентом вскрываемости руды  $K_b$  и представляет собой отношение удельной поверхности руды к измельченной по крупности, обеспечивающей ее полное раскрытие:

$$K_b = \frac{S_c}{S_{\min}}, \quad (10)$$

где  $S_c$  – удельная поверхность срастания, м<sup>2</sup>/кг;

$S_{\min}$  – минимальная удельная поверхность измельченной руды при полном раскрытии минералов, м<sup>2</sup>/кг.

Оба коэффициента, определяющие селективность раскрытия минералов, использованы в известной формуле профессора В. И. Кармазина. При измельчении в центробежной мельнице эта зависимость наиболее употребительна, так как в мельнице используется принцип самоизмельчения. Величина коэффициента  $K_b$  при измельчении полиметаллической руды находится в пределах 0,45–0,65, для кварца 0,6–0,8 [3].

Зависимости степени раскрытия рудной фазы  $f_1 = f(n, k, K_p)$  приведены: для полиметаллической руды на рис. 1, для кварца – на рис. 2, они удобны для практических расчетов. На этих зависимостях:

$k$  – степень измельчения;

$n$  – доля рудного минерала;

$K_p$  – коэффициент селективности раскрытия минералов.

Вероятность выделения частиц неоднородного состава при дезинтеграции равна:

$$P = \frac{N_P}{N_0} = \frac{4\alpha \cdot \int_0^{r_k} r^2 F_r(r) dr \cdot \int_0^{l_k} l^3 F_l(l) dl}{\pi \cdot n \cdot \gamma \cdot K_b \int_0^{r_k} r^3 F_r(r) dr \cdot \int_0^{l_k} l^2 F_l(l) dl}. \quad (11)$$

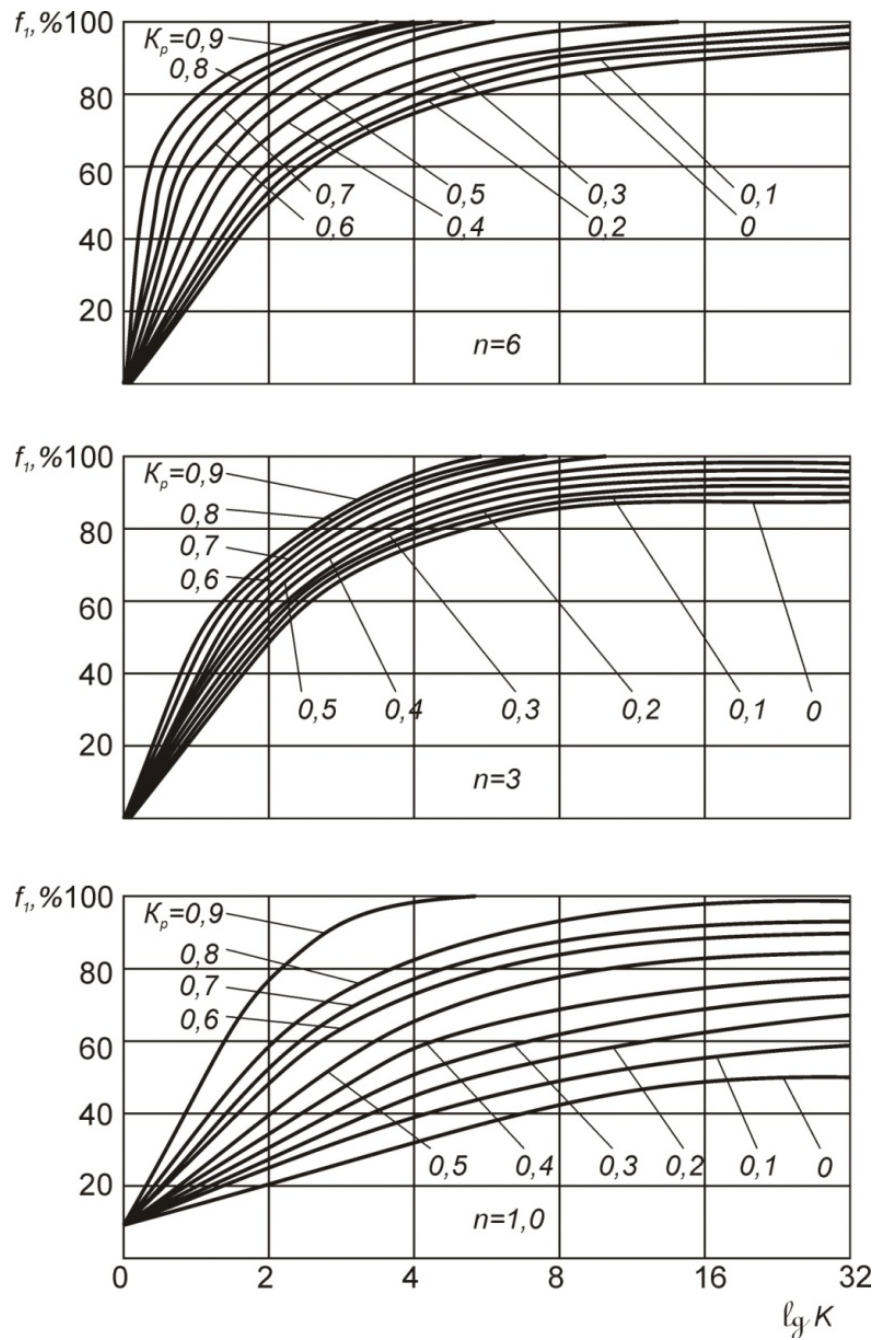


Рис. 1. Зависимость  $f = f(n, k, k_p)$  для кварца

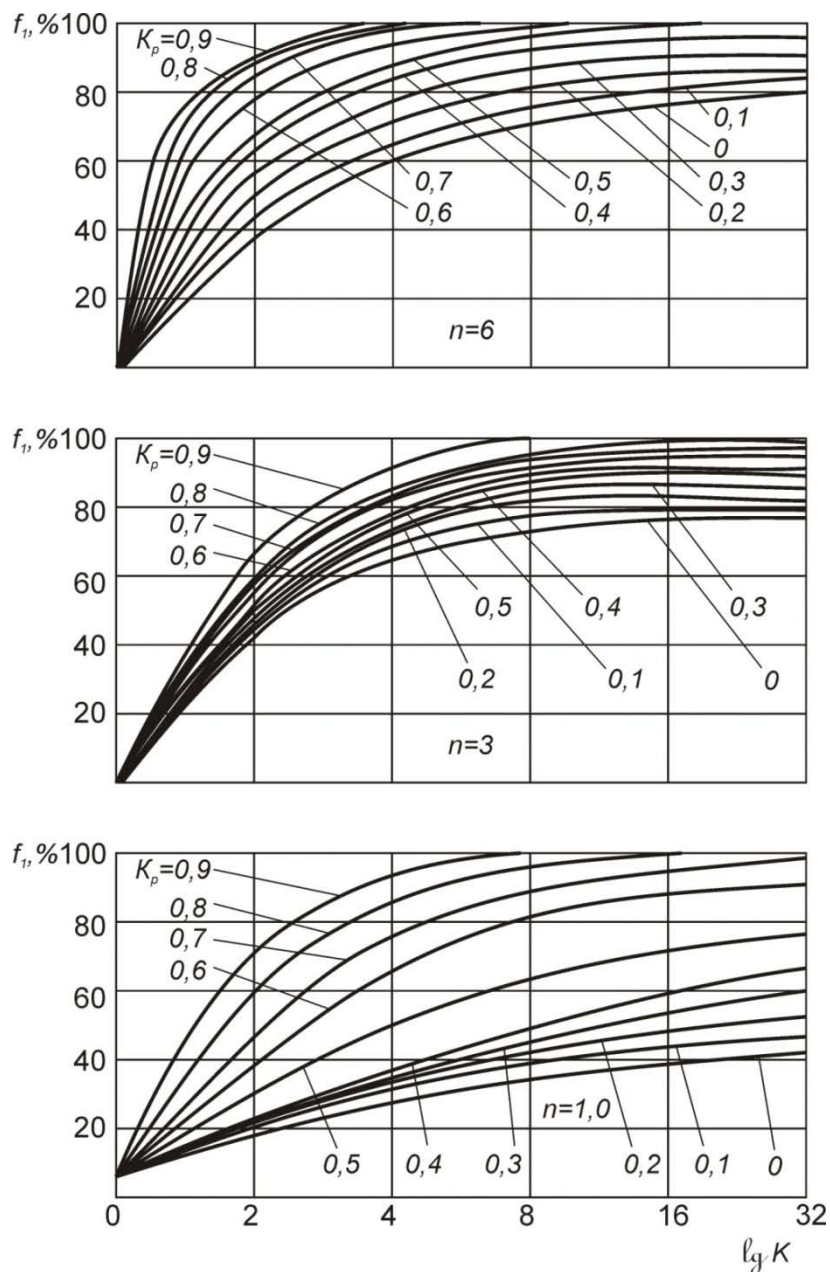


Рис. 2. Зависимость  $f = f(n, k, k_p)$  для свинцово-цинковой руды

### ЛИТЕРАТУРА

1. Плаксин В. И., Кармазин В. И., Кармазин В. В., Олофинский Н. Ф. Новые направления в обогащении тонко вкрапленных руд. М., Наука, 1964.
2. Годен М. А. Основы обогащения полезных ископаемых. М., Металлургиздат, 1946.
3. Клыков Ю. Г. Анализ измельчаемости медно-пиритных промпродуктов на Урупском ГОКе // Колыма, № 9, 1987.

*Dr. Tech.Sc., professor KLYKOV Yu. G.  
co-researcher TAVASIEVA E. B.*

### **SOME ASPECTS OF THE SOLID BODIES SEPARATION DURING DISINTEGRATION**

*The article presents some views on the theoretical principles of the minerals splices separation during ores disintegration. The universal formulas for the minerals splices release disintegration, aggregate and aggregating phase suggested. Also the non-uniform particles composition formation and the release degree both of the aggregate and aggregating phases should be calculated on the ground product particles distribution and the grains distribution function in the ground body. The probability of the particles separation during disintegration is determined.*

**Key words:** *ore, phase, disintegration, selectivity, aggregate phase.*

#### **REFERENCES**

1. Plaksin V. I., Karmazin V. I., Karmazin V. V., Olofinskiy N. F. New trends of the finely impregnated ores. M.: Nauka, 1964.
2. Goden M. A. Fundamentals of minerals enrichment. M. Mttallurgizdat, 1946.
3. Klykov Yu. G. Copper-pyrite industrial products grinding analysis Urupskiy plant // Kolyma, № 9, 1987.



УДК 622.17

*Д-р техн. наук, профессор ЛОЛАЕВ А.Б.,  
ст. преподаватель АРУТЮНОВА А. В.,  
ассистент БАДОЕВ А. С.,  
ДЗЕБОЕВ С. О.*

### **ИЗУЧЕНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЛЕЖАЛЫХ ХВОСТОВ ТЫРНЫАУЗСКОГО ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО КОМБИНАТА (КАБАРДИНО-БАЛКАРСКАЯ РЕСПУБЛИКА) МЕТОДАМИ ВЫДЕЛЕНИЯ МОНОМИНЕРАЛЬНЫХ ФРАКЦИЙ**

*Проведен поиск методов утилизации переработки отходов, накопленных в результате промышленной деятельности Тырныаузского вольфрамомолибденового комбината.*

**Ключевые слова:** *хвостохранилище, мономинеральная фракция, квартование, разделение, анализ, проба.*

Существующие и строящиеся горно-обогачительные и горно-металлургические предприятия перерабатывают десятки миллионов тонн руды и сырья и соответственно сбрасывают сотни миллионов тонн отходов обо-



гащения и производства, для складирования которых требуются специальные хранилища. При этом, как отмечается в [1], неиспользуемые отходы – это не только огромный ущерб, наносимый природной среде, но и безвозвратно теряемое в результате ветровой и водной эрозии минеральное сырье.

Потенциальные возможности техногенных ресурсов и мировая практика свидетельствуют о возможности организации производства металлов из отходов, качество которых имеет тенденцию сближения с качеством природного сырья. Установлено, что уже сейчас их переработка в ряде случаев является рентабельной [2].

Техногенные ресурсы горно-добывающих и металлургических предприятий огромны. На сегодняшний день в России 337 комплексов хвосто- и шламохранилищ горно-добывающей промышленности содержат около 6 млрд кубометров отходов обогащения [3]. Одним из примеров таких «техногенных» месторождений являются хвостохранилища № 1 и 2 Тырныузского вольфрамо-молибденового комбината (Кабардино-Балкарская Республика).

По приведенным в работе [4] данным, разработка технологии утилизации и переработки отходов, накопленных в результате прошлой хозяйственной деятельности Тырныузского вольфрамо-молибденового комбината, позволит переработать более 110 млн м<sup>3</sup> отходов в коммерческий продукт для вольфрамо-молибденовой промышленности в виде вторичного сырья и для строительной промышленности в виде продукта для производства строительных вяжущих материалов (минеральных добавок к цементу или к тяжелому бетону для уменьшения на 25–30 % расхода цемента). Также имеются значительные запасы других редких элементов, для подсчета которых необходимо провести грамотное опробование и последующие аналитические исследования.

Особое значение данная проблема приобретает в связи с предстоящей реализацией Федеральной программы по созданию туристического кластера в Северо-Кавказском федеральном округе. В этом случае на первое место выходит задача экологической реабилитации территорий, подверженных негативному воздействию объектов накопленного экологического ущерба в результате прошлой хозяйственной деятельности добывающей и горно-обогатительной промышленности [5].

При экономически эффективном вовлечении во вторичный оборот отходов Тырныузского горно-обогатительного комбината доля площади рекультивированных и экологически реабилитированных земель в общей площади земель, подверженных негативному воздействию накопленного экологического ущерба, составит ~33 % (170,6 га из 515,5 га).

Объектом исследований являются хвостохранилища № 1 и № 2 Тырныузского вольфрамо-молибденового комбината. Целью исследований – комплексное изучение физико-химических свойств намывного массива из лежащих хвостов методами выделения мономинеральных фракций на предмет возможности дальнейшего использования указанных объектов в качестве техногенных месторождений.

В 2014 г, впервые за всю историю изучения захороненных промышленных отходов, осуществлено шнековое бурение 2-х скважин на хвостохранилище №1 (суперхранилище) глубиной до 20 м и 2-х скважин – глубиной 20 и

30 м, т. е. на всю мощность хвостохранилища № 2. Скважины были задокументированы с составлением литологического разреза. Опробование их керна, в связи со спецификой бурения, проводилось методом пунктирной борозды каждые 1,5 м непосредственно из бурового шнека, что обусловлено его длиной. Из 4-х скважин для прецизионного геохимического изучения отобрано 62 пробы весом каждая по 50 гр. Затем для хвостохранилищ № 1 и 2 из керна скважин отобраны (методом квартования на делителе Джонсона) пробы весом по 5 кг (для хранения), а из остатков составлены две сводные пробы весом по 200 кг каждая для последующих технологических испытаний [6].

Был выполнен следующий комплекс работ:

- бурение 4-х скважин глубиной до 30 м;
- отбор послойно-валовых проб из скважин;
- гранулометрический анализ ситовым методом;
- дробление и истирание проб для геохимических исследований;
- разделение 2-х сводных проб на легкую и тяжелую фракции, выделение в тяжелой фракции электромагнитной и немагнитной фракций.

После отбора проб производилось их высушивание по ГОСТ 5180-84 [7], далее производилось дробление через валковую дробилку СМД-507А (рис.1) в соответствии с ГОСТ 28192-89 [8]. После дробилки проба проходила грохочение на сите с отверстиями 2 мм. Следом проводилась сортировка, при необходимости дробление, перемешивание и сокращение [8].



Рис. 1. Лабораторная валковая дробилка СМД-507А

Перемешивание проб выполнялось методом кольца и конуса. Сокращение пробы (квартование) производилось на делителе Джонса (рис. 2).

После получения 2-х сводных отквартованных проб был проведен гранулометрический анализ. Пробы просеивались через сита с размерами отверстий 0,25, 0,1 и 0,05 мм. Результаты анализа гранулометрического состава приведены в табл. 1 и 2.

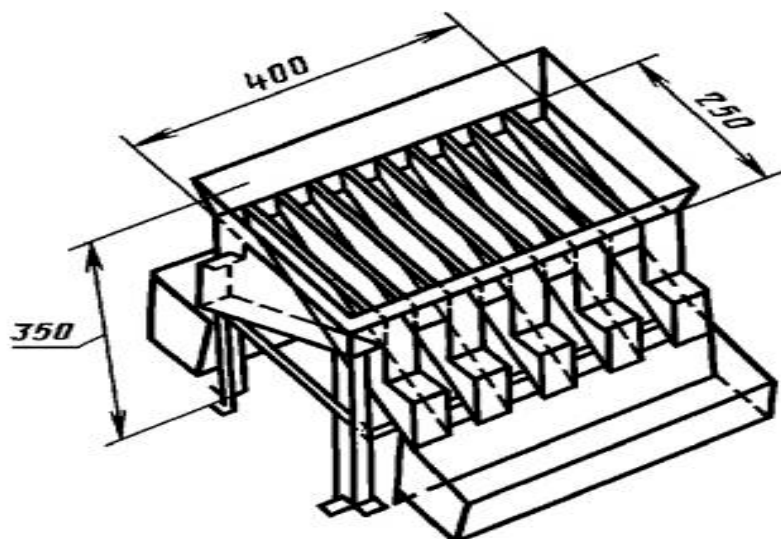


Рис. 2. Рифленый делитель Джонса

Таблица 1

**Гранулометрический анализ объединенной пробы грунта  
хвостохранилища № 2 Тырнаузского вольфрамо-молибденового  
комбината (Скважины № 1 и № 2)**

Гранулометрический анализ (ситовый метод)		
Сито, мм.	Вес фракции, гр.	%
>0,25	99,47	10,03
0,1–0,25	165,6	16,71
0,05–0,1	229,7	23,17
< 0,05	496,5	50,09
Всего	991,27	100,00

Таблица 2

**Гранулометрический анализ объединенной пробы грунта  
хвостохранилища № 1 Тырнаузского вольфрамо-молибденового  
комбината (Скважины № 3 и № 4)**

Гранулометрический анализ (ситовый метод)		
Сито, мм	Вес фракции, гр.	%
>0,25	142	14,34
0,1–0,25	153,9	15,54
0,05–0,1	86,3	8,71
< 0,05	608,1	61,41
Всего	990,3	100,00

Для отделения минералов друг от друга во время процесса сепарации по плотности и размерности отдельных зерен был использован метод выделения мономинеральных фракций в тяжелых жидкостях [9]. В качестве тяжелой жидкости в экспериментах использовался бромформ (трибромметан  $\text{CHBr}_3$ )

В результате разделения навески в тяжелой жидкости получено два продукта – легкая и тяжелая фракции минералов.

Результаты разделения 2-х сводных проб на легкую и тяжелую фракции приведены в табл. 3 и 4.

Таблица 3

**Результаты разделения сводной пробы хвостохранилища № 2  
(Скважины № 1 и № 2) на легкую и тяжелую фракции**

№ п/п	Фракция	Вес пробы, г	Осадок, г				
			общий вес, г	$\rho < 2,89$		$\rho > 2,89$	
1	0,05	50	47,97	23,92		23,95	
		100%	95,70%	47,8 % веса пробы	49,8 % веса осадка	47,9 % веса пробы	49,9 % веса осадка
2	0,1	50	49,24	33,02		16,22	
		100%	98,40%	66,0 % веса пробы	67,0 % веса осадка	32,4 % веса пробы	32,9 % веса осадка
3	0,25	50	48,07	34,13		13,94	
		100 %	96,10 %	68,2 % веса пробы	71,0 % веса осадка	27,8 % веса пробы	28,9 % веса осадка

Таблица 4

**Результаты разделения сводной пробы хвостохранилища № 1  
(Скважины № 3 и № 4) на легкую и тяжелую фракции**

№ п/п	Фракция	Вес пробы, г	Осадок, г				
			общий вес, г	$\rho < 2,89$		$\rho > 2,89$	
1	0,05	50	46,87	23,25		23,62	
		100%	93,74 %	46,5 % веса пробы	49,0 % веса осадка	47,0 % веса пробы	49,0 % веса осадка
2	0,1	50	48,36	31,4		16,96	
		100%	96,72%	62,0 % веса пробы	64,0 % веса осадка	33,0 % веса пробы	45,0 % веса осадка
3	0,25	50	48,52	32,15		16,37	
		100%	97,04%	64,3 % веса пробы	66,26 % веса осадка	32,74 % веса пробы	33,73 % веса осадка

Далее, в целях выделения акцессорных минералов в отдельный продукт из проб большого веса, проведено их гравитационное обогащение на концентрационно-сотрясательном столе (рис. 3) [9].

В результате разделения на концентрационно-сотрясательном столе СКЛ-2 были получены обогащенные легкая и тяжелая фракции для 2-х объединенных проб хвостохранилищ № 1 и № 2 Тырнаузского вольфрамомолибденового комбината. Тяжелые фракции 2-х объединенных проб в дальнейшем были направлены на сепарацию для испытания на предмет содержания магнитной и немагнитной части данной фракции.



Рис. 3. Лабораторный концентрационно-сотрясательный стол СКЛ-2

Для электромагнитной сепарации были применены индукционно-роликовые магнитные сепараторы (рис. 4).



Рис. 4. Индукционно-роликовый сепаратор

Результаты электромагнитной сепарации приведены в табл. 5 и 6.

Таблица 5

**Результаты электромагнитной сепарации сводной пробы  
хвостохранилища № 2**

Хвостохранилище № 1, скв. 3, 4	Электромагнитная сепарация (тяжелая фракция)			
	тяжелая фракция	магнитная часть, гр	немагнитная часть, гр	всего
			1432,4	
	%	72,92	27,08	100

Таблица 6

**Результаты электромагнитной сепарации сводной пробы  
хвостохранилища № 1.**

Хвостохранилище № 2, скв. 1, 2	Электромагнитная сепарация (тяжелая фракция)			
	тяжелая фракция	магнитная часть, гр	немагнитная часть, гр	всего
			863,5	
	%	46,44	53,56	100

Эти фракции были необходимы для проведения лабораторных испытаний по утилизации промышленных отходов с предварительным выделением из них полезных компонентов [10].

При данном опережающем пилотном исследовании микрокомпонентного состава 6 проб тяжелой фракции из сводных проб (по 1 кг неразделенному и 1 кг разделенному на электромагнитную и немагнитную составляющие) установлено, что:

- выделенные тяжелые фракции хвостов являются слишком большими (~ 30 % от общего объема пробы) по объемам для их технологической переработки.

- электромагнитная фракция в пробе № 1 (хвостохранилище № 2) составляет 73 %, а в пробе № 2 (хвостохранилище № 1) – 47 % от общего объема тяжелой фракции.

- судя по минералогическому составу хвостов, их разделение на реальные тяжелые (объемом ~ 3–5 % от общего объема пробы) и легкие фракции не получилось. По данным последующих проведенных микронзондовых и электронно-микроскопических исследований [7] устанавливается, что это обусловлено тем, что рудные минералы находятся в тончайших сростках с нерудными минералами и поэтому перестали различаться по плотности, а «свободные» рудные минералы (без сростков с нерудными минералами) были извлечены из пульпы в процессе флотации.

На основе полученных данных о вещественном составе хвостов в дальнейшем, возможно, определить наиболее эффективный способ доизвлечения из них остаточного содержания металлов, решить вопросы обеспечения дешевым строительным сырьем и позволит повысить конкурентоспособность конечной продукции на рынке путем снижения ее себестоимости

В результате внедрения разработанной технологии будет ликвидирован накопленный экологический ущерб, что позволит сохранить привлекательность горного туристического кластера.

Кроме того, будет решен ряд экономических и социальных проблем региона, связанных со здоровьем населения и созданием новых рабочих мест на фоне безработицы в регионе.

Результаты исследований, будут востребованы предприятиями горнодобывающей отрасли, цветной и чёрной металлургии для решения аналогичных экологических задач в зоне влияния промышленных предприятий.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Месяц С. П., Волкова Е. Ю.* Обоснование способов сохранения техногенного минерального сырья, складированного в отвалы отходов рудообогатения. // Вестник МГТУ, Т. 12, №4, 2009. С. 735–741.

2. *Бортников Н. С., Богатилов О. А., Карамурзов Б. С., Гурбанов А. Г., Газеев В. М., Докучаев А. Я., Лексин А. Б., Шаззо Ю. К., Цуканова Л. Е., Шевченко А. В.* Захороненные промышленные отходы Тырнаузского вольфрамомолибденового комбината // Вестник Владикавказского научного центра. 2013. Т. 13. № 1.

3. *Лолаев А. Б., Аюпов А. П., Оганесян А. Х., Сумин М. Н.* Исследование и расчет устойчивости ограждающей дамбы при разработке техногенного месторождения // Устойчивое развитие горных территорий. 2011. № 4(10). С. 25–31.

4. *Вагин В. С., Голик В. И.* Проблемы использования природных ресурсов Южного федерального округа. Владикавказ: Проект-Пресс. 2005. 192 с.

5. *Алборов И. Д., Тедеева Ф. Г., Кантемирова В. В., Статова Ю. Г.* Прогнозирование экологической опасности добычи руд в условиях горных территорий // Устойчивое развитие горных территорий. 2011, № 3(9), С. 7–13.

6. Технический отчет по результатам инженерно – геологических изысканий «Бурение 4-х скважин на хвостохранилищах Тырнаузского вольфрамомолибденового комбината для научных целей», НПО «Геоинжиниринг» Владикавказ, 2014.

7. ГОСТ 5180-84 Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик.

8. ГОСТ 28192-89 Отходы цветных металлов и сплавов. Методы отбора, подготовки проб и методы испытаний.

9. *Михайлов В. В., Гордиенко В. В.* Простейшие лабораторные методы выделения мономинеральных фракций, С.-Пб.: С-ПГУ, 2012.

10. *Гурбанов А. Г., Богатилов О. А., Карамурзов Б. С., Газеев В. М., Винокуров С. Ф., Лексин А. Б., Шевченко А. В., Долов С. М., Дударов З. И., Боготов Н. Х., Лолаев А. Б., Оганесян А. Х., Дзебоев С. О., Козинкин А. В., Козаков А. Т., Цуканова Л. Е.* Проблемы утилизации промышленных отходов Тырнаузского вольфрамомолибденового комбината (Кабардино-Балкарская Республика) в свете новых данных // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2015. № 1 (63). С. 82–91.



УДК 669.784: 519.87

*Канд. техн. наук, доцент ГЕРАСИМЕНКО Т. Е.,  
докт. техн. наук, профессор МЕШКОВ Е. И.,  
ассистент ТОМИЛИНА А. А.*

**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ВЫХОДА ЛЕТУЧИХ ВЕЩЕСТВ  
ИЗ УГЛЕРОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ В КВАЗИСТАТИЧЕСКИХ  
УСЛОВИЯХ ТЕРМООБРАБОТКИ**

*Представлены результаты идентификации математических моделей отгонки летучих веществ из четырёх основных типов углеродных материалов в условиях квазистатического процесса прокатки. Определены адекватные величины коэффициентов и энергий активации функций выхода летучих веществ. Показана возможность прогнозирования выделения летучих веществ в промышленных печах.*

**Ключевые слова:** *углеродные материалы, прокатка, квазистатический режим, летучие вещества, пиролиз, математическая модель, энергия активации, идентификация, интегральная и дифференциальная функции распределения.*

Прокаливание углеродных материалов является одним из основных процессов в электродном производстве, поскольку во многом определяет качественные показатели готовой продукции. При нагревании углеродных материалов протекает комплекс сложных физико-химических превращений, в том числе выделение газообразных летучих веществ в результате пиролиза органических соединений. Моделирование этих процессов имеет большое значение для исследования и совершенствования процесса прокатки вычислительным экспериментом.

Целью настоящей статьи является разработка аналитических выражений, описывающих зависимость выхода летучих веществ от температуры термообработки различных типов углеродных материалов. Эти выражения в дальнейшем использованы в составе комплексной математической модели прокатки углеродных материалов в барабанной вращающейся печи, а модель учитывает совокупность определяющих условий и протекающих в печи процессов, в том числе отгонку и горение летучих веществ.

Разрабатываемые математические модели пиролиза обеспечат возможность расчёта распределения по длине печи: выхода летучих веществ, тепловых потоков от их горения и, в конечном итоге, температурного поля и показателей прокатки.

Для разработки математических моделей отгонки летучих веществ во время прокатки различных углеродных материалов использованы данные квазистатического объёмного выхода продуктов термического разложения [1]. В этой работе исследованы четыре основных типа углеродного сырья: первый – антрацит «старый» (Донецк), второй – антрацит «молодой» (Лист-



вянск), третий – нефтяной кокс крекинговый (Грозный) и четвёртый – пиролизный нефтяной кокс (Москва). Экспериментальные данные [1] плотности распределения объёмного выхода летучих веществ ( $y$ ) приведены на рис. 1 и 2.

С целью компьютерной обработки этих данных и описания их аналитически дифференциальными функциями распределения, в зависимости от температуры вида  $v = f(t)$ , использована встроенная в программу Mathcard 15 функция кубической сплайн-интерполяции. Результат такой аппроксимации, подтверждающей полную адекватность полученных модельных аналитических зависимостей экспериментальным данным, также показан на рис. 1 и 2.

Высокая сходимость модельных и экспериментальных значений плотности распределения выхода летучих веществ даёт нам право использовать для построения интегральных функций выхода летучих веществ  $V = F(T)$  первые значения в качестве исходных (экспериментальных) данных. Интегрированием модельных дифференциальных функций  $v = f(t)$  получены функции распределения  $V = F(T)$  для перечисленных типов сырья. График такой функции приведён на рис. 3, на котором (и в последующих рис.) за 100 % принят максимальный выход летучих веществ.

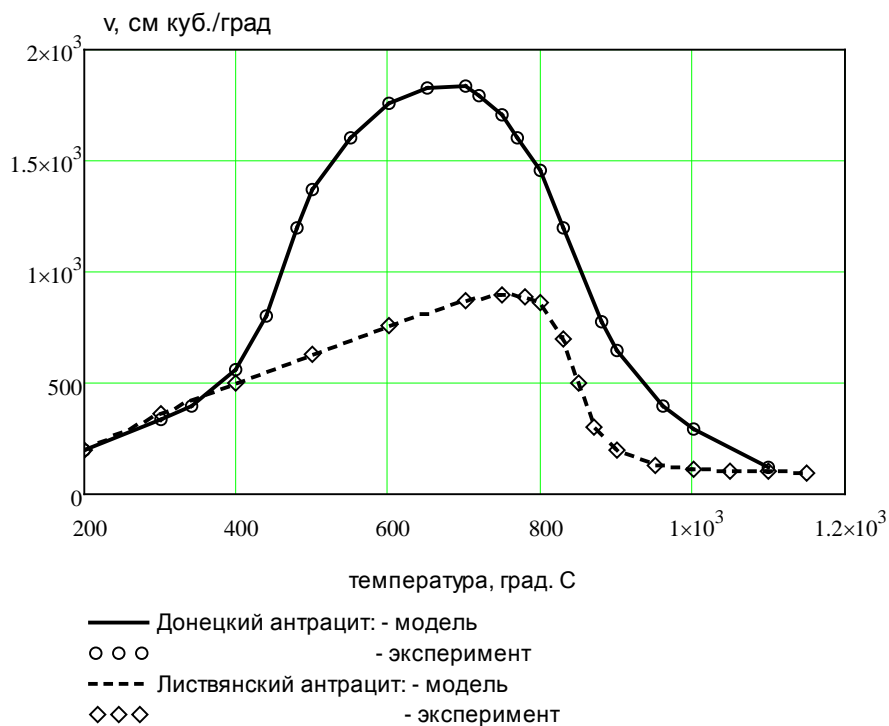


Рис. 1. Экспериментальные данные и модели плотности распределения выхода летучих веществ из антрацитов

При практическом моделировании процессов отгонки летучих веществ используются одно- и двухкомпонентные схемы [2]. Однокомпонентная схе-

ма предполагает, что летучие вещества имеют постоянные физико-химические параметры во всём температурном диапазоне. При двухкомпонентной схеме летучие вещества разделяют на две фракции, имеющие отличающиеся физико-химические параметры и выделяющиеся в разных температурных диапазонах. Кинетическое уравнение для расчёта выхода летучих веществ в результате пиролиза по однокомпонентной схеме, имеет вид [2]

$$V(T, k_0, E, \tau) = V_m \left\langle 1 - \exp\left\{-k_0 \exp\left[-E/(RT/\mu)\right]\tau\right\}\right\rangle, \quad (1)$$

где  $V$  – объёмный выход летучих веществ, %;  
 $T$  – температура пиролиза, К;  
 $k_0$  – предэкспоненциальный коэффициент в уравнении Аррениуса,  $\text{с}^{-1}$ ;  
 $E$  – энергия активации, кДж/кмоль;  
 $\tau$  – время, с;  
 $V_m$  – максимальный объёмный выход летучих веществ, соответствующий их начальной массе в прокаливаемом материале, %;  
 $R = 8,31$  кДж/(град·кмоль);  
 $\mu$  – молекулярная масса летучих веществ, кг/кмоль.

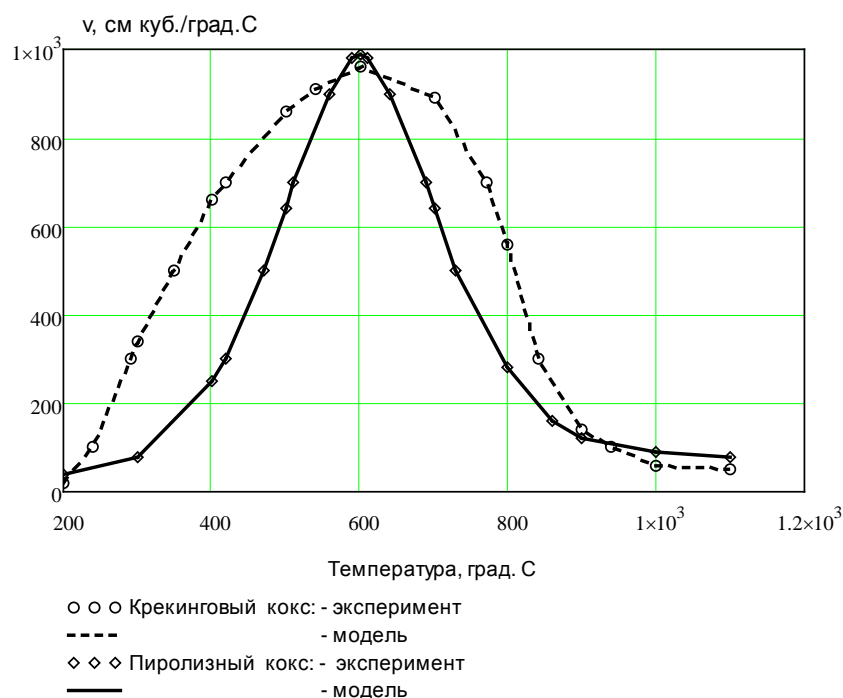


Рис. 2. Экспериментальные данные и модели плотности распределения выхода летучих веществ из нефтяных коксов

Молекулярная масса ( $\mu = 46,84$ ) рассчитана по данным [2] как средневзвешенная величина с учётом молекулярных масс каждого летучего веществ-

ва (смола, вода разложения, CO, CO<sub>2</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>, CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>) и объёмного содержания их в общей смеси.

В случае квазистатических условий пиролиза, когда лимитирующей стадией является подвод тепла, и фактор времени не оказывает влияния на процесс, это уравнение можно записать следующим образом [3]:

$$V(T, k, E) = V_m \left\langle 1 - \exp \left\{ -k \cdot \exp \left[ -E / (RT / \mu) \right] \right\} \right\rangle, \quad (2)$$

где  $k = k_0 \tau_k$ , а  $\tau_k$  – время завершения пиролиза.

С целью определения параметров уравнения (2):  $k$  и  $E$  – выбран метод решения задачи оптимизации, заключающийся в поиске минимума значения целевой функции, в качестве которой использована функция:

$$F(k, E) = \sum_{i=1}^n (V_i - V(T_i k, E))^2, \quad (3)$$

где  $V_i$  – экспериментальное значение выхода летучих веществ;

$n$  – количество экспериментальных и расчётных значений  $V$ , используемых для решения задачи оптимизации.

Эта функция определяет сумму квадратов отклонений экспериментальных и модельных значений выхода летучих веществ, рассчитанных по уравнению (2). Оптимальные значения  $k$  и  $E$ , при которых обеспечен минимум значения целевой функции, найдены для всех видов углеродного сырья с применением встроенной в программу Mathcad 15 функции Minerr(x, y) при  $n = 18$  и приведены в таблице.

Графики экспериментальных и модельных интегральных функций  $(V(T, k, E))$ , построенных при  $V_m = 100\%$  по уравнению (2) с использованием оптимальных значений  $k$  и  $E$ , приведены на рис. 3.

Результаты проверки соответствия полученных данных с использованием однокомпонентной схемы показали, что экспериментальные и модельные функции для всех типов сырья адекватны с доверительной вероятностью 0,99, расчётное значение критерия Фишера ( $F_{рас}$ ) значительно больше табличного ( $F_{таб} = 3,34$ ), а остаточная дисперсия не превышает 6, 7.

Процесс выделения летучих веществ можно моделировать точнее по двухкомпонентной схеме, с использованием следующего уравнения:

$$V(T, k_1, k_2, E_1, E_2) = V_m \left\langle \alpha \left\{ 1 - \exp \left[ -k_1 \cdot \exp \left[ \frac{-E_1}{R_1 / \mu_1 T} \right] \right] \right\} + (1 - \alpha) \left\{ 1 - \exp \left[ -k_2 \cdot \exp \left[ \frac{-E_2}{R_2 / \mu_2 T} \right] \right] \right\} \right\rangle, \quad (4)$$

где индексы 1 и 2 относятся к первому и второму компоненту летучих веществ;

$\alpha$  – объёмная доля первого компонента.

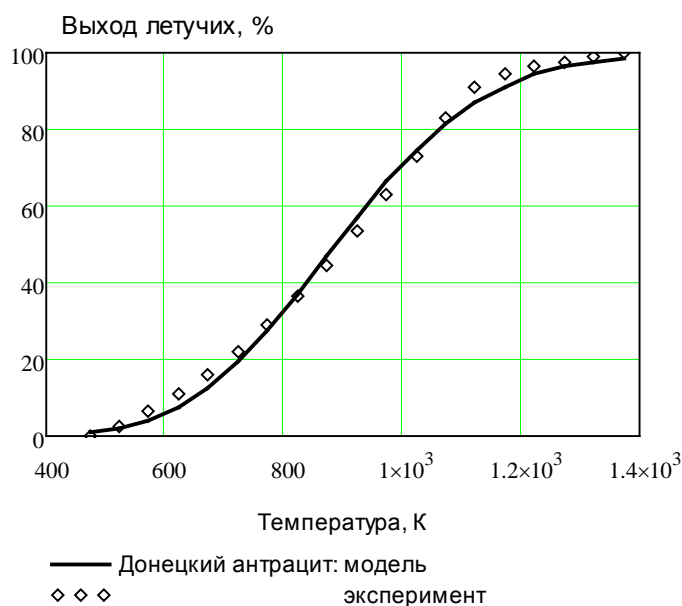


Рис. 3. Интегральные функции распределения выхода летучих веществ на примере донецкого антрацита (однокомпонентная схема)

Значения средневзвешенных молекулярных масс определены расчётом по данным [2]: для первого – низкотемпературного компонента, состоящего из смолы, воды разложения и  $\text{CO}_2$ ,  $\mu_1 = 62,76$ , а для второго – высокотемпературного компонента, состоящего из  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{C}_2\text{H}_4$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\mu_2 = 15,17$ . При таком составе, с учётом объёмной концентрации компонент летучих веществ  $\alpha = 0,665$ .

Целевая функция для идентификации уравнения (4) имеет вид:

$$F(k_1, k_2, E_1, E_2) = \sum_{i=1}^n (V_i - V(T_i, k_1, k_2, E_1, E_2))^2, \quad (5)$$

Задача идентификации параметров  $(k_1, k_2, E_1, E_2)$  уравнения (4) для исследованных типов сырья решена с использованием экспериментальных значений распределения выхода летучих веществ и функции  $\text{Minert}(x, y)$ . Оптимальные значения этих параметров и данные проверки их адекватности приведены в таблице. Они подтверждают, что модель значима с доверительной вероятностью 0,99, но расчетные значения критерия Фишера при  $F_{\text{маб}} = 3,59$  значительно выше, а остаточная дисперсия на порядок ниже, чем в случае применения однокомпонентной схемы.

Полученные данные позволяют моделировать распределение и плотность распределения выхода летучих веществ отдельно по отдельным компонентам. Интегральные функции распределения выхода летучих веществ отдельных компонентов выражаются уравнениями:

$$V_1(T) = V_m \alpha \left\{ 1 - \exp \left[ -k_1 \cdot \exp \left[ \frac{-E_1}{R_1 / \mu_1 T} \right] \right] \right\}, \quad (6)$$

$$V_2(T) = V_m (1 - \alpha) \left\{ 1 - \exp \left[ -k_2 \cdot \exp \left[ \frac{-E_2}{R_2 / \mu_2 T} \right] \right] \right\}. \quad (7)$$

Графики этих функций и функций общего выхода летучих веществ, экспериментальные и построенные по значениям, рассчитанным с оптимальными значениями параметров идентификации, изображены на рис. 4. Хорошее совпадение графиков общего выхода летучих веществ и результаты проверки адекватности полученных данных подтверждают, что двухкомпонентная схема расчёта выделения летучих веществ при прокатке углеродных материалов позволяет с высокой точностью моделировать этот процесс в промышленных печах, в которых скорость нагрева материала соответствует квазистатическим условиям.

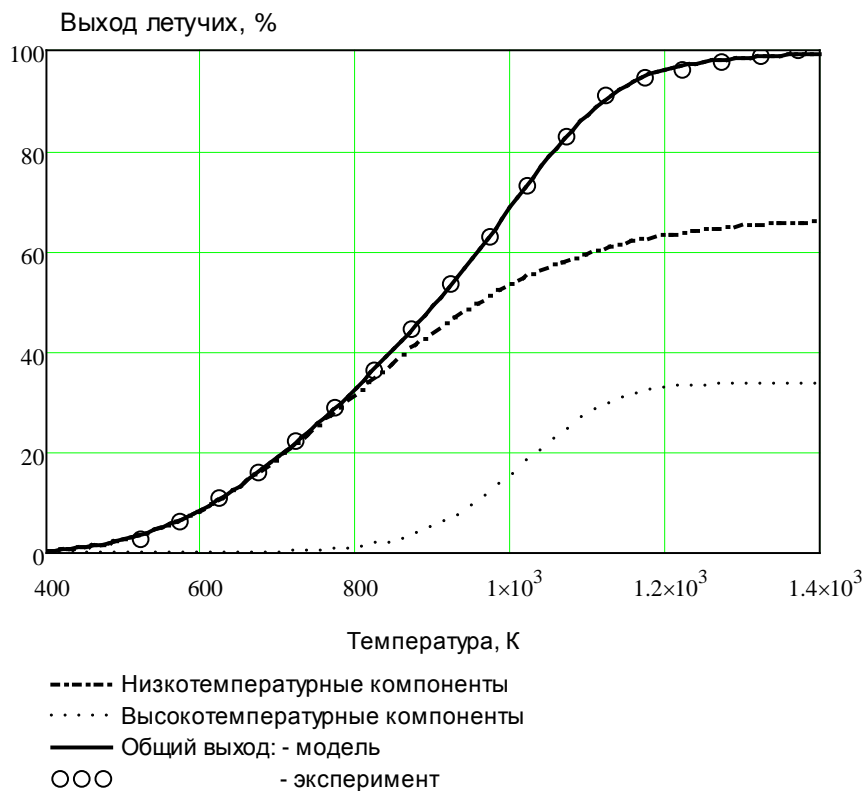


Рис. 4. Интегральные функции распределения выхода летучих веществ на примере донецкого антрацита (двухкомпонентная схема)

С целью моделирования выхода летучих веществ по длине барабанной вращающейся печи, работающей в режиме противотока газа и прокаливаемого антрацита, использованы данные [4, 5] распределения его температуры:

$$(t_m = f(x)),$$

где  $x$  – расстояние от горячей головки печи) и разработанные нами математические модели функций  $V(T)$ ,  $V_1(T)$  и  $V_2(T)$  (рис. 4). После замены переменной этих функций  $T$  на независимую переменную  $x$  и дифференцирования получены дифференциальные функции распределения выхода летучих веществ в зависимости от расстояния  $x$ . Графики этих функций, совмещённые с графиком распределения температуры материала, показаны на рис. 5.

Таблица

Данные идентификации функции выхода летучих веществ

Тип сырья	Однокомпонентная схема				Двухкомпонентная схема					
	$k$	$E$	$D_{ост}$	$F_{рас}$	$k_1$	$E_1$	$k_2$	$E_2$	$D_{ост}$	$F_{рас}$
1	120,8	812,7	6,628	200,7	64,01	490,0	67000	6300	0,199	6670
2	286,7	986,8	0,704	2067	148,5	632,0	3375	4581	0,190	7644
3	212,7	872,0	1,005	1453	253,2	623,7	4020	4654	0,429	3401
4	630,0	1073	3,852	410,4	205,4	683,6	23000	6010	0,225	7027

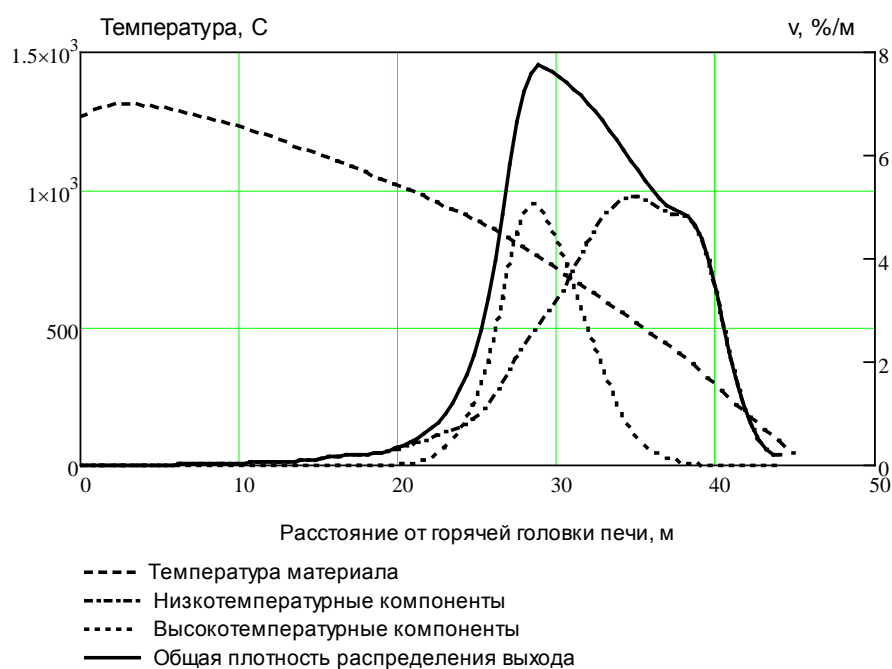


Рис. 5. Распределение температуры и дифференциальные кривые выхода летучих веществ в барабанной вращающейся печи на примере донецкого антрацита

Выполненные исследования показывают, что использованная методология моделирования и разработанные математические модели обеспечивают

для летучих веществ в целом и их отдельных компонентов возможность определения места выделения в печи, расчёта их количества и организации рационального сжигания в печах прокатки углеродных материалов. По экспериментальным данным рассчитаны адекватные значения коэффициентов уравнений и энергий активации пиролиза в процессе прокатки в квазистатических условиях четырёх типов углеродного сырья. Применение полученных оптимальных параметров и функций распределения выхода летучих веществ в комплексных моделях технологических процессов и тепловой работы печей повысит их точность и информативность.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Чалых Е. Ф. Технология и оборудование электродных и электроугольных предприятий. М.: Metallurgy. 1972. С. 99–100.
2. Основы практической теории горения топлива // Под ред. В. В. Поморанцева. Л.: Энергоатомиздат, 1986.
3. Сошкин С. В., Рутковский А. Л., Сошкин Г. Г. // Цветные металлы. 2008, № 2. С. 108–110.
4. Мешков Е. И., Герасименко Т. Е., Ковалёва М. А. // Цветная металлургия. 2012, № 4. С. 53–56.
5. Герасименко Т. Е., Мешков Е. И., Чибашвили А. В. // Устойчивое развитие горных территорий. 2013. № 1. С. 30–33.

## MATHEMATICAL SIMULATION OF PIROLYSIS PROCESS DURING CALCINATION OF CARBON-BASE MATERIALS

*The identification's results of the mathematical models of volatiles' rundown from four basic type of carbon-base materials during the quasi-static conditions of calcination process are presented. The identical quantities of the function's coefficients and activation energies of volatiles' yield are determined. The forecasting's possibility extraction of volatiles in industry furnaces is shown.*

**Key words:** carbon-base material, calcination, quasi-static regime, volatiles, pyrolysis, mathematical model, activation energy, identification, accumulated and differential distribution function.

## REFERENCES

1. Chalyh E. F. // Technology and Equipment electrode and electric carbonic enterprises. M.: Metallurgy. 1972. P. 99–100.
2. Fundamentals of practical theory of combustion of fuel//Ed. V. V. Pomorantseva. L.: Energoatomizdat, 1986.
3. Soshkin S. V., Rutkowski A. L., Soshkin G. G. //Non-Ferrous Metals. 2008, №2. P.108–110.
4. Meshkov E. I., Gerasimenko T. E., Kovaleva M. A. // Non-Ferrous Metals. 2012, №4. P. 53–56.
5. Gerasimenko T. E., Meshkov E. I., Chibashvili A. V. // Sustainable Development of Mountain Territories. 2013. №1. P. 30–33.

*Канд. техн. наук, доцент ЕВДОКИМОВ С. И.,  
д-р техн. наук, профессор МАКСИМОВ Р. Н.,  
магистр ЕВДОКИМОВ В. С.*

## **ВВЕДЕНИЕ В ХОЗЯЙСТВЕННЫЙ ОБОРОТ МАЛООБЪЕМНЫХ ТЕХНОГЕННЫХ СВИНЦОВО-ЦИНКОВЫХ ГЕОРЕСУРСОВ**

*При том, что суммарный ущерб от загрязнения окружающей среды отходами, которые продуцирует промышленность, оценивают на уровне 15 % ВВП страны, стоимость накопленных в них металлов составляет около 620 млн долл. США. Извлечение металлов из техногенных объектов позволит вовлечь их в полезный производственный цикл и снизить нагрузку на природную среду.*

*Однако индивидуальное освоение запасов хвостохранилища будет всегда низко- или нерентабельно вследствие не очень большого количества производимых металлов, недостаточного для окупаемости эксплуатационных затрат и капитальных вложений в сколько-нибудь приемлемые сроки. Увеличение запасов металлов возможно за счет объединения в группу рудного месторождения, запасы которого осваиваются, и песков хвостохранилища, но так, чтобы прирост запасов опережал снижение их извлекаемой ценности.*

*Горно-техническая система разработки включает выемку песков из хвостохранилища → концентрирование песков вблизи хвостохранилища с применением мобильных установок и малозатратных гравитационных методов обогащения до продукта, качество которого сопоставимо с качеством первичной руды → транспорт гравикоцентра до стационарной обогатительной фабрики → совместная переработка шихты первичных руд и техногенного гравикоцентра по технологии стационарной фабрики.*

*Объектом исследования были пески Унальского хвостохранилища, образованные при переработке полиметаллических руд Садоно-Згидской группы месторождений на Мизурской фабрике (содержат 0,548 % цинка, 0,197 % свинца, 0,036 % меди, 8,01 % железа, 0,1–0,3 г/т золота).*

*Отличительной особенностью схемы выделения концентрата (тяжелой фракции) из песков хвостохранилища гравитационными методами обогащения является струйный принцип движения продуктов с использованием винтовых сепараторов, которые имеют преимущество перед отсадочными машинами. При обогащении шихты, составленной из техногенного гравикоцентра и первичной руды Джимидонского месторождения, применен процесс паровоздушной колонной флотации, обеспечивший повышение технологических показателей переработки.*

**Ключевые слова:** *минеральное сырье, полиметаллические руды, хвосты, хвостохранилище, обогащение, сепарация.*

Переработка руд предполагает, что после извлечения из минерального сырья ценных компонентов до 90–95 % горной массы в виде отходов производства будет направлено на складирование в специально построенное хранилище. На флотационных обогатительных фабриках потери металлов с хвостами переработки полиметаллических руд (в зависимости от того, насколько применяемая технология соответствует обогатимости руд) состав-



ляют, %: 7–11 свинца, 6–14 цинка, 5–7 меди, 23–27 серебра и 52–68 золота (величина потерь благородных металлов полностью зависит от полноты извлечения минералов цветных металлов и железа) [1, 2].

В условиях дефицита минеральных ресурсов и нарастающего экологического кризиса актуальным направлением повышения эффективности использования недр, сохранения больших земельных участков и экономии значительных средств, расходуемых на содержание хвостохранилищ, представляется создание безотходных технологий – схем рециклинга техногенного минерального сырья, позволяющих утилизировать отходы горно-обогатительного производства за счет их повторного вовлечения в полезный производственный цикл и тем самым снизить нагрузку на природную среду [3, 4] и получить дополнительный экономический эффект [5–8].

В статье приводятся результаты исследований технологии извлечения металлов из лежалых песков Унальского хвостохранилища. Хвостохранилище образовано в результате обогащения на ОАО «Мизурская обогатительная фабрика» по схеме прямой селективной флотации свинцово-цинковых руд Садоно-Згидской группы месторождений. Хвостохранилище (проектная мощность – 4 млн т, площадь землеотвода – 20 га) находится на террасе левого берега р. Ардон на расстоянии 7 км от МОФ и практически заполнено.

В настоящее время рудной базой МОФ служат полиметаллические руды Джимидонского месторождения.

По данным минералогических исследований пески Унальского хвостохранилища на 80–85 % состоят из породообразующих минералов с преобладанием кварца (до 65 %) крупностью от 0,07–0,08 мм, иногда до 0,4 мм; на долю пирита приходится до 10 % и более, остальных сульфидов (галенит, сфалерит, пирротин) – 5–10 %. Сульфиды представлены свободными минералами, сростками между собой и в меньших количествах с нерудными минералами. Средневзвешенное содержание полезных компонентов в опробованных хвостах следующее: 0,548 % цинка, 0,197 % свинца, 0,036 % меди, 8,01 % железа, 0,1–0,3 г/т золота.

При выходе класса крупности хвостов +0,20 мм 61,51 % в него распределяется 78,06 % свинца при содержании 0,25 %, а также 85,31 % цинка при содержании 0,76 %; в классе крупности –0,20 мм содержится 0,11 % свинца и 0,21 % цинка.

Для извлечения соединений меди, свинца, цинка и благородных металлов из класса крупности хвостов +0,20 мм в лабораторных условиях использована отсадочная машина типа МОД-0,2 (в операции основной и перечистой отсадки); тяжелую фракцию отсадки перечищали на концентрационных столах типа СКО-0,5 и СКЛ. Из класса крупности хвостов –0,20 мм тяжелую фракцию выделяли с использованием центробежного концентратора типа ИТОМАК-КН-0,1 и концентрационного стола 30АКЦ (рис. 1).

Отсадку хвостов проводили с искусственной постелью (металлическая дробь размером 5–7 мм) в следующем режиме работы машины: размахом колебаний диафрагм 9 мм, частотой колебаний диафрагм  $231 \text{ мин}^{-1}$ , высота постели 100 мм, удельная производительность –  $6,1 \text{ т}/(\text{ч}\cdot\text{м}^2)$ . При перечистке длина хода конусов – 6 мм, частота хода –  $330 \text{ мин}^{-1}$ , производительность уменьшали вдвое. Частота вращения ротора центробежного концентратора – 1250 об/мин, производительность по пульпе –  $0,27 \text{ м}^3/\text{ч}$ , содержание твердого в пульпе – 40 %, расход промывной воды –  $2 \text{ м}^3/\text{ч}$ , давление воды – 0,27 атм.

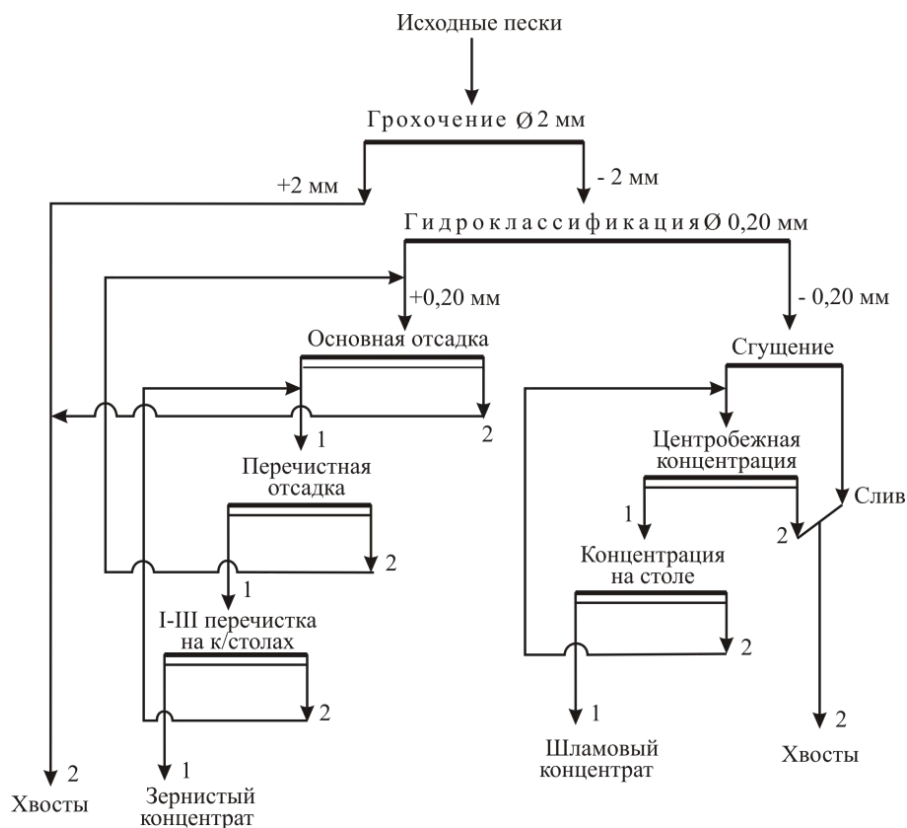


Рис. 1. Технологическая схема обогащения хвостов на основе отсадки и центробежной концентрации (1, 2 – концентрат и хвосты соответственно)

Извлечение свинца и цинка в сульфидную (тяжелую) фракцию составило около 60 %, меди ~50 %, железа – 20 %; большая часть золота и серебра (75-80 %) остается в легкой фракции гравитации (табл. 1).

Таблица 1

**Технологические показатели обогащения хвостов с использованием отсадки и центробежной концентрации**

Наименование продукта	Выход, %	Содержание, %						Извлечение, %					
		Cu	Pb	Zn	Fe	Au*	Ag*	Cu	Pb	Zn	Fe	Au	Ag
Сульфидный продукт	5,35	0,68	2,92	5,77	33,54	0,94	52,00	51,97	57,86	61,74	22,43	25,15	18,93
Хвосты вторичные	94,65	0,04	0,12	0,20	6,56	0,16	12,59	48,03	42,14	38,26	77,57	74,85	81,07
Исходные хвосты	100,0	0,07	0,27	0,50	8,00	0,20	14,70	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Au\*, Ag\* – г/т

Для повышения технологических показателей обогащения лежалых хвостов использована технологическая схема (рис. 2) на основе винтовой сепарации (для обогащения фракции хвостов крупностью +0,20 мм) и колонной флотации (для извлечения металлов из фракции хвостов крупностью -0,20 мм).

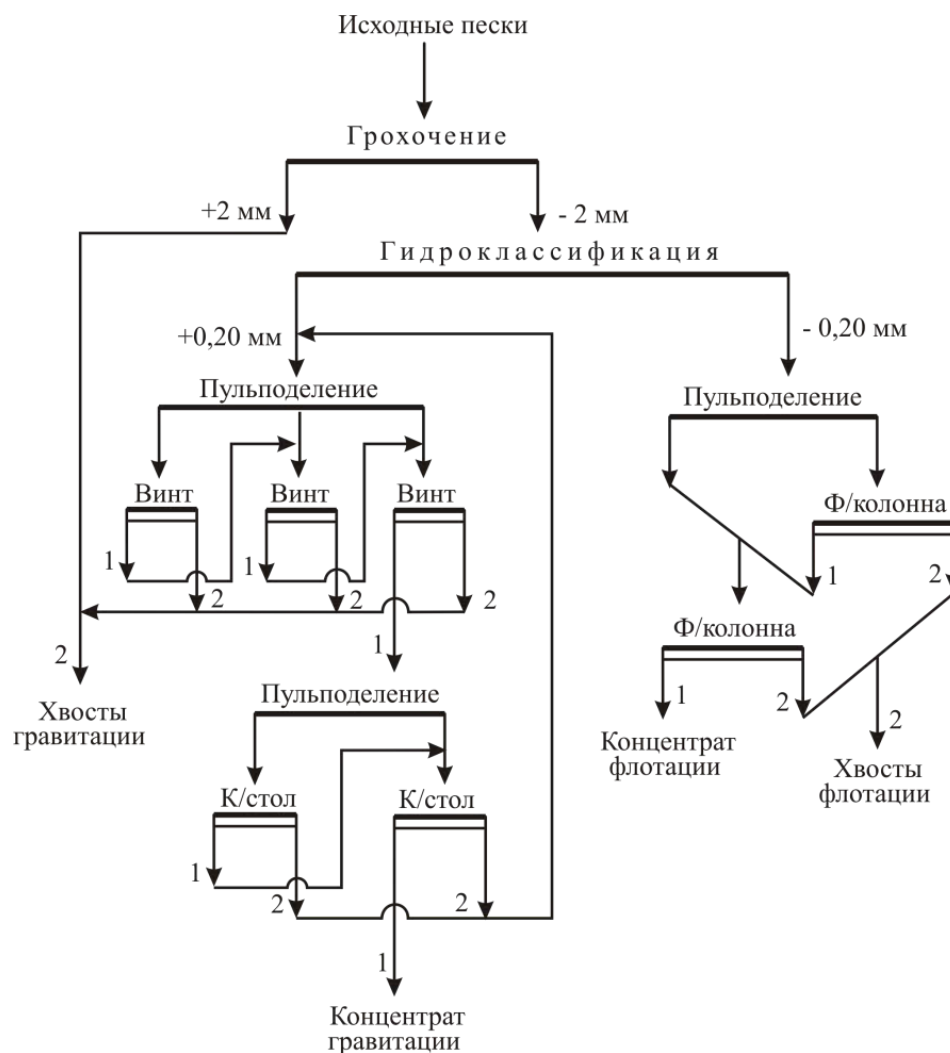


Рис. 2. Технологическая схема обогащения хвостов на основе винтовой сепарации и колонной флотации (1, 2 – концентрат и хвосты соответственно)

Опыты выполнены на винтовом сепараторе типа СВ-500 при производительности по твердому 0,46–0,50 т/ч, плотности питания 25 % твердого и расходе смывной воды 0,47–0,51 м<sup>3</sup>/ч. Тяжелую фракцию перечищали при длине хода деки концентрационного стола 10 мм, частоте хода деки – 330 мин<sup>-1</sup>, удельной производительности – 0,048 т/(ч·м<sup>2</sup>), угле поперечного наклона деки – 5°.

Отличительной особенностью конфигурации схемы является применение струйного принципа движения продуктов обогащения [9]: исходный поток пульпы делят на струи (на рис. 2 при винтовой сепарации – на три струи,

в цикле флотации – на две струи), смешивая концентрат предыдущей струи с исходным питанием последующей струи. При смешении исходного питания с выделенным из него концентратом образуется объект разделения, в котором, по сравнению с обычным направлением промежуточных продуктов в более ранние ступени разделения, повышение содержания извлекаемых частиц с однородными свойствами эквивалентно увеличению обогатимости смеси – возможности идеальным образом разделить минералы, т. е. тем выше извлечение и качество концентрата.

При обогащении хвостов (по схеме рис. 2) потери меди уменьшились с 48,03 до 44,82 %, свинца – с 42,14 до 39,16 %, цинка – с 38,26 до 33,67 % (табл. 2).

Таблица 2

**Технологические показатели обогащения хвостов с использованием винтовой сепарации и флотации**

Наименование продукта	Выход, %	Содержание, %						Извлечение, %					
		Cu	Pb	Zn	Fe	Au*	Ag*	Cu	Pb	Zn	Fe	Au	Ag
Сульфидный продукт	4,30	0,77	3,82	7,25	34,00	1,23	68,12	55,18	60,84	66,33	20,17	27,84	20,43
Хвосты вторичные	95,70	0,028	0,11	0,17	6,05	0,14	11,92	44,82	39,16	33,67	79,83	72,16	79,57
Исходные хвосты	100,0	0,06	0,27	0,47	7,25	0,19	14,34	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Au*, Ag* – г/т													

Снижение потерь металлов сопровождается ростом качества выделяемого из хвостов сульфидного продукта: содержание меди увеличилось на ~13 % отн., свинца – на ~30 % отн., цинка – на ~25 % отн. Прирост извлечения золота составил 2,69 % абс., серебра – 1,5 % абс.

При обогащении сульфидного продукта, выделенного из лежалых хвостов (по схеме и реагентному режиму Мизурской обогатительной фабрики), получен свинцовый концентрат марки КС-2, в который при выходе 0,22 % (от исходных хвостов) извлечено: 53,72 % Pb, 1,93 % Zn, 7,85 % Cu, 8,35 % Au, 4,29 % Ag и 0,42 % Fe; в цинковый концентрат марки КЦ-3 при выходе 0,545 % извлечено: 59,14 % Zn, 4,32 % Pb, 12,99 % Cu, 7,03 % Au, 5,85 % Ag и 1,00 % Fe.

Технологические показатели извлечения металлов из лежалых хвостов получены достаточно высокие. Однако из-за небольших (в сравнении с рудными месторождениями) масштабов запасов металлов (извлекаемой ценности) их переработка оказывается низкой или нерентабельной, требуется разработка специальных подходов увеличения их экономической привлекательности и вероятности вовлечения в эксплуатацию [10, 11].

Из результатов моделирования вовлечения в совместную эксплуатацию малых месторождений [12–14], расположенных в территориальной доступности

сти от обогатительной фабрики, следует, что их общая рентабельность становится существенно положительной по сравнению с их индивидуальным освоением за счет снижения суммарных капитальных, технологических и организационных затрат. Другим вариантом вовлечения в хозяйственный оборот техногенных отходов является переработка по технологии действующего производства шихты, составленной из выделенного из лежалых хвостов обогащенного продукта и руды. Минералогический состав сульфидного продукта гравитационного обогащения лежалых хвостов и руд Джимидонского месторождения позволяет перерабатывать их совместно.

Из руд Джимидонского месторождения ( $\alpha_{Pb} = 1,50\%$   $\alpha_{Zn} = 3,00\%$ ) в лабораторных условиях по схеме прямой селективной флотации получен свинцовый концентрат, в который при выходе 1,96 % и содержании свинца 61,70 % извлечено 80,62 % свинца; в цинковый концентрат извлечено 82,88 % цинка при выходе концентрата 5,03 % и содержании цинка 49,43 %.

Опыты по флотации шихты, составленной из руд Джимидонского месторождения и сульфидного продукта, проведены по схеме рис. 3.

После измельчения шихты (в присутствии соды – 68 г/т) до крупности 55–60 % класса – 74 мкм и подавления флотации минералов цинка (в агитацию (3 мин) – 20 г/т перманганата калия и 200 г/т цинкового купороса) из нее извлекали минералы свинца смесью бутилового ксантогената калия (9 г/т), бутилового аэрофлота (5 г/т) и Т-89 (20 г/т) по схеме, включающей операцию основной флотации, две контрольные и три перечистки черного свинцового концентрата (в I перечистку подавали 200 г/т диметилдитиокарбамата, в I контрольную – 100 г/т  $ZnSO_4$ , 20 г/т  $KMnO_4$ , 4 г/т ксантогената и 10 г/т Т-80); промпродукты возвращали в предыдущие операции флотации. Для повышения извлечения окисленных форм минералов свинца подавали 50 г/т  $Na_2S$ . Минералы цинка извлекали из хвостов свинцового цикла флотации бутиловым ксантогенатом калия (20 г/т в основную флотацию и 5 г/т – в I контрольную) и Т-80 (20 г/т) после активации медным купоросом (350 г/т) в известковой среде (2,5 кг/т  $CaO$ ). Структура цинкового цикла флотации аналогична свинцовому. После операции II контрольной флотации хвосты считали отвальными.

Во II струе флотации использовали противоточную флотационную колонну, в которую (через вынесенный пневматический эжектор конфузори-диффузорного типа, расположенный сбоку в донной части колонны) в качестве газовой фазы подавали смесь воздуха с горячим (104 °С) водяным паром [15, 16].

При аэрации холодной жидкости паровоздушной смесью за счет фазовых переходов пар–жидкость пузырек совершает затухающие колебания [17, 18]: за счет конденсации пара размер пузырька уменьшается и теплообмен между фазами ухудшается, что приводит к перегреву и росту давления пара, которое сопровождается увеличением пузырька до размера, при котором испарение вновь сменяется конденсацией пара, и волновой процесс повторяется. В предельных состояниях эволюции пузырька значения чисел Вебера и Бонда свидетельствуют о возможности фрагментации пузырька на более мелкие. Добавление вибрации и уменьшение размера пузырька приводит к увеличению извлечения минералов за счет роста сечения столкновения радиусом  $l_1$  до сечения 2 радиусом  $l_2$  [19–21] (рис. 4а).

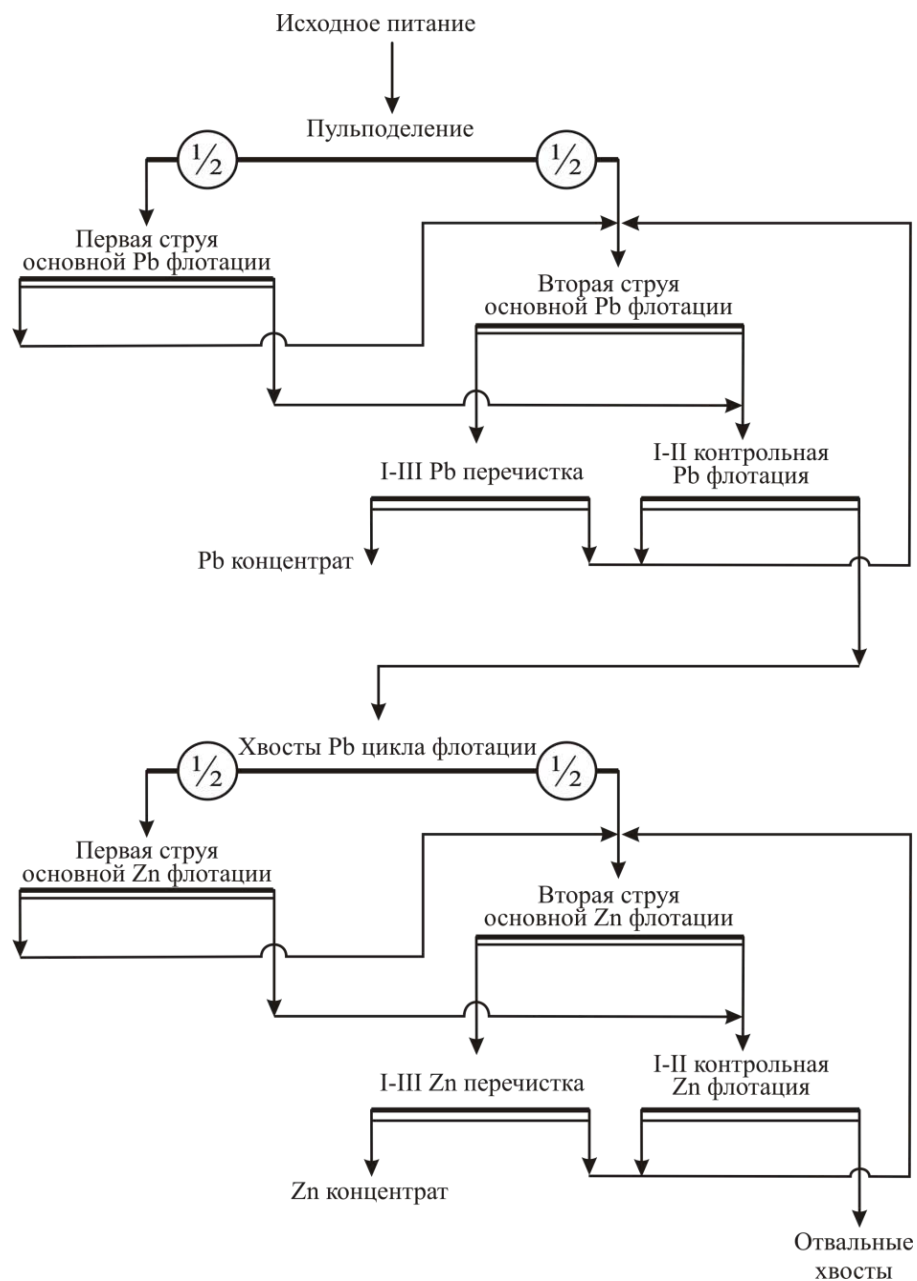


Рис. 3. Технологическая схема флотации шихты, составленной из руд Джимидонского месторождения и сульфидного продукта, выделенного из лежалых хвостов

Непрерывно протекающие деформации растяжения и сжатия поверхности пузырька вызывают диффузионные потоки из объема к расширяющимся участкам и от сокращающихся – в объем. При перемещении частицы вдоль верхней полусферы пузырька воздуха (рис. 4б–г) значения адсорбции на периферии  $\Gamma(a, t)$  и в центре межфазной пленки  $\Gamma(0, t)$  изменяются так, что

поверхностное натяжение на периферии неизбежно оказывается ниже, чем в центре пленки:

$$\Gamma(a, t) = \Gamma[\theta(t)] > \Gamma(0, t) = \Gamma(\theta_1), \quad (1)$$

что препятствует утоньшению пленки между частицей и пузырьком до толщины  $h_{lim}$ , при которых наступает прилипание частицы к пузырьку с образованием краевого угла смачивания. Этот аналог эффекта Марангони–Гиббса [22] является важным фактором в повышении селективности прилипания при флотации паровоздушной смесью.

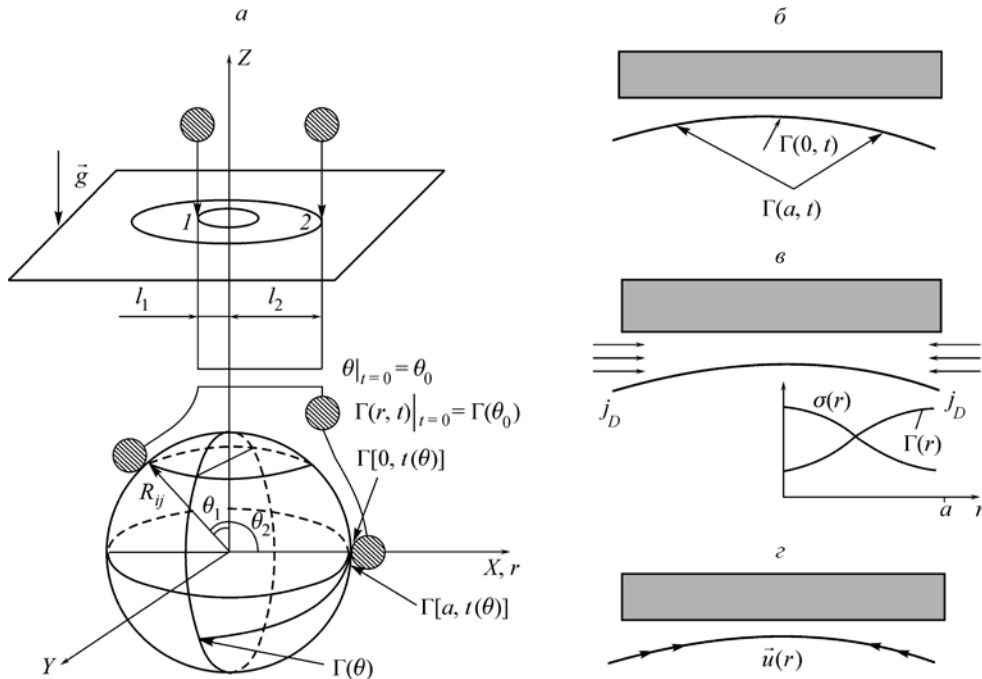


Рис. 4. Схема механизма стабилизации межфазной пленки поверхностными течениями жидкости под действием градиента поверхностного натяжения: а – схема соударения частицы с пузырьком из сечений столкновения 1 и 2; б – значения адсорбции в центре межфазной пленки  $\Gamma(0, t)$  и на ее периферии  $\Gamma(a, t)$ ; в – связь адсорбции и поверхностного натяжения в межфазной пленке; г – направление поверхностных течений жидкости в межфазном зазоре под действием перепада адсорбции и градиента поверхностного натяжения [22]

Результаты флотации шихты со струйным движением исходного питания и черного концентрата (рис. 3) и использования во второй струе флотации технологии аэрозольной колонной флотации в условиях, моделирующих замкнутый цикл процесса, приведены в табл. 3.

Полученные технологические показатели (табл. 3) позволяют сделать вывод о возможности переработки лежалых хвостов по схеме: гравитационное обогащение песков рядом с хвостохранилищем (для снижения транспортных затрат на перевозку) → подшихтовка тяжелой фракции гравитационного обогащения песков к руде текущей добычи (в соотношении 1:9) → флотационное

обогащение шихты по схеме прямой селективной флотации (по безцианидному режиму) в условиях действующей обогатительной фабрики.

Таблица 3

**Результаты флотации в опыте, проведенном по принципу непрерывного процесса**

Наименование продукта	Выход, %	Содержание, %						Извлечение, %					
		Cu	Pb	Zn	Fe	Au*	Ag*	Cu	Pb	Zn	Fe	Au	Ag
свинцово-цинковый концентрат	2,04	1,70	65,14	3,80	12,00	5,60	300,14	6,54	85,18	2,41	2,37	20,77	20,89
Zn концентрат	5,65	1,00	2,00	50,07	8,44	1,50	90,77	10,66	7,24	87,86	4,62	15,41	17,50
Хвосты	92,31	0,48	0,13	0,34	10,41	0,38	19,56	82,80	7,58	9,73	93,01	63,82	61,61
Исходное сырье,	100,0	0,53	1,56	3,22	10,33	0,55	29,31						
в т.ч. руда	90,0	0,50	1,37	2,77	7,70	0,47	25,00						
сульфидный продукт	10,0	0,77	3,22	7,25	34,00	1,23	68,12						
Au*, Ag* – г/т													

Статья подготовлена по результатам работы, полученным в ходе выполнения Соглашения о предоставлении субсидии № 14.577.21.0142 от 28.11.2014 г. Уникальный идентификатор прикладных научных исследований и экспериментальных разработок (проекта) RFMEFI57714X0142.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Чантурия В. А. Перспективы устойчивого развития горно-перерабатывающей индустрии России // Горный журнал. 2007. № 2. С. 2–9.
2. Kelso Jody, Cincilla Williama, Malhotra Deepak. Opportunities and challenges for mineral waste reprocessing in North America // Mining Environmental Management. 2006. Oct., P. 8–19.
3. Kashinath Pal, Harsha Vardhan, Mangalpady Aruna. Investigation of contaminant transport in groundwater from the tailings pond of uranium mine: a case study // International Journal of Mining and Mineral Engineering. 2010. Vol. 2. No. 4. P. 290–309.
4. Poling G. W. Mining/milling processes and tailings generation // Marine Georesources & Geotechnology. 1995. Vol. 13 (1–2). P. 19–31.
5. Nam K. S., Jung B. H., An J. W., Ha T. J., Tran T., Kim M. J. Use of chloride-hypochlorite leachants to recover gold from tailings // International Journal of Mineral Processing. 2008. Issues 1–4. Vol. 86. P. 131–140.
6. Valderrama L., Rubio J. Unconventional column flotation of low-grade gold fine particles from tailings // International Journal of Mineral Processing. 2008. Issues 1–4. Vol. 86. P. 75–84.



7. Кудрявский Ю. П., Черный С. А. Эколого-экономический критерий эффективности технологий переработки производственных отходов в цветной металлургии // Цветные металлы. 2008. № 4. С. 8–11.
8. Евдокимов С. И., Евдокимов В. С. Извлечение металлов из лежалых хвостов с целью утилизации // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2014. № 4. С. 172–182.
9. Евдокимов С. И., Панышин А. М., Артемов С. В. Теория и метод добычи золота предприятиями небольшой производственной мощности // Устойчивое развитие горных территорий. 2010. № 1 (3). С. 83–73.
10. Евдокимов С. И. Совершенствование технологических схем отсадки и концентрации на столах при обогащении золотосодержащего сырья // Горный журнал. 2013. № 12. С. 59–63.
11. Фролов О. М. Малые горные предприятия в системе горнодобывающей промышленности: Автореферат дисс. ... канд. экономических наук. Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный университет экономики и финансов, 2004. 19 с.
12. Самсонов Н. Ю., Ягольницер М. А. Групповая разработка малых золоторудных месторождений. Новосибирск: Институт экономики и организации промышленного производства СО РАН, 2012. 240 с.
13. Рейшахрит Е. И., Кабиров В. Р. Новые подходы к оценке экономической эффективности разработки группы месторождений металлических полезных ископаемых // Корпоративное управление и инновационное развитие экономики Севера. 2014. № 2. С. 15–26. Электронный научный журнал. Режим доступа: [www.vestnik-ku.ru](http://www.vestnik-ku.ru)
14. Пешков А. А., Мацко Н. А. Возможные подходы к оценке доступности минерально-сырьевых ресурсов // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2004. №4. С. 35–44.
15. Пешков А. М. Обоснование требований к качеству руд и техногенного сырья при комплексном освоении медно-колчеданных месторождений Урала: Дисс. ... к. т. н. Москва, ИПКОН РАН, 2014. 160 с.
16. Евдокимов С. И., Дациев М. С., Подковыров И. Ю. Разработка новой схемы и способа флотации руд Олимпиадинского месторождения // Изв. вузов. Цветная металлургия. 2014. № 1. С. 3–11.
17. Дациев М. С., Подковыров И. Ю. Новые горные технологии: теория и практическое применение // Устойчивое развитие горных территорий. 2012. № 1–2. С. 22–29.
18. Петушков В. А., Мельситов А. Н. Двухфазное парожидкостное течение в переходных режимах // Математическое моделирование. 2003. Т. 15. № 10. С. 109–128.
19. Мельситов А. Н., Петушков В. А. Локальные волновые процессы в жидкости, вызванные предельными переходами изолированного пузырька пара // Математическое моделирование. 2003. Т. 15. № 11. С. 51–68.
20. Клименко Л. С. Генерация течения и поведение частицы около пузырька в колеблющейся жидкости: Автореф. дисс. ... канд. физ.-мат. наук. Пермь: ФГБОУ ВПО «Пермский государственный национальный исследовательский университет», 2011. 15 с.

21. *Martin Hubiřka, Pavlina Basarova, Jiri Vejrazka*. Collision of a small rising bubble with a large falling particle // *International Journal of Mineral Processing*. Vol. 121, 10 June 2013. P. 21–30.

22. *Gijsbert Wierink, Kari Heiskanen*. Modelling bubble-particle interaction with dynamic surface tension // *Minerals Engineering*. Vol. 23, Issues 11–13, October 2010, P. 973–978.

23. *Духин С. С.* Динамический адсорбционный слой и эффект Марангони–Гиббса / Современная теория капиллярности: К 100-летию теории капиллярности Гиббса / Под ред. проф. А. И. Русанова (СССР) и проф. Ф. Ч. Гудрича (США). Л.: Химия, 1980. С. 126–162.

*Evdokimov S. I.; Maksimov R. N., Evdokimov V. S.*

### **INTRODUCTION TO THE ECONOMIC TURNOVER OF SMALL-SCALE ANTHROPOGENIC LEAD AND ZINC IS ANALYZED**

*Despite the fact that the total damage from pollution, which produces the industry, estimated at 15 % of GDP, the value accumulated in these metals is about 620 million. USA. Extraction of metals from anthropogenic objects will allow to involve them useful in the production cycle and reduce the burden on the natural environment.*

*However, the individual development of resources in the tailings will always be low or unprofitable because of the very large number of produced of metal, not sufficient for cost recovery of operating costs and capital investments in any reasonable time. The increase in stocks of metals is possible by combining the group of ore deposits which are familiar, and Sands tailings, but so that growth stocks outpaced the decline in their recoverable value. Mining development system includes the dredging of sand from a tailings→concentration Sands near the tailings with the use of mobile units and low-cost gravity concentration methods to product whose quality is comparable to the quality of primary ore transport of gravity concentrate to the stationary concentrator→co-processing charge of primary ores and industrial gravity concentrate technology stationary factory.*

*The object of the study were Sands Analsaga tailings formed during the processing of polymetallic ores Sedona-Zgidskoye group of fields on Mizunskoy factory (contain 0,548 % zinc, 0,197 % lead, being 0.036% copper, 8,01 % of iron, 0.1-0.3 g/t gold).*

*A distinctive feature of the scheme of allocation of the gravity concentrate from the Sands tailings pond jet is the principle of movement of products with the use of spiral separators, which have the advantage of jigging machines. When the enrichment of the mixture composed of man-made gravity concentrate and primary ore of Dzhimidonskoe field applied process vapor column flotation, raise the technological parameters of processing.*



УДК 621.314.58:62.357

Студент ДЗУЛАЕВ Т. Б.,  
студент КАБЫШЕВ О. А.,  
канд. техн. наук, доцент КАБЫШЕВ А. М.

### РАЗРАБОТКА АВТОНОМНОГО ИНВЕРТОРА НАПРЯЖЕНИЯ

В статье рассмотрены основные принципы построения схем автономных инверторов напряжения. Разработана схема преобразователя постоянного напряжения в переменное. Выполнен компьютерный анализ и оптимизация схемы инвертора.

**Ключевые слова:** инвертор, преобразователь напряжения, транзисторный ключ, система управления, временная диаграмма, гармонический состав, компьютерное моделирование.

Автономный инвертор напряжения (АИН) служит для преобразования постоянного напряжения в переменное. АИН является основным звеном таких устройств как системы резервного электропитания, преобразователи частоты, высоковольтные источники постоянного и переменного напряжения. Основу любой современной схемы АИН составляют полностью управляемые электронные ключи [1]. Существующая элементная база дает возможность в качестве электронных ключей использовать полевые (MOSFET), биполярные или IGBT транзисторы, представляющие собой комбинацию полевого и биполярного транзистора. Применение MOSFET или IGBT транзисторов позволяет разрабатывать схемы с хорошими энергетическими характеристиками, что обусловлено малыми величинами токов, протекающих в цепях управления транзисторов, при этом упрощается реализация системы управления.

На рис. 1 показана структурная схема системы электропитания, построенной на основе АИН.

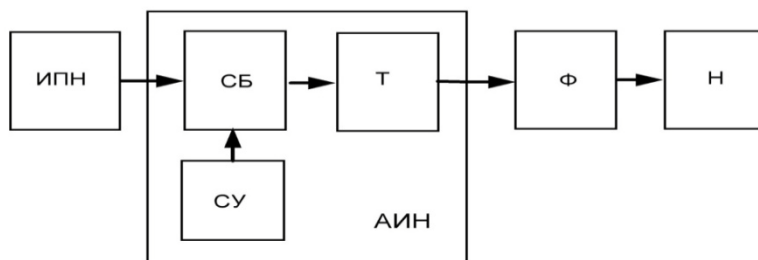


Рис. 1. Структурная схема системы электропитания

На рисунке приняты следующие обозначения:  
ИПН – источник постоянного напряжения;

СБ – силовой блок (блок силовых транзисторных ключей);  
Т – трансформатор;  
Ф – фильтр;  
Н – нагрузка (потребитель электроэнергии);  
СУ – система управления.

Источником электроэнергии в схеме служит блок ИПН, его функции могут выполнять гальванические элементы или аккумуляторные батареи, а для систем, в которых первичным источником электроэнергии является сеть переменного напряжения, в состав ИПН должен входить выпрямитель и сглаживающий фильтр. Основным элементом системы является АИН, который служит для преобразования постоянного напряжения, генерируемого ИПН в переменное напряжение, необходимое для работы потребителя электроэнергии (Н). Величина переменного напряжения и его гармонический состав в значительной степени зависят от системы управления (СУ), которая задает алгоритм управления электронными ключами, входящими в состав силового блока (СБ). Фильтр (Ф) является не обязательным элементом системы и используется только при необходимости улучшения качества выходного напряжения инвертора. Формировать напряжение на выходе АИН можно на основе одного из следующих алгоритмов управления силовыми ключами: алгоритм широтно-импульсной модуляции (ШИМ); алгоритм амплитудно-импульсной модуляции (АИМ); алгоритм широтно-импульсного преобразования (ШИП).

Алгоритм ШИМ применяется для улучшения гармонического состава выходного напряжения АИН, при этом требуется обеспечить высокочастотное переключение силовых ключей инвертора, что вызывает электромагнитные помехи и приводит к коммутационным потерям энергии в силовых ключах.

Применение АИМ требует усложнения силовой схемы АИН, это ухудшает массогабаритные показатели системы электропитания.

Наиболее простое схемотехническое решение имеет реализация алгоритма ШИП, при этом частота переключения силовых ключей инвертора соответствует частоте выходного напряжения. Недостатком этого алгоритма управления является отличие формы выходного напряжения АИН от синусоидальной формы, что может быть недопустимым для таких прецизионных потребителей электроэнергии как, например, измерительная аппаратура и сервопривод. Для улучшения гармонического состава выходного напряжения может быть применен фильтр (Ф). Таким образом, при разработке АИН необходимо искать компромисс между массогабаритными, энергетическими и эксплуатационными параметрами схемы.

Была разработана принципиальная схема системы электропитания на основе АИН, в которой реализован алгоритм широтно-импульсного преобразования. Для оптимизации параметров схемы и анализа протекающих электромагнитных процессов выполнено компьютерное моделирование в среде программного продукта Orcad.

На рис. 2 показана компьютерная модель схемы АИН. В качестве источника постоянного напряжения используется аккумуляторная батарея V1. АИН преобразует постоянное напряжение 24 В в переменное напряжение 220 В. Номинальная мощность преобразователя 1 кВА.

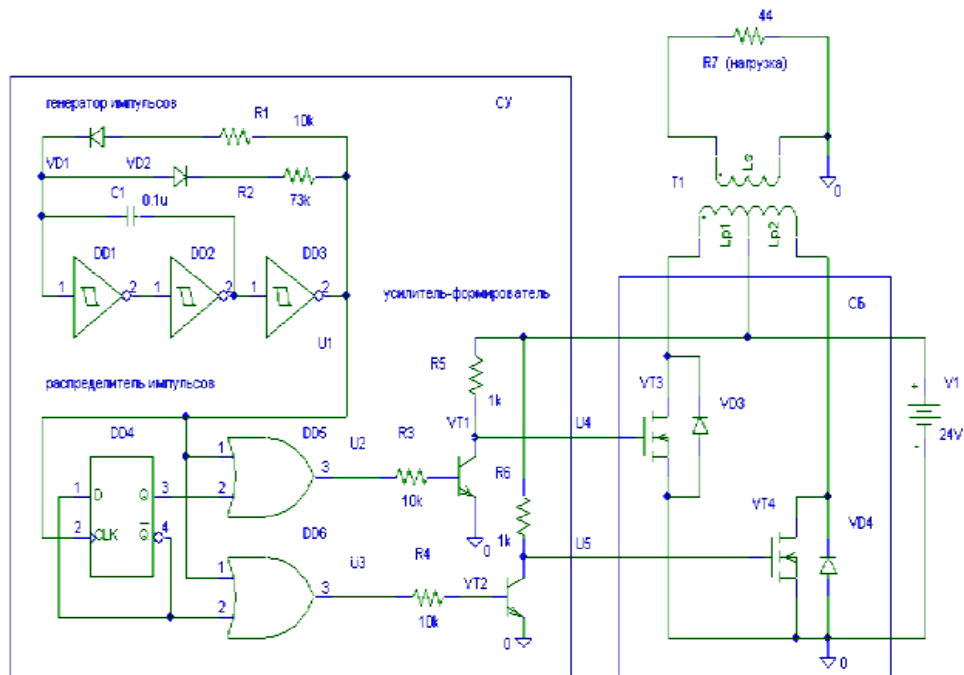


Рис. 2. Компьютерная модель принципиальной схемы АИН

Схема выполнена на основе двух блоков СУ и СБ. В состав силового блока (СБ) входят транзисторные ключи VT3, VT4 и диоды VD3, VD4. К силовому блоку подключаются внешние элементы, такие как трансформатор T1 и источник первичного электропитания V1 (аккумуляторная батарея). Наличие в схеме диодов VD3, VD4 обеспечивает протекание в схеме тока, обусловленного энергией, накопленной в индуктивности рассеяния трансформатора T1, при этом диоды шунтируют силовые транзисторы VT3, VT4, защищая их от пробоя высоким напряжением, возникающим в моменты коммутации. Для эффективной защиты транзисторов диоды должны обладать высоким быстродействием.

В состав блока СУ входят генератор импульсов, распределитель импульсов и усилитель-формирователь. Генератор импульсов выполнен на основе логических элементов «НЕ» (DD1, DD2, DD3). Диоды VD1, VD2, резисторы R1, R2 и конденсатор C1 образуют времязадающую цепь генератора. На рис. 3 показана временная диаграмма сигнала, формируемого на выходе генератора (сигнал U1).

Длительности временных интервалов  $t_1$ ,  $t_2$ , сигнала U1, задаются параметрами элементов C1, R2, R1 и определяются по формулам:

$$t_1 = 1,4 \cdot C_1 \cdot R_2; \quad t_2 = 1,4 \cdot C_1 \cdot R_1.$$

Сигнал U1 поступает на счетный вход триггера DD4 и на входы логических элементов «ИЛИ» (DD5, DD6). Триггер и элементы «ИЛИ» образуют схему распределителя импульсов. Форма импульсов генератора и схемное решение распределителя обусловлены необходимостью обеспечить так называемое «мертвое время», в течение которого транзисторы блока СБ должны

быть закрыты, что предотвращает протекание в силовой схеме аварийных сквозных токов. Это время зависит от длительности интервала  $t_2$ , в течение которого транзисторы восстанавливают свои вентиляльные свойства. Длительность этого интервала также влияет на гармонический состав выходного напряжения инвертора.

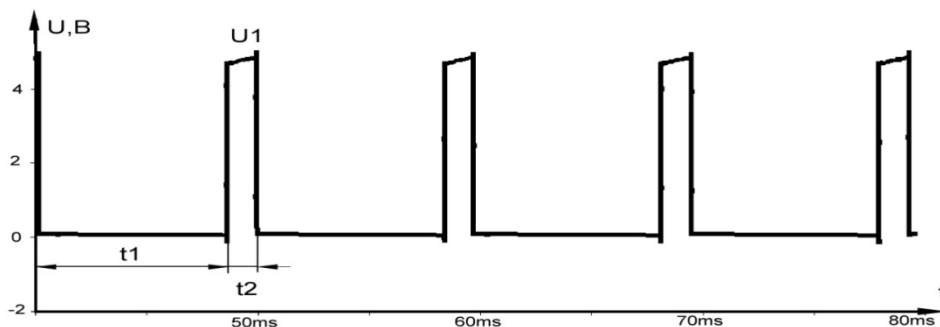


Рис. 3. Временная диаграмма сигнала  $U_1$

На рис. 4 показана временная диаграмма сигналов  $U_2$ ,  $U_3$ , формируемых на выходе распределителя импульсов.

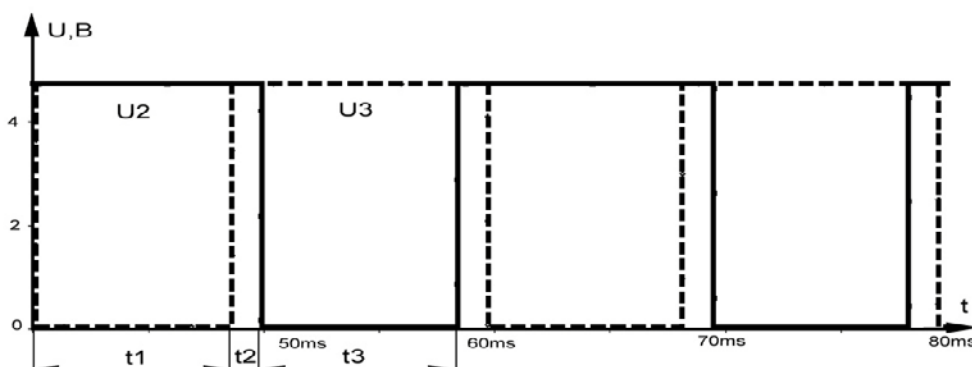


Рис. 4. Временная диаграмма сигналов  $U_2$  (сплошная линия),  $U_3$  (штриховая линия)

Видно, что в течение интервала времени  $t_2$  одновременно присутствуют высокие уровни сигналов  $U_2$  и  $U_3$ . В течение интервалов  $t_1$ ,  $t_3$  соответственно сигналы  $U_3$ ,  $U_2$  находятся в состоянии низкого уровня. Высокий уровень этих сигналов открывает, а низкий уровень закрывает транзисторы  $VT_1$ ,  $VT_2$ , входящие в состав усилителя-формирователя, что подтверждается временной диаграммой сигналов  $U_4$ ,  $U_5$ , приведенной на рис. 5.

Применение в схеме СУ усилителя-формирователя (транзисторы  $VT_1$ ,  $VT_2$ ) расширяет ее возможности и позволяет использовать в блоке СБ силовые ключи любого типа. Сигналы  $U_4$ ,  $U_5$  формируются на коллекторах транзисторов  $VT_1$ ,  $VT_2$ . В течение интервала времени  $t_2$  транзисторы  $VT_1$ ,  $VT_2$  открыты. На интервале  $t_1$  транзистор  $VT_1$  закрыт, а  $VT_2$  открыт. На интервале времени  $t_3$  открыт транзистор  $VT_1$  и закрыт транзистор  $VT_2$ . Закрытому состоянию транзисторов  $VT_1$ ,  $VT_2$  соответствует открытое состояние транзисторов  $VT_3$ ,  $VT_4$ , входящих в состав силового блока. Переключение транзисторов  $VT_3$   $VT_4$  из открытого состояния в закрытое и, наоборот, приводит

к формированию на нагрузке автономного инвертора (функции нагрузки выполняет резистор R7) переменного напряжения, временная диаграмма которого показана на рис. 6.

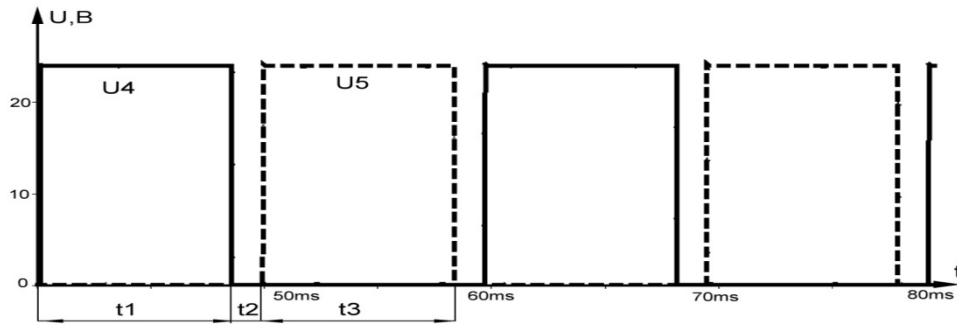


Рис. 5. Временная диаграмма сигналов U4 (сплошная линия), U5 (штриховая линия)

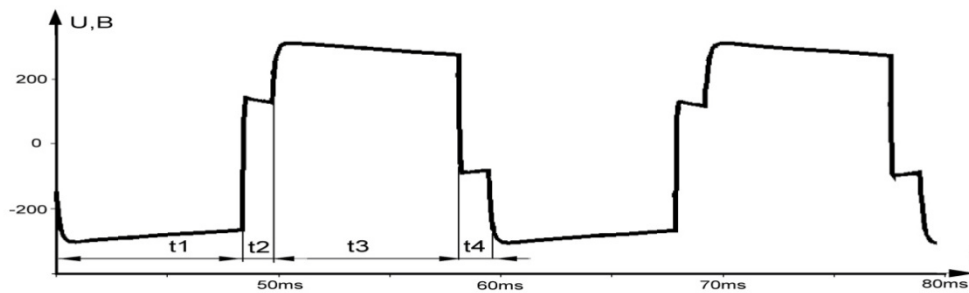


Рис. 6. Временная диаграмма напряжения на нагрузке

На интервалах времени  $t_2$ ,  $t_4$  силовые транзисторы VT3, VT4 закрыты, работают диоды VD3, VD4 и накопленная в индуктивности обмоток трансформатора энергия сбрасывается в аккумулятор V1.

Гармонический анализ выходного напряжения автономного инвертора показал наличие (кроме основной гармоники F1, имеющей частоту 50 Гц) высших гармоник, из которых наибольшие амплитуды имеют нечетные гармоники: F3, F5, F7. На рис.7 приведен гармонический состав выходного напряжения АИН.

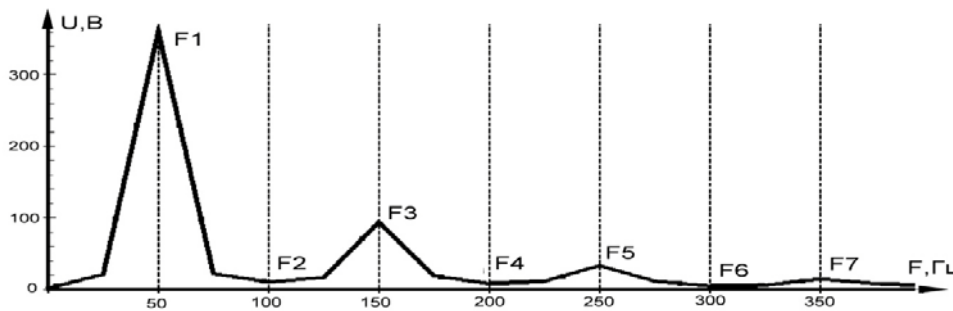


Рис. 7. Гармонический состав выходного напряжения инвертора

Высшие гармоники искажают форму выходного напряжения инвертора, при этом значительное влияние оказывает гармоника, имеющая наибольшую амплитуду (гармоника F3). Устранить высшие гармоники можно с помощью фильтра.

На рис. 8 показана модель системы электропитания, в которой между АИН и нагрузкой включен фильтр, выполненный на основе элементов L1, C2.

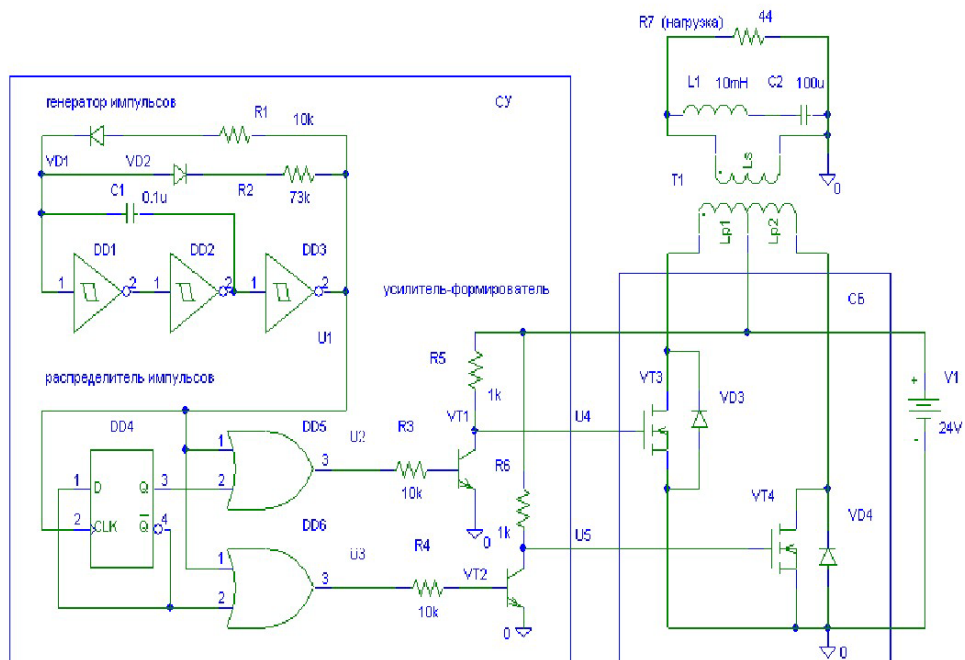


Рис.8. Компьютерная модель системы электропитания с фильтром L1, C2

Элементы фильтра настроены в резонанс на частоту 150 Гц (гармоника F3), то есть должно выполняться равенство:

$$2 \cdot \pi \cdot f \cdot L1 = 1 / (2 \cdot \pi \cdot f \cdot C2),$$

где  $f$  – частота гармоники F3.

Это приводит к тому, что электрическая цепь, образованная последовательным включением элементов L1, C2, для тока гармоники F3 имеет омическое сопротивление, равно е нулю, и не пропускает это т то к в нагр узку. Улучшается гармонический состав напряжения на выходе инвертора, форма напряжения приближается к синусоидальной.

Диаграмма выходного напряжения АИН при использовании фильтра показана на рис. 9.

Разложение выходного напряжения инвертора в ряд Фурье позволяет определить его гармонический состав (рис. 10).

Видно, что произошло значительное уменьшение не только амплитуды гармоники F3, но и амплитуды гармоники F5. На амплитуду основной гармоники F1 и амплитуду высшей гармоники F7 фильтр влияние не оказывает.



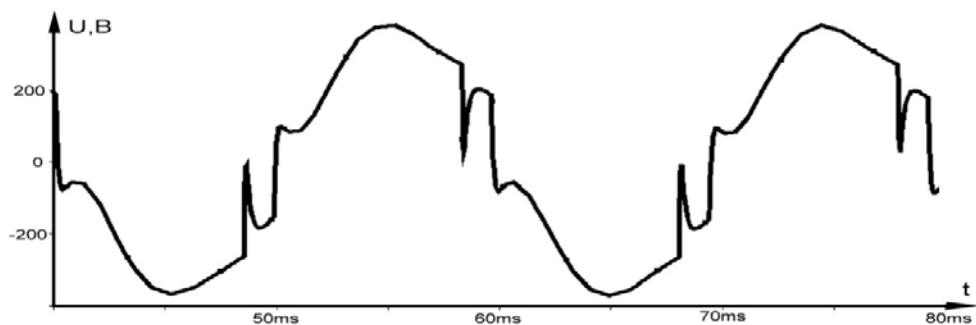


Рис. 9. Диаграмма выходного напряжения при использовании фильтра

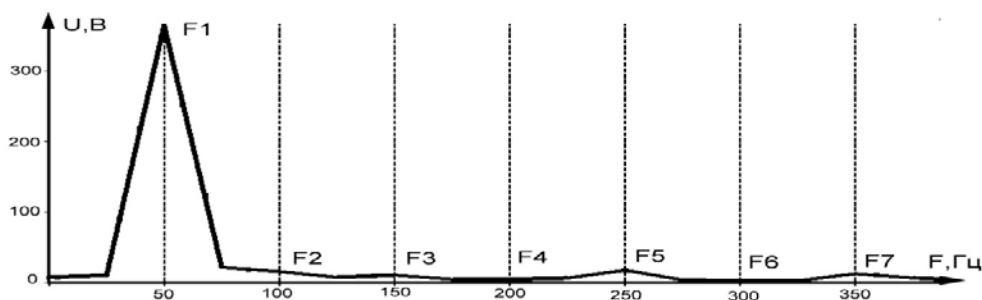


Рис. 10. Гармонический состав выходного напряжения инвертора (при использовании фильтра)

Рассмотренная схема АИН предназначена для использования в системе резервного электропитания. Компьютерное моделирование заменяет натурное макетирование и выполнено не только для подтверждения работоспособности схемы, но также позволило провести исследование электромагнитных процессов, протекающих в инверторе, и оптимизировать параметры его элементов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Мелешин В. И. Транзисторная преобразовательная техника. М.: Техносфера, 2005. 632 с.

*Dzulaev T. B., Kabyshev O. A., Kabyshev A. M.*

#### THE DEVELOPMENT OF AUTONOMOUS VOLTAGE INVERTER

*This article describes the basic principles of a voltage inverter. The inverter DC in AC is developed. Computer modeling and optimization of elements of the scheme is executed.*

*Key words: inverter, voltage converter, transistor switch, control system, a timing diagram, harmonic composition, computer simulation.*

#### REFERENCES

1. *Meleshin V. I.* Transistor converters. M.: Technosphere, 2005. 632 p.

*Д-р техн. наук, профессор ГОНЧАРОВ И. Н.,  
студент МАЛДЗИГАТИ А. И.,  
канд. техн. наук, доцент КОДЗАСОВА Т. Л.*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ И АНАЛИЗ МЕТОДОВ УВЕЛИЧЕНИЯ ЯРКОСТИ ЭЛЕКТРОЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ ПАНЕЛЕЙ**

*Рассматриваются результаты исследований различных способов увеличения яркости электролюминесцентных панелей, в частности, путем получения и применения высокоэффективных диэлектрических связующих в составе люминофорных суспензий. Проведенные в рамках данной работы исследования и анализ соответствующих результатов помогут поднять уровень качества разрабатываемой и изготавливаемой светящейся продукции, в частности значение яркости было увеличено со 100 кд/м<sup>2</sup> до 200 кд/м<sup>2</sup>.*

**Ключевые слова:** электролюминесцентная панель, кристалл, яркость, временной ресурс, диэлектрик, диэлектрическая проницаемость, шелкография, полимеры.

### **Электролюминесцентные панели, электролюминофоры, диэлектрическое связующее, напряженность электрического поля, относительная диэлектрическая проницаемость**

Электролюминесцентная панель (ЭЛП) – это твердотельный источник оптического излучения, работа которого основана на эффекте предпробойной электролюминесценции, наблюдаемой в кристаллах электролюминофоров.

Важнейшие требования, предъявляемые к ЭЛП и определяющие их потребительские свойства, таковы:

- яркость свечения;
- временной ресурс работы;
- экономичность;
- низкая цена.

Комплексное решение данных задач позволит значительно расширить круг потребителей продукции.

Важно добиться распространения ЭЛП на бытовой рынок освещения, расширить использование панелей, как источников подсветки в стационарных и переносных приборах, источниках освещения в салонах и отсеках автомобильного, железнодорожного и авиатранспорта.

Наиболее серьезные требования предъявляются к яркости излучения. Необходимо добиваться, чтобы значение данного параметра достигало не менее 200–300 кд/м<sup>2</sup>. При этом, характеристики питающего напряжения должны быть приемлемыми с точки зрения коммутации и обеспечения долговечности функционирования. Так, например, рабочее напряжение не должно превышать 150–200 В, а частота питающего переменного напряжения соответствовать значению  $\gamma = 900\text{--}1000$  Гц. Причем, в зависимости от ситуации, необходимо обеспечивать определенный спектральный состав излуче-

ния. Очевидно, что для большинства случаев требуется излучение, близкое по спектру к дневному, т. е., так называемый «белый свет».

Опыт показывает, что для обеспечения высокого уровня яркости излучения ЭЛП необходимы следующие мероприятия:

- поиск эффективного люминофора;
- приготовление эффективного связующего диэлектрика;
- поиск состава суспензии люминофора.

Самым очевидным способом увеличения яркости ЭЛП является повышение подаваемых на электроды напряжения и частоты. Однако это не удобно с точки зрения коммутации и обеспечения питания ЭЛП, а также не способствует долговечности.

Еще одним методом достижения высокой яркости является увеличение концентрации электрического поля, возникающего в рабочих слоях электролюминесцентной панели, непосредственно на кристаллах электролюминофора (рис. 1). Переменное электрическое поле формируется в люминесцентном слое непосредственно при подаче напряжения питания на электроды. Выполнение данного условия обеспечит максимум светоотдачи [1].

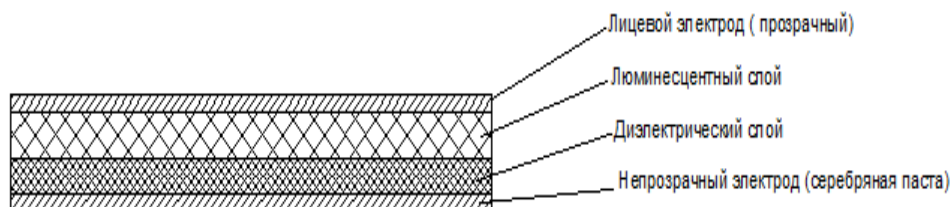


Рис. 1. Конструкция электролюминесцентной панели

В этой связи важна роль связующего диэлектрика. Кроме выполнения функции скрепления частиц фосфора, защиты их от электрического пробоя и воздействия внешней среды, он формирует внутреннее поле, ионизирующее кристаллы. Напряженность внутреннего электрического поля  $E_{вн}$  можно рассчитать, воспользовавшись данной формулой:

$$E_{вн} = E_{ср} \frac{3\varepsilon_d}{\varepsilon_{эл} + 2\varepsilon_d - \chi(\varepsilon_{эл} + \varepsilon_d)},$$

где  $E_{ср}$  – средняя напряженность поля в слое в целом, В/м;

$\varepsilon_d$  – относительная диэлектрическая проницаемость связующего;

$\varepsilon_{эл}$  – относительная диэлектрическая проницаемость зерен электролюминофора;

$\chi$  – доля объема, занятого фосфором.

Из приведенного уравнения можно сделать вывод, заключающийся в том, что рост  $E_{вн}$  в максимальной степени определяется значением  $\varepsilon_d$ , причем зависимость сонаправленная.

В соответствии с этим осуществлялся выбор вещества для диэлектрического связующего. Рассматривались следующие составы: связующие собственной разработки на основе цианэтилового эфира поливинилового спирта (ЦЭПС) и эпоксидной смолы ЭД-22, а также приобретенное связующее китайского производства.

Наибольшая диэлектрическая проницаемость, характерная для данных веществ, у ЦЭПС, ее значение достигает  $\epsilon_d = 20$ , а наименьшая у ФСТ (связующее на основе эпоксидной смолы ЭД-22), его  $\epsilon_d = 5 \sim 6$ . У связующего китайского производства  $\epsilon_d = 12$ .

Для дополнительного повышения  $\epsilon_d$  было принято решение в состав диэлектрического слоя ввести порошкообразный кристаллический материал из группы дипольных сегнетоэлектриков. Известно, что данные вещества характеризуются весьма высокой диэлектрической проницаемостью, достигающей нескольких сотен и более. Сравнительный анализ соответствующих материалов, в частности, сегнетовой соли, фосфата калия, порошковых керамики, ниобата калия, титаната бария, позволил сделать выбор в пользу титаната бария. Данный материал обладает в чистом виде  $\epsilon_d \approx 1000$ . Он нерастворим в воде, что важно при изготовлении диэлектрического связующего; его кристаллы бесцветны, что предотвратит потери света при излучении панели. Его коэффициент термического расширения равен  $3,5 \cdot 10^{-6} K^{-1}$ , коэффициенты преломления обыкновенного и необыкновенного лучей соответственно составляют  $n_o = 2,4164$ ;  $n_e = 2,3637$ . Эти обстоятельства также располагают к использованию титаната бария при синтезировании связующего вещества для люминофоров в ЭЛП.

Еще одним из методов повышения напряженности электрического поля является утончение слоев ЭЛП, то есть уменьшение расстояния между электродами. Как известно, технологические слои в ЭЛП наносятся методом шелкографии – это система технологий, которые позволяют наносить краску или пасту значительной толщины на подложки различной природы. Шелкография включает совокупность нескольких технологий: технологии натяжения формных рам, технологии выбора наиболее подходящей ситовой ткани, эмульгирования печатных форм и многое другое. Шелкография имеет разнообразные преимущества:

- простота процесса;
- оборудование, доступное по низкой цене;
- возможность печатать на материалах различного типа;
- значительная толщина наносимых слоев;
- устойчивость нанесенных материалов;
- экономия при печатании малых и средних тиражей.

Варьируя диаметр отверстий в ситовой ткани, можно регулировать толщину наносимых слоев в значительных пределах и тем самым увеличивать, либо понижать яркость. Минимальная толщина люминесцентного слоя, которая была получена в ходе работы, составила 30 мкм. Дальнейшее уменьшение толщины не представляется возможным в связи с ограничениями, связанными с диаметром зерен электролюминофора. При этом следует также иметь в виду, что толщины люминесцентного слоя менее 30 мкм неблагоприятно сказываются на равномерности свечения ЭЛП [2].

Проведенные нами исследования показали, что имеется возможность использования алюминия в качестве тыльного электрода вместо серебряной пасты. Это конструкторское решение не только снижает себестоимость продукции, но и увеличивает яркость ЭЛП за счет того, что лист алюминия играет роль зеркала и возвращает часть излучения обратно в толщу люминофора, где под его действием снова происходят излучательные переходы.

В ходе работы было установлено, что наиболее эффективным способом оптимизации яркости и получения наибольшей концентрации электрического поля, непосредственно на кристаллах электролюминофора, является подбор эффективного связующего.

Одним из самых эффективных материалов, используемых при изготовлении люминесцентной суспензии, и при этом обладающим весьма высоким значением диэлектрической проницаемости, является цианэтиловый эфир поливинилового спирта. Он в наибольшей степени удовлетворяет всем необходимым требованиям, которые таковы:

- создание барьерных областей и концентрация поля на поверхности зёрен люминофора;
- высокая диэлектрическая проницаемость (около 20 и более);
- прозрачность для видимого света (380–780 нм);
- хорошая адгезия к соседним слоям при их нанесении;
- химическая инертность по отношению к материалу наполнителя и электродов;
- стабильность электрофизических и оптических характеристик к действию влаги и света;
- достаточная величина пробивного напряжения – до 5 В на 1 мкм.

От правильного выбора связующего зависят физико-механические свойства получаемых слоёв: прочность, износостойкость и др. Поэтому связующее, применяемое в технологиях ЭЛП, особенно гибких, должно быть эластичным и сохранять упруго-прочностные свойства в интервале рабочих температур (–40 до +50 °С).

Был проведен комплекс исследований по изучению влияния основных параметров молекулярной структуры ЦЭПС на его электрофизические и динамические механические свойства, а также на реологические характеристики его растворов в некоторых полярных растворителях.

Реологические свойства (от греч. rheos – течение, поток и logos – слово, учение) – это свойства тел, связанные с течением и деформацией. Они характеризуются определенными величинами, не зависящими от условий их измерения и от конструкции измерительных приборов, и иногда называются реологическими константами. Все природные тела в той или иной степени обладают тремя основными свойствами: упругостью, вязкостью и пластичностью.

Композиционная неоднородность (неоднородность по составу) полимера анализировалась с помощью данных динамического механического анализа плёнки ЦЭПС.

Динамический механический анализ – это метод термического анализа, в котором свойства материала измеряются в процессе его периодической деформации. Метод динамического механического анализа применяется для исследования вязкоупругих свойств материалов в зависимости от времени, температуры или частоты при различных нагрузках. При динамических механических измерениях определяется реакция материала на синусоидальные или другие формы циклических нагрузок.

На основании полученных данных проведена оптимизация структуры ЦЭПС и технологии его получения. Инструментальный анализ образцов ЦЭПС, произведенный посредством макетирования конденсаторов и замера их электро-

емкости при известной площади пластин и зазора между ними, позволил определить  $\epsilon_d$  для каждого из перечисленных реактивов. Рис. 2 отражает повышение величин диэлектрической проницаемости изготовленных полимерных связующих до  $\epsilon_d = 21$ , достигаемых в результате оптимизации процесса их синтеза.

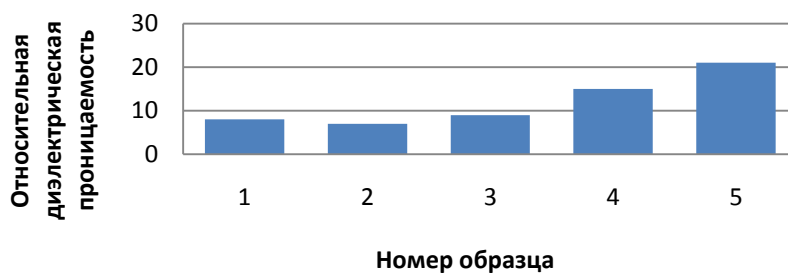


Рис. 2. Диэлектрическая проницаемость синтезированных полимерных связующих

На рис. 3 представлен спектр пропускания полимерной пленки. Видно, что полимер обладает высокой прозрачностью в видимой области, однако в процессе светостарения она несколько ухудшается. В процессе работы ЭЛП генерируется видимое излучение значительной интенсивности, а при использовании в изделиях наружного освещения и мобильной электроники полимер также подвергается действию видимого света и ультрафиолета.

Уменьшение светопропускания пленки в конечном итоге способствует снижению яркости свечения и КПД ЭЛП, поэтому светостойкость полимера является важной характеристикой и для её обеспечения в ЦЭПС ввели соответствующие модификаторы. В результате (см. рис. 3) достигнута стабильность светопропускания, причем ее величина на 50 % выше, чем для полимера фирмы DuPont, также специально разработанного для применения в ЭЛП.

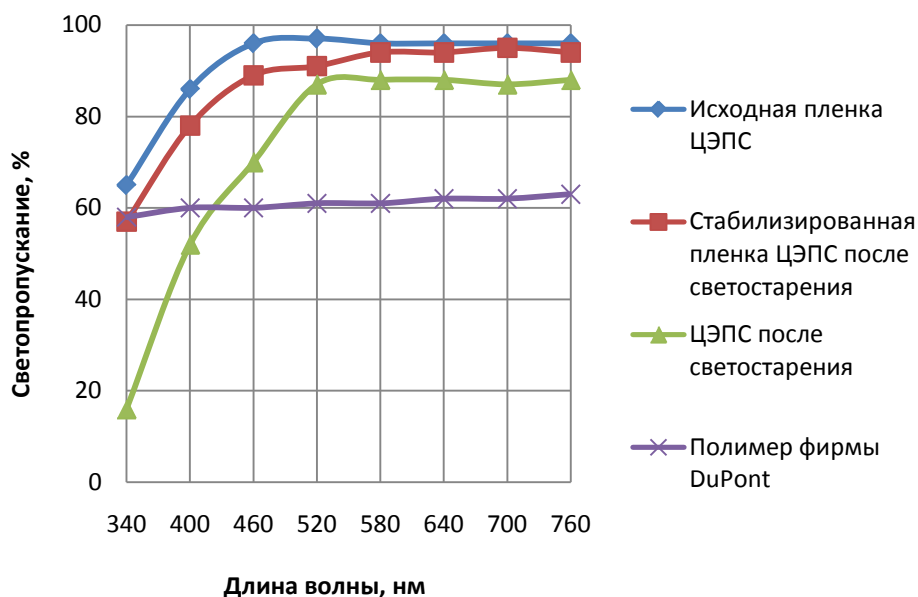


Рис. 3. Спектр пропускания полимерной пленки

Для формирования функциональных слоев на основе ЦЭПС необходимо использовать растворы полимера. Нами оптимизирован состав смесового растворителя, позволяющий получать концентрированный (25 %-ый) раствор с требуемыми реологическими свойствами.

На рис. 4 представлена типичная кривая течения раствора ЦЭПСа. Видно, что система слабоструктурирована, поскольку характеризуется низкими величинами предельного напряжения сдвига – 5...10 Па. Растворы демонстрируют ньютоновский характер течения в широком диапазоне величин напряжения сдвига.

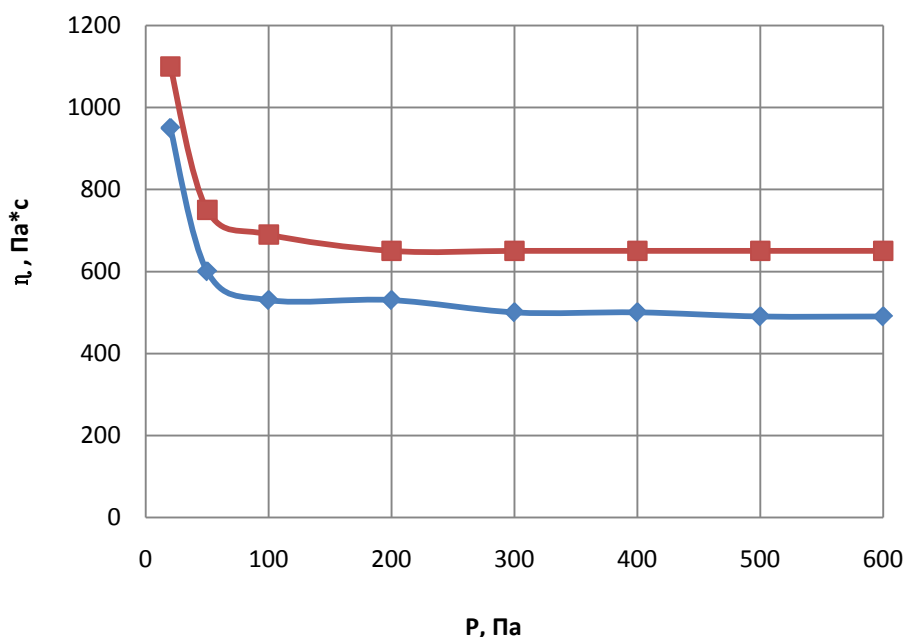


Рис. 4. Кривая течения растворов ЦЭПСа

Вязкость диэлектрического связующего играет существенную роль в процессе изготовления электролюминесцентных панелей. Изменяя вязкость, можно варьировать толщину наносимых слоев ЭЛП. Также вязкость вносит ограничения в выборе пропорции люминофора в люминесцирующем слое или диэлектрического наполнителя в диэлектрическом слое. Особо важную роль вязкость суспензий играет при производстве ЭЛП методом рулонной технологии.

По результатам, полученным в работе, установлено, что ЦЭПС является весьма важным компонентом при изготовлении ЭЛП, поскольку обладает следующими свойствами:

- высокой диэлектрической проницаемостью  $\epsilon_d = 21$ ;
- низкими величинами предельного напряжения сдвига – 5...10 Па;
- стабильностью светопропускания;
- технологичностью изготовления.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Шубин Н. Е., Козырев Е. Н., Гончаров И. Н., Ивакин В. Ф., Филоненко В. И. Разработка и исследование свойств гибких электролюминесцентных пленок // Устойчивое развитие горных территорий. 2013. № 16, С. 5–10.
2. Шубин Н. Е., Козырев Е. Н., Платова А. А., Брежнев А. А., Малдзигати А. И. Разработка и изготовление высокоэффективных электролюминесцентных панелей // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2013. Т. 9, № 6. С. 74–78.
3. Верещагин И. К., Колсяченко Л. А., Кокин С. М. Электролюминесцентные источники света. М.: Энергоатомиздат. 1990.
4. Верещагин И. К. Введение в оптоэлектронику. М.: Высшая школа. 1991.
5. Шубин Н. Е. От микроэлектроники к функциональной полимерной наноэлектронике. Владикавказ: СКГМИ (ГТУ). Изд-во «Терек», 2013.



УДК 621.383

*Канд. техн. наук, ассистент ПРОСКУРИН А. Е.,  
канд. техн. наук, доцент ПЕРЕПЕЛИЦЫН В. В.*

### ОЦЕНКА ОПТИМАЛЬНОГО ЧИСЛА ИМИТАЦИОННЫХ ОПЫТОВ ДЛЯ КАНАЛЬНОГО УМНОЖИТЕЛЯ

*Проведено имитационное моделирование усилительно-шумовых свойств канального умножителя. В результате обработки данных по амплитудным спектрам получена зависимость погрешности расчета коэффициента усиления и дисперсии от числа опытов.*

**Ключевые слова:** *канальный множитель, имитационное моделирование, статистическая обработка, оценка погрешности.*

Принцип действия канального умножителя (КЭУ) давно известен. Входящий в канал под некоторым углом первичный электрон при столкновении со стенкой порождает некоторое количество вторичных электронов, которые под действием ускоряющего поля движутся по параболическим траекториям, многократно сталкиваясь со стенкой. При каждом соударении эмитируется случайное число электронов со случайной энергией и случайными углами. Выходящий из канала импульс («пакет») электронов содержит случайное число частиц. Таким образом, выходной сигнал канального умножителя представляет собой поток импульсов длительностью примерно 0,5 нс и частотой следования около  $10^4 \text{ с}^{-1}$ .

Поток можно охарактеризовать амплитудным, угловым и энергетическим распределениями. На практике чаще всего используют амплитудное распределение, из которого находят средний коэффициент усиления  $\overline{M}$  и дисперсию  $s^2$  распределения, необходимую для расчета фактора шума.



При экспериментальном измерении параметров  $\bar{M}$  и  $s^2$ , которое длится несколько минут, через канал проходит несколько сотен тысяч импульсов, так что погрешность, обусловленная статистикой, заметной роли не играет. Другое дело, если амплитуду каждого импульса приходится рассчитывать по компьютерной модели КЭУ. Здесь уже возникают ограничения на длительность расчета, а, следовательно, на количество опытов в численном эксперименте. Возникает вопрос: какое минимальное число опытов нужно просчитать, чтобы погрешность определения  $M$  и  $s^2$  не превышала заданной величины? Учитывая многократное применение метода Монте-Карло в каждом опыте, вполне очевидно, что получить ответ на этот вопрос на основании аналитических методов едва ли возможно.

Эта задача была решена путем статистической обработки массива из  $N = 100000$  имитационных опытов. Для генерации амплитудных распределений использовалась программа моделирования канального умножителя, разработанная и усовершенствованная в Северо-Кавказском горно-металлургическом институте (ГТУ) [1, 2]. Вычисленное для этого массива среднее  $\bar{M} \equiv m_1$  (первый выборочный момент) было принято за истинное значение генеральной совокупности  $\mu$ . Далее рассчитывались средние  $m_1$ , дисперсии  $s^2$  и среднеквадратические отклонения (СКО)  $s$  для выборок по  $n = 10, 100, 200, 500, 1\ 000, 2\ 000, 5\ 000, 10\ 000, 20\ 000, 50\ 000$  опытов.

Для оценки среднего с вероятностью  $P = 0,95$  использовано известное соотношение [3]:

$$\bar{x} - s \frac{t_{p,k}}{\sqrt{n}} \leq \mu \leq \bar{x} + s \frac{t_{p,k}}{\sqrt{n}}, \quad (1)$$

где  $\bar{x}$  – среднее выборки,

$t_{p,k}$  – квантиль закона Стьюдента  $S(k)$ , соответствующий вероятности  $p$  при  $k = n - 1$  степенях свободы.

Относительные погрешности (ОП) определения  $\mu$  для всех выборок были рассчитаны по соотношению, следующему из (1):

$$ОП_{\bar{x}} = \frac{t_{p,k} \cdot s}{\bar{x} \cdot \sqrt{n}} \quad (2)$$

Некоторые результаты расчетов приведены в табл. 1. Здесь математическое обозначение среднего величины  $x$  заменено на физическое обозначение  $M$  – коэффициент усиления канала умножителя.

Из таблицы 1 видно, что для получения ошибки вычислений менее 3 % необходимо провести не менее 4000 опытов (итераций). Выбор такого ограничения по значению ошибки связан с тем фактом, что при экспериментальном измерении параметров канального умножителя погрешность составляет не менее 3 %. Более наглядно уменьшение ошибки с числом опытов видно на рис. 1.

Также стоит отметить факт увеличения времени проведения имитации, пропорционально числу опытов.

Для рекомендуемого количества опытов суммарное время выполнения 4000 итераций составляет 104 минуты, при этом значение относительной ошибки вычисления равно 2,7 %.

## Зависимость относительной ошибки и времени счета от числа итераций

Число итераций	Среднее значение М	Дисперсия среднего значения, $s^2_{cp}$	Стандартное отклонение, $s_{cp}$	Коэффициент Стьюдента (надежн. 95 %)	Доверительный интервал	Относительная ошибка, %	Время имитации, мин.
10	797,100	47119,632	217,071	2,262	491,048	61,604	0,26
20	866,750	26768,694	163,611	2,093	342,443	39,509	0,52
30	980,833	27734,819	166,538	2,045	340,608	34,726	0,78
40	1025,850	19245,340	138,728	2,023	280,603	27,353	1,04
50	1075,020	19132,774	138,321	2,010	277,967	25,857	1,3
60	1145,633	17558,462	132,508	2,001	265,149	23,144	1,56
70	1153,657	13923,259	117,997	1,995	235,397	20,404	1,82
80	1122,925	11738,591	108,345	1,990	215,655	19,205	2,08
90	1180,567	10659,438	103,245	1,987	205,145	17,377	2,34
100	1190,470	9590,811	97,933	1,984	194,320	16,323	2,6
200	1057,095	4505,794	67,125	1,972	132,368	12,522	5,2
300	1049,257	2773,482	52,664	1,968	103,639	9,877	7,8
400	1050,000	2017,121	44,912	1,966	88,294	8,409	10,4
500	1019,328	1531,994	39,141	1,965	76,901	7,544	13
600	991,710	1233,314	35,119	1,964	68,970	6,955	15,6
700	992,639	1044,589	32,320	1,963	63,456	6,393	18,2
800	993,136	893,253	29,887	1,963	58,667	5,907	20,8
900	999,297	807,077	28,409	1,963	55,756	5,580	23,4
1000	1014,049	771,616	27,778	1,962	54,510	5,375	26
2000	1034,854	406,416	20,160	1,961	39,536	3,820	52
3000	1033,793	267,741	16,363	1,961	32,083	3,103	78
4000	1023,805	198,845	14,101	1,961	27,646	2,700	104
5000	1017,355	159,598	12,633	1,960	24,767	2,434	130
6000	1010,559	130,427	11,420	1,960	22,388	2,215	156
7000	1002,392	110,433	10,509	1,960	20,600	2,055	182
8000	1010,794	99,041	9,952	1,960	19,508	1,930	208
9000	1012,687	88,111	9,387	1,960	18,400	1,817	234
10000	1009,060	79,277	8,904	1,960	17,453	1,730	260
20000	1012,095	40,225	6,342	1,960	12,432	1,228	520
30000	1011,680	26,661	5,163	1,960	10,120	1,000	780

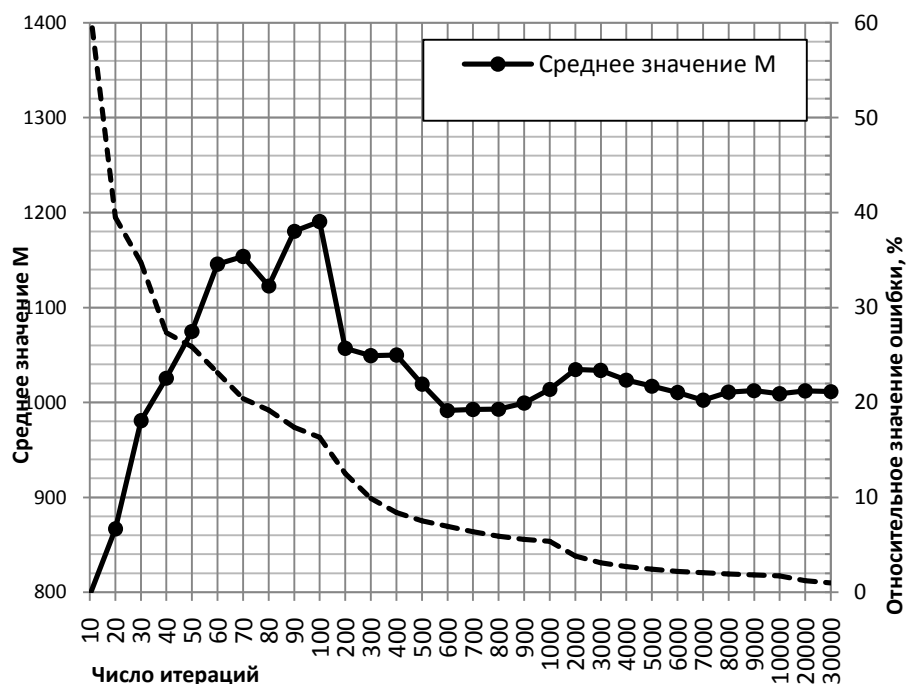


Рис. 1. Зависимость относительной ошибки от числа опытов

Увеличение числа имитационных опытов более рекомендованного значения приводит к значительному росту времени вычисления при незначительном уменьшении погрешности. Например, для получения ошибки вычисления в 1 % необходимо провести 30 тысяч итераций. Суммарное время расчета при этом составит 13 часов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Перепелицын В. В., Прокурин А. Е. Нелинейная модель усиления канального умножителя // Международная конференция «Информационные технологии и системы: наука и практика». Владикавказский научный центр РАН, 2002. С. 436–438.
2. Прокурин А. Е. Об имитационном моделировании лавинообразных процессов канального умножителя // Устойчивое развитие горных территорий, № 22(20), 2014. С. 19–25.
3. Справочник по прикладной статистике. В 2-х т. Т. 1. М.: Финансы и статистика, 1989. 510 с.

*Proskurin A. E., Perepelicin V. V.*

#### EVALUATION OF THE OPTIMAL NUMBER OF SIMULATION EXPERIMENTS FOR THE CHANNEL MULTIPLIER

*Imitating modeling of the amplifier-noise properties of the channel multiplier. In the data processing on the amplitude spectra obtained dependence of the error of the calculation of the gain and the variance of the number of experiments.*

**Key words:** *cannel multiplier, simulation, statistical processing, the error estimation.*

УДК 622.235.432

*Д-р. техн. наук, профессор Петров Ю. С.,  
канд. техн. наук, доцент Масков Ю. П.,  
ст. преподаватель Берко И. А.*

### **АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ПОЛЕЙ БЛУЖДАЮЩИХ ТОКОВ НА ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ**

*Рассмотрены поля блуждающих токов на горных предприятиях, вызванные токами утечки из рельсов электровозной откатки и токами утечки из силовых и осветительных сетей; дано их аналитическое описание и выведены формулы для практического использования при определении разности потенциалов между различными точками в поле блуждающих токов. Приведены результаты экспериментальных исследований; результаты экспериментов хорошо согласуются с полученными аналитическими зависимостями.*

**Ключевые слова:** *блуждающие токи, утечка тока, разность потенциалов, отклонения.*

В настоящее время большое внимание уделяется исследованию блуждающих токов на горных предприятиях, что объясняется их возрастающей интенсивностью и многообразием вредных и опасных проявлений.

Можно выделить следующие типы блуждающих токов (по типу источника): электротяговые токи контактной электровозной откатки; токи утечки из силовых и осветительных сетей; токи электростатических разрядов на электризованных тел или веществ; токи индуктивного влияния электрических сетей; токи, возникающие под действием электромагнитных излучений; токи, возникающие под действием грозовых разрядов. Горные предприятия характеризуются, как правило, наличием нескольких типов блуждающих токов.

Основными проявлениями блуждающих токов являются следующие:

- действие на электровзрывные сети (все типы блуждающих токов) – может привести к преждевременному срабатыванию электродетонаторов и, следовательно, к преждевременному взрыву ВВ со всеми вытекающими последствиями;
- коррозия (электротяговые блуждающие токи);
- действие на цепи автоматики и управления (электротяговые, утечки, индуктивное влияние) – может привести к ложному срабатыванию аппаратов и установок;
- непосредственное опасное воздействие на ВВ (в основном, вследствие электризации при пневмозарядании);
- нежелательное и часто опасное воздействие на человека (в различной степени – все типы блуждающих токов);
- действие на измерительные цепи – приводит к существенному увеличению погрешности, а иногда и к невозможности выполнить измерение (на-

пример, при измерении электрического сопротивления грунта в зоне растекания блуждающих токов).

Основную опасность на горных предприятиях представляют электротяговые блуждающие токи и токи утечки из силовых осветительных сетей.

Наиболее общим методом исследования блуждающих токов является рассмотрение соответствующих электромагнитных полей. Многие возникающие на практике ситуации можно рассматривать в установившемся режиме как детерминированные, существующие в тот или иной промежуток времени без значительных изменений. Поля в этих случаях являются квазистационарными (как для постоянного тока, так и для переменного тока промышленной частоты).

Поле тяговых блуждающих токов вне источников, т. е. электрическое поле в зоне нагруженных рельсовых путей, создаваемое токами утечки из рельсов в грунт, может быть описано уравнениями:

$$\left. \begin{array}{l} \operatorname{rot} \vec{E} = 0 \\ \vec{\delta} = \gamma \vec{E} \\ \operatorname{div} \delta = 0 \end{array} \right\}, \quad (1)$$

где  $\vec{E}$  – вектор напряженности электрического поля, В/м;

$\vec{\delta}$  – вектор плотности блуждающих токов, А/м<sup>2</sup>;

$\gamma$  – удельная электрическая проводимость грунта, Сим/м.

Для удобства исследований можно использовать потенциальную функцию  $\varphi$ , так как поле, удовлетворяющее системе уравнений (1), является потенциальным (вследствие того, что имеет безвихревой характер).

Потенциальная функция вводится обычным способом в соответствии с требованиями:

$$\operatorname{grad} \varphi = -\vec{E}. \quad (2)$$

Непосредственно из (1) и (2) выводится основное уравнение для потенциальной функции – уравнение Лапласа:

$$\nabla^2 \varphi = 0, \quad (3)$$

где  $\nabla$  – оператор Лапласа.

Следовательно, для определения потенциала поля в зоне нагруженных рельсовых путей контактной электровозной откатки постоянным током необходимо решить уравнение Лапласа и учесть граничные условия:

$$\left. \begin{array}{l} \delta_{1n} = \delta_{2n} \\ E_{1\tau} = E_{2\tau} \end{array} \right\}, \quad (4)$$

где  $\delta_{1n}$  и  $\delta_{2n}$  – нормальные составляющие векторов плотности тока на границе раздела сред с проводимостями соответственно  $\gamma_1$  и  $\gamma_2$ ;

$E_{1\tau}$  и  $E_{2\tau}$  – касательные составляющие векторов напряженности электрического поля на границе раздела.

Будем считать токоведущую рельсовую колею в штреке сплошным металлическим цилиндром, радиус которого очень мал по сравнению с его длиной и внешняя поверхность которого повсюду плотно касается однородной среды, имеющей какую-то электрическую проводимость.

Радиус эквивалентного цилиндра  $r_0$  принимается таким, чтобы поперечное сечение было равно суммарному поперечному сечению двух рельсов.

Правомерность принимаемых допущений объясняется, во-первых, тем, что оба рельса колеи связаны между собой; во-вторых, конфигурация поперечного сечения рельса будет отражаться на картине поля блуждающих токов лишь на расстояниях, сравнимых с размерами этого сечения, и, в-третьих, в шахтных условиях, как правило, рельсы имеют очень хороший контакт с грунтом.

Учет искажающего влияния самой выработки, пройденной в массиве горных пород, приведет к очень большим трудностям теоретического характера, но существенных изменений в результаты расчета не внесет, так как размеры сечения выработки малы по сравнению с размерами обычно рассматриваемых зон.

После принятых допущений наиболее удобным для дальнейшего расчета будет применение цилиндрической системы координат.

Для одномерной задачи формула (3) для цилиндрической системы координат:

$$\frac{1}{r} - \frac{d}{dr} \left( r \frac{d\phi}{dr} \right) = 0. \quad (5)$$

Переходя к обычным производным и интегрируя, получим:

$$\phi = K \phi \ln r + C \phi. \quad (6)$$

Далее, так как  $\phi = -\int \vec{E} d\vec{r}$ , то произведя интегрирование по направлению  $\vec{r}$ , получим:

$$\phi = \frac{-I}{2\pi\gamma(1-e^{pt}) \ln r} + C_\phi. \quad (7)$$

По формуле (7) можно определить потенциалы различных точек в окружающем рельсы пространстве и для различных моментов времени различных расстояний от рельса. При  $t \rightarrow \infty$  величина  $e^{pt} \rightarrow 0$ , т. е. для установившегося процесса формула (7) приобретает вид:

$$\phi = -I_0 \ln \frac{r}{2\pi\gamma} + C_\phi. \quad (8)$$

Постоянная  $C_\phi$  определится, исходя из выбора системы отсчета для потенциала.

Итак, для анализа распределения потенциалов и разности потенциалов в массиве горных пород и в выработках, перпендикулярных токоведущей рельсовой колее, в частности, для анализа распределения потенциалов вдоль выработки, ответвляющейся от штрека с токоведущими рельсовыми путями, можно, основываясь на принятых ранее допущениях, воспользоваться зависимостью (8). Как с теоретической, так и с практической точки зрения, наиболее удобным является исследование разности потенциалов между токоведущим рельсом и различными точками массива горных пород.

Исходя из уравнения (8), получим:

$$U_{om} = \frac{I_0 \rho}{2\pi} \ln \frac{r_m}{r_0}, \quad (9)$$

где  $U_{0m}$  – разность потенциалов между рельсом и точкой  $m$  массива горных пород, В;

$\rho$  – удельное электрическое сопротивление, Ом·м;

$r_m$  – расстояние от рельса до точки  $m$ , м.

Если рассматривать откатку электровозами переменного тока, то, используя соответствующие допущения, можно прийти к уравнениям, аналогичным системе уравнений для постоянного тока, но записанным в символической форме.

Рассматривая поля переменного тока и принимая среду однородной, можно записать в наиболее общем виде систему:

$$\left. \begin{aligned} \operatorname{rot} \dot{H} &= \gamma \dot{E} + j \cdot \omega \cdot \varepsilon \cdot \dot{E}, \\ \operatorname{rot} \dot{E} &= -j \cdot \omega \cdot \mu_a \cdot \dot{H}, \\ \operatorname{div}(\mu_a \cdot \dot{H}) &= 0, \\ \operatorname{div}(\gamma \cdot \dot{E}) &= -j \cdot \omega \cdot \dot{\rho}, \\ \delta &= \gamma \dot{E}, \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

где  $\dot{E}$ ,  $\dot{H}$  – комплексы векторов напряженности соответственно электрического и магнитного полей;

$\varepsilon_a$ ,  $\mu_a$  – абсолютные диэлектрическая и магнитная проницаемость;

$\gamma$  – удельная проводимость среды;

$\dot{\rho}$  – комплекс объемной плотности заряда;

$\omega$  – угловая частота переменного тока.

Дополнив систему (10) граничными условиями, можно, используя принятые допущения, рассчитать поле блуждающих токов контактной электровозной откатки переменного тока.

Поле блуждающих токов в земле образуется как токами утечки из рельсов, так и токами утечки из силовых и осветительных сетей. Для расчёта поля токов утечки из электрических сетей можно воспользоваться следующей методикой.

Если погрузить в землю металлическую полусферу, через которую в землю стекает ток  $I$ , и принять, что второй электрод, к которому ток будет подтекать, находится очень далеко, то плотность тока в земле, на поверхности полусферы радиусом  $R$ , составит  $\delta = \frac{I}{2\pi R^2}$ .

Напряженность поля:

$$E = \frac{\delta}{\gamma} = \frac{I}{2\pi R^2}. \quad (11)$$

Напряжение между двумя точками на поверхности земли (точки 1 и 2):

$$U_{12} = \int_{R_1}^{R_2} E dR = \frac{1}{2\pi\gamma} \int_{R_1}^{R_2} \frac{dR}{R^2} = -\frac{I}{2\pi\gamma} \left( \frac{1}{R_2} - \frac{1}{R_1} \right) = \frac{I}{2\pi\gamma} \left( \frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right), \quad (12)$$

Аналитические исследования были дополнены экспериментальными исследованиями, проведенными авторами на различных горных предприятиях. В частности, важная для практики зависимость (9) была проверена экспериментально на шахтах ПО «Эстонсланец». На рис. 1 показана зависимость разности потенциалов от расстояний между рельсом и различными точками грунта, полученная на шахте «Кява-2» ПО «Эстонсланец». Кривые 2, 4 и 6 на рис. 1 построены по экспериментально полученным данным, а 1, 3, 5 – по формуле (9).

Сравнение расчетных и экспериментальных кривых показывает, что формулы (8) и (9) достаточно верно отображают реальную картину распределения потенциалов вдоль выработок. Различие между экспериментальными и теоретическими кривыми ощущается в областях малого градиента потенциала.

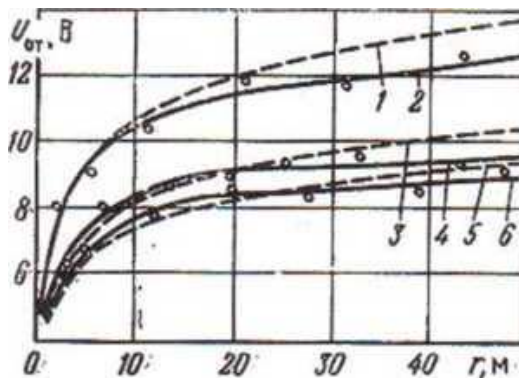


Рис. 1

На рис.1 приведены зависимости разности потенциалов между рельсом и точкой т почвы от расстояния между ними при токах утечки  $I_0$  с 1-го метра длины рельса, равных 0,11 А (кривые 1, 2), 0,08 А (кривые 3, 4) и 0,07 А (кривые 5, 6), где потенциал практически не изменяется от расстояния (на удалении 40–50 м и более). Расхождение кривых за указанными пределами объясняется тем, что на больших расстояниях от рельса доля осевой составляющей вектора плотности блуждающего тока увеличивается, а радиальной составляющей – уменьшается.

Выведенные и проверенные экспериментально-аналитические зависимости напряжений, вызванные протеканием блуждающих токов в земле, позволяют оценить степень их влияния на различные цепи и объекты, выработать необходимые рекомендации по уменьшению такого влияния.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Защита зарядов взрывчатых веществ от преждевременных взрывов блуждающими токами / Граевский М. М. [и др.]; Под ред. М. М. Граевского. М.: Недра, 1987. 380 с.

2. Петров Ю. С. Безопасность систем электровзрывания в горной промышленности // Безопасность в техносфере, 2012. № 5. М.: Научно-издательский центр ИНФА.



3. Кудрявцев Ю. И. Теория поля и ее применение в геофизике. Л.: Недра, 1988. 335 с.

4. Бессонов Л. А. Электромагнитное поле. М.: Юрайт, 2012. 316 с.

*Petrov Yu. S., Maskov Yu. P., Berko I. A.*

### **ANALYTICAL DESCRIPTION OF THE STRAY CURRENT FIELDS AT MINES**

*The fields of the stray currents caused by the leakage currents from the electric haulage mine locomotive rails and the leakage currents from the power and lightning nets were studied, their analytical description was presented and the formulas for the potentials difference among the different points in the stray currents field were derivated for the practical use. The experimental results are shown which re well coordinated with the analytical dependences.*

**Key words:** *stray currents, leakage currents, potential differences, derivation.*

### **BIBLIOGRAPHY**

1. Protection charges of explosives from premature explosions by circulating currents/ Gruevski M. M. [and others]; edited by M. M. Gruevski. M.: Nedra, 1987. 380 p.

2. Petrov Yu. S. Security systems electrodrive in the mining industry // Safety in technosphere. № 5. 2012. M.: Scientific publishing center INFA.

3. Kudryavtsev Yu. I. Field Theory and its application in Geophysics / Leningrad: Nedra, 1988. 335 p.

4. Bessonov L. A. The electromagnetic field / M urit, 2012. 316 p.



УДК 621.3

*Д-р техн. наук, профессор ПЕТРОВ Ю. С.,  
канд. техн. наук, доцент МАСКОВ С. П.,  
ассистент ГАЛКИНА О. Ю.*

### **МАТРИЧНЫЙ АНАЛИЗ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ С ВЗАИМНОЙ ИНДУКТИВНОСТЬЮ**

*Дана методика составления уравнений состояния сложной электрической цепи с индуктивными связями в матричной форме на основании законов Кирхгофа. Теоретические положения проиллюстрированы на конкретном примере с анализом зависимости токов в ветвях от частоты.*

**Ключевые слова:** *электрические цепи, взаимная индуктивность, матричные уравнения, комбинированная матрица, законы Кирхгофа.*

В настоящее время для расчета электрических цепей широко используется вычислительная техника. Эффективность такого использования во многом

зависит от формы представления материала для расчета. Состояние электрической цепи, ее анализ осуществляются, как известно, на основе уравнений, составленных по законам Кирхгофа, и уравнения энергетического баланса. Эти уравнения могут быть записаны в виде обычной системы уравнений, а также в матричной форме.

Составление уравнений в матричной форме для электрической цепи с взаимной индуктивностью имеет свои особенности, которые недостаточно освещены в литературе [1–3], в частности, методики составления комбинированной матрицы для записи системы уравнений по законам Кирхгофа, энергетического баланса в матричной форме и др.

Законы Кирхгофа для цепей с взаимной индуктивностью в интегрально-дифференциальной форме записываются в виде системы уравнений:

$$\sum i_k = 0, \quad (1)$$

$$\sum (i_k R_k + L_k \frac{di_k}{dt} \pm M_{nk} \frac{di_n}{dt} + \frac{1}{C_k} \int i_k dt) = \sum e_k \quad (2)$$

Слагаемые  $M_{nk} \frac{di_k}{dt}$  учитывают дополнительные падения напряжения в «к-ой» ветви из-за магнитного влияния тока в «n-ой» ветви. Слагаемых такого типа может быть несколько; знак перед слагаемым определяется взаимной ориентацией магнитно-связанных катушек.

Уравнения (1) и (2) в символической форме:

$$\sum i_a = 0 \quad (3)$$

$$\sum (i_k Z_k \pm i_n Z_{nk}) = \sum \dot{E}_k \quad (4)$$

В уравнении (4)  $Z_{nk} = Z_{kn} = j\omega M_{nk}$  – взаимное (вносимое) сопротивление, обусловленное влиянием «n-ой» катушки на «к-ую» и обратно ( $M_{nk} = M_{kn}$ ).

Систему (3), (4) без учета магнитных связей можно записать в виде матричного уравнения:

$$[K][I] = [I], \quad (5)$$

где  $[K]$  – комбинированная матрица, содержащая полную информацию о структуре цепи и ее параметрах;

$[I]$  – матрица-столбец искомых токов;

$[I]$  – матрица-столбец источников энергии: источников токов для узлов и источников ЭДС – для контуров.

Комбинированная матрица  $[K]$  состоит из двух частей – узловой матрицы  $[A]$  и контурной матрицы сопротивлений ветвей  $[B]$ .

Столбцы узловой матрицы  $[A]$  соответствуют ветвям схемы ( $n$  – число ветвей), а строки – узлам ( $m$  – уменьшенное на единицу число узлов в схеме). Вместо коэффициентов  $a_{pq}$  ставится как обычно 0 или  $\pm 1$  в зависимости от того, принадлежит ли ветвь узлу ( $\pm 1$ ) соответствующему номеру строки, или нет (0). Причем ставим  $(-1)$ , если ток в ветви направлен от узла и  $(+1)$ , если к узлу.

Столбцы матрицы  $[B]$  также соответствуют ветвям схемы (как и в матрице  $[A]$ ), однако строки – независимым контурам схемы. Вместо элемента  $b_{pq}$  ставится «0», если сопротивление ветви в столбце «q» не входит в рассматриваемый контур. Если сопротивление  $Z_q$  входит в контур (определяется строкой «р»), то ставится  $Z_q$  с плюсом, если направление обхода контура и ток в ветви совпадают и с минусом – если не совпадают.

Объединяя матрицы  $[A]$  и  $[B]$  (записывая их непосредственно друг под другом) и переходя к общей системе отсчета строк, получим комбинированную матрицу, причем напротив строк узловой матрицы записываются токи источников токов, а напротив строк контурной матрицы сопротивлений ветвей – алгебраическая сумма ЭДС соответствующих контуров. Все сказанное относится к случаю, когда в электрической цепи отсутствуют магнитно связанные элементы, т. е. к цепям без взаимной индуктивности. Если рассматривать цепи с взаимной индуктивностью, то контур матрицы сопротивлений ветвей (теперь  $[B_M]$ ) несколько усложняется. При построении комбинированной матрицы должны учитываться дополнительные (взаимные сопротивления), определяющие дополнительные напряжения, вносимые в рассматриваемый контур токами влияющих ветвей.

В общем случае элемент контурной матрицы сопротивлений ветвей  $\ll b_{pq} \gg$  будет состоять не из одного сопротивления  $Z_q$  или «0», а из алгебраической суммы сопротивлений:

$$\ll b_{pq} \gg \rightarrow \underline{Z}_{pq} = \underline{Z}_q + \sum \underline{Z}_{kq} \quad (6)$$

Формула (6) состоит из собственного сопротивления «q»-ой ветви  $\underline{Z}_q$  и дополнительных вносимых сопротивлений, определяющих связь между ветвью «q» и другими, влияющими на нее ветвями. Причем, может случиться, что ветвь  $\underline{Z}_q$  в рассматриваемый контур не входит, но в соответствующем элементе матрицы  $[B]$  следует учитывать вносимые сопротивления, вызывающие дополнительные падения напряжения в рассматриваемой ветви вследствие магнитной связи с другими ветвями.

Более подробно методику составления матрицы  $[B_M]$  для цепи с взаимной индуктивностью рассмотрим на конкретном примере. Пусть граф цепи с магнитными связями между ветвями представлен на рис. 1.

Выделим четыре независимых контура и составим для них матрицу  $[B_M]$  в соответствии с изложенными положениями. Матрица  $[B_M]$  будет состоять из четырех строк (по числу независимых контуров) и семи столбцов (по числу ветвей схемы). Взаимная магнитная связь между ветвями «р» и «q» выражается комплексным сопротивлением:

$$\underline{Z}_{pq} = j\omega M_{pq},$$

где  $M_{pq}$  – коэффициент взаимной индуктивности между катушками «р» и «q», ( $M_{pq} = M_{qp}$ ).

Запишем элементы матрицы  $[B_M]$  с учетом того, что вносимые сопротивления  $\underline{Z}_{pq}$  могут иметь как положительные так и отрицательные знаки (выбор знака будет подробно расписан далее):

$$[B_M] = \begin{bmatrix} \underline{Z}_1 - \underline{Z}_{12} - \underline{Z}_{14} & \underline{Z}_2 - \underline{Z}_{21} & \underline{Z}_{32} - \underline{Z}_{31} & \underline{Z}_4 - \underline{Z}_{41} & 0 & 0 & -\underline{Z}_{71} \\ \underline{Z}_{12} - \underline{Z}_{13} & -\underline{Z}_2 + \underline{Z}_{23} & \underline{Z}_3 - \underline{Z}_{32} & 0 & \underline{Z}_5 & 0 & 0 \\ -\underline{Z}_{14} & 0 & 0 & \underline{Z}_4 & \underline{Z}_5 & \underline{Z}_6 & 0 \\ -\underline{Z}_{17} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \underline{Z}_7 \end{bmatrix} \quad (7)$$

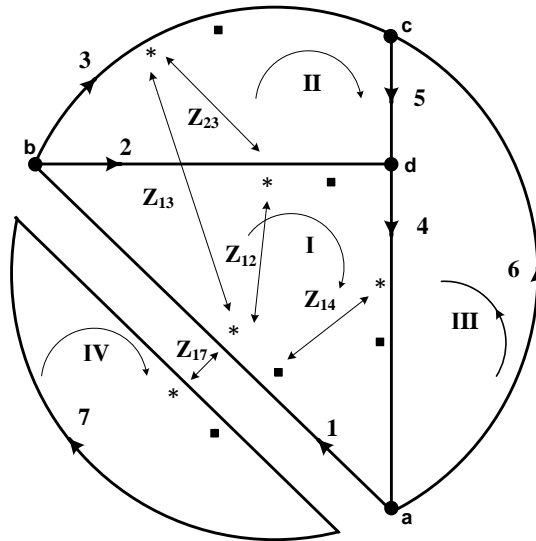


Рис. 1. Граф цепи с магнитными связями между ветвями

Для дальнейшего объяснения методики составления матрицы  $[B_M]$  будем проводить ее сравнение с матрицей  $[B]$ , характеризующей ту же схему, но без магнитной связи между ветвями. Матрицу  $[B]$  составим в предположении, что направления токов ветвей совпадают с соответствующими направлениями обходов контуров (кроме тока второй ветви при выбранном направлении обхода II-го контура). В этом случае все сопротивления ветвей будут иметь положительный знак (кроме сопротивления второй ветви указанного контура):

$$[B] = \begin{bmatrix} \underline{Z}_1 & \underline{Z}_2 & 0 & \underline{Z}_4 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -\underline{Z}_2 & \underline{Z}_3 & 0 & \underline{Z}_5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \underline{Z}_4 & \underline{Z}_5 & \underline{Z}_6 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \underline{Z}_7 \end{bmatrix} \quad (8)$$

Рассмотрим первые строки матриц  $[B]$  и  $[B_M]$ , составленные для контура I. Как видно из рис.1, в контуре I помимо сопротивлений ветвей  $\underline{Z}_1$ ,  $\underline{Z}_2$  и  $\underline{Z}_4$ , составляющих этот контур, должны войти сопротивления, учитывающие дополнительные падения напряжения, возникающие в контуре под влиянием магнитных связей с 1-ой, 2-ой, 3-ей, 4-ой и 7-ой ветвями, вызываемых токами соответствующих ветвей. При этом положения этих сопротивлений будут определяться соответствующими влияющими токами, т. о., в строку матрицы  $[B_M]$  следует внести сопротивления  $\underline{Z}_{12}$ ,  $\underline{Z}_{13}$ ,  $\underline{Z}_{14}$ ,  $\underline{Z}_{17}$ , расположив их в столбцах, соответствующих влияющим токам. Например, влияние тока  $I_7$  должно быть учтено слагаемым  $I_7 \underline{Z}_{71}$ , для чего вносимое сопротивление  $\underline{Z}_{71}$ , необхо-

димо расположить в 7-ом столбце 1-ой строки матрицы  $[B_M]$  (выбор знака как уже указывалось, будет объяснен позднее). Влияние тока  $I_3$  должно быть учтено слагаемыми  $Z_{31}$  и  $Z_{32}$ , которые необходимо расположить в 3-ем столбце рассматриваемой строки, хотя само сопротивление  $Z_3$  в первый контур не входит (так же, как и рассмотренное ранее сопротивление  $Z_7$ ). Влияние тока  $I_1$  на 2-ой и 4-ой ветвях должно быть учтено сопротивлениями  $Z_{12}$  и  $Z_{14}$ , которые необходимо расположить в первом столбце (помимо сопротивления  $Z_1$ ). Влияние тока  $I_2$  на первую ветвь следует учесть введением сопротивления  $Z_{21}$ , расположив его во втором столбце (помимо сопротивления  $Z_1$ ) и, наконец, влияние тока  $I_4$  на ветви, входящие в контур 1, следует учесть, расположив сопротивление  $Z_{41}$  в четвертом столбце первой строки (в сочетании с сопротивлением  $Z_4$ ). Аналогично заполняются и остальные места матрицы  $[B_M]$ . Например, в первом столбце второй строки необходимо записать сопротивления  $Z_{12}$  и  $Z_{13}$ , так как ток  $I_1$  вызывает дополнительные падения напряжения во второй и третьей ветвях цепи, входящих во второй контур.

Обобщив изложенное, можно сказать, что в столбце каждого влияющего тока должны быть записаны все сопротивления, вызывающие дополненные падения напряжения, причем эти сопротивления должны быть записаны в строках, соответствующих рассматриваемым контурам.

Выбор знака перед внесенными сопротивлениями определяется общим правилом, заключающемся в сравнении направлений обхода контура с направлением влияющего тока. Причем эти направления сравниваются относительно одноименных зажимов катушек, отмеченных звездочками. Если эти направления относительно одноименных зажимов одинаковы, то ставится знак «плюс», в противном случае – «минус».

Рассмотрим применение сформулированных правил для схемы, представленной на рис. 2, (схема рис. 2 соответствует графу рис. 1).

$R_1 = 10 \text{ Ом}, R_2 = 20 \text{ Ом}, R_3 = 30 \text{ Ом}, R_4 = 0 \text{ Ом}, R_5 = 10 \text{ Ом}, R_6 = 15 \text{ Ом}, R_{17} = 7 \text{ Ом},$   
 $L_1 = 16 \text{ мГн}, L_2 = 31,8 \text{ мГн}, L_3 = 63,7 \text{ мГн}, L_4 = 12,7 \text{ мГн}, L_6 = 19,1 \text{ мГн}, L_7 = 44,6 \text{ мГн},$   
 $C_1 = 317,4 \text{ мкФ}, C_3 = 318,3 \text{ мкФ}, C_6 = 198,9 \text{ мкФ}, C_7 = 454,7 \text{ мкФ}, M_{12} = M_{21} = 64 \text{ мГн}$   
 $M_{13} = M_{31} = 95 \text{ мГн}, M_{14} = M_{41} = 127 \text{ мГн}, M_{23} = M_{32} = 48 \text{ мГн}, M_{17} = M_{71} = 223 \text{ мГн},$   
 $f = 50 \text{ Гц}, E_1 = 40 \text{ В}, E_2 = j80 \text{ В}, E_3 = j20 \text{ В}, E_6 = 60 \text{ В}, E_7 = 30 \text{ В}.$

Уравнения в матричной форме, отражающие 1-ый и 2-ой законы Кирхгофа, будут иметь вид:

$$\begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 & 1 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 1 & -1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 \\ Z_1 - Z_{12} - Z_{14} & Z_2 - Z_{21} & Z_{32} - Z_{31} & Z_4 - Z_{41} & 0 & 0 & -Z_{71} & 0 \\ Z_{12} - Z_{13} & -Z_2 + Z_{23} & Z_3 - Z_{32} & 0 & Z_5 & 0 & 0 & 0 \\ -Z_{14} & 0 & 0 & Z_4 & Z_5 & Z_6 & 0 & 0 \\ -Z_{17} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & Z_7 & 0 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} i_1 \\ i_2 \\ i_3 \\ i_4 \\ i_5 \\ i_6 \\ i_7 \end{bmatrix} =$$

$$= \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ \dot{E}_1 + \dot{E}_2 \\ -\dot{E}_2 - \dot{E}_3 \\ \dot{E}_6 \\ \dot{E}_7 \end{bmatrix} \quad (8)$$

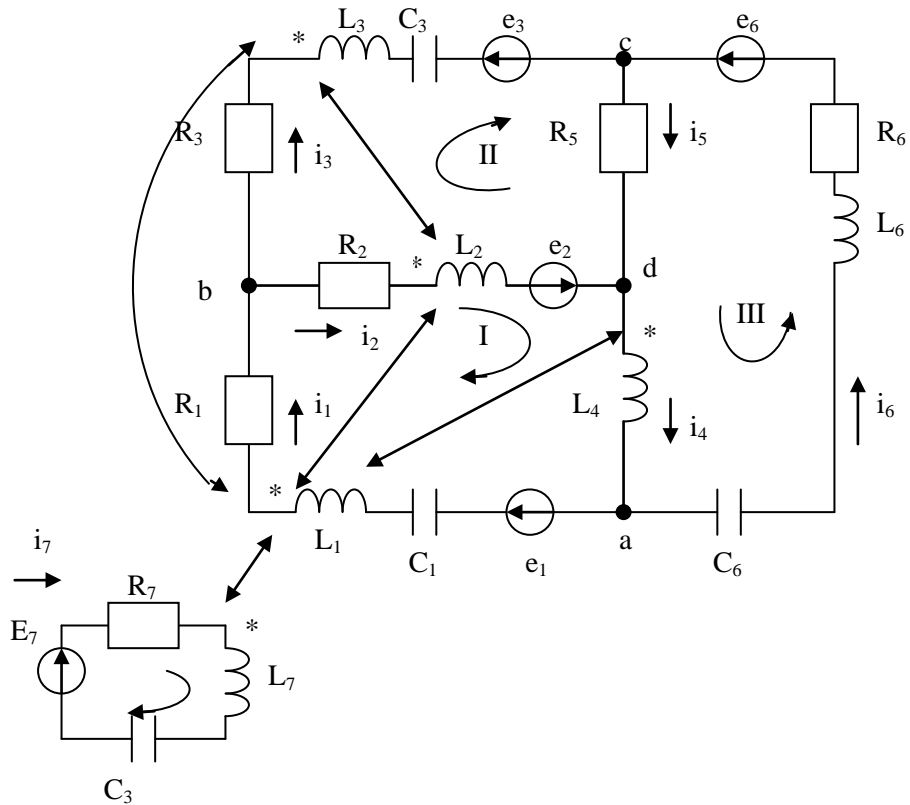


Рис. 2. Электрическая цепь с магнитными связями между ветвями

Если раскрыть выражение (8), то получим систему уравнений, составленных по 1-му и 2-му закону Кирхгофа для рассматриваемой цепи.

Уравнения, составленные по 1-му закону Кирхгофа для узлов а, b и с, соответственно:

$$\begin{aligned} \text{a} \quad & -\dot{I}_1 + \dot{I}_4 - \dot{I}_6 = 0 \\ \text{b} \quad & \dot{I}_1 - \dot{I}_2 - \dot{I}_3 = 0 \\ \text{c} \quad & \dot{I}_3 - \dot{I}_5 + \dot{I}_6 = 0 \end{aligned}$$

получаются в результате перемножения первых трех строк на матрицу – столбец токов ветвей.

Составим уравнения для выделенных контуров  $I, II, III, IV$  по второму закону Кирхгофа по обычной методике:

$$I - abda \quad \dot{I}_1 \underline{Z}_1 - \dot{I}_2 \underline{Z}_{21} - \dot{I}_3 \underline{Z}_{31} - \dot{I}_4 \underline{Z}_{41} - \dot{I}_7 \underline{Z}_{71} + \dot{I}_2 \underline{Z}_2 - \dot{I}_1 \underline{Z}_{12} + \dot{I}_3 \underline{Z}_{32} + \dot{I}_4 \underline{Z}_4 - \dot{I}_1 \underline{Z}_{14} = \dot{E}_1 + \dot{E}_2$$

$$II - dbcd \quad -\dot{I}_2 \underline{Z}_2 + \dot{I}_1 \underline{Z}_{12} - \dot{I}_3 \underline{Z}_{32} - \dot{I}_1 \underline{Z}_{13} + \dot{I}_2 \underline{Z}_{23} + \dot{I}_3 \underline{Z}_3 + \dot{I}_5 \underline{Z}_5 = -\dot{E}_2 - \dot{E}_3$$

$$III - acda \quad \dot{I}_6 \underline{Z}_6 + \dot{I}_5 \underline{Z}_5 + \dot{I}_4 \underline{Z}_4 - \dot{I}_1 \underline{Z}_{14} = \dot{E}_6$$

$$IV \quad \dot{I}_7 \underline{Z}_7 - \dot{I}_1 \underline{Z}_{17} = \dot{E}_7$$

$$\dot{I}_1 \underline{Z}_1 - \dot{I}_2 \underline{Z}_{21} - \dot{I}_3 \underline{Z}_{31} - \dot{I}_4 \underline{Z}_{41} - \dot{I}_7 \underline{Z}_{71} + \dot{I}_3 \underline{Z}_3 - \dot{I}_1 \underline{Z}_{13} + \dot{I}_2 \underline{Z}_{23} - \dot{I}_6 \underline{Z}_6 = \dot{E}_1 - \dot{E}_3 - \dot{E}_6$$

Если в полученных уравнениях сгруппировать члены при соответствующих токах ( $\dot{I}_1, \dot{I}_2$  и т. д.), то преобразованные таким образом уравнения будут полностью совпадать с уравнениями, которые получаются из матричного уравнения (8). Решая полученную систему, например при помощи программы Mathcad, получим следующие значения токов:

$$\dot{I}_1 = -0,146 + j0,483, \dot{I}_2 = -0,086 + j2,148, \dot{I}_3 = 0,061 - j1,665, \dot{I}_4 = 1,386 + j1,307 \\ \dot{I}_5 = 1,472 - j0,841, \dot{I}_6 = 1,533 + j0,823, \dot{I}_7 = -1,009 - j0,457,$$

Сделаем проверку для внешнего контура по 2-му закону Кирхгофа (обход по часовой стрелке):

$$\dot{I}_1 \underline{Z}_1 - \dot{I}_2 \underline{Z}_{21} - \dot{I}_3 \underline{Z}_{31} - \dot{I}_4 \underline{Z}_{41} - \dot{I}_7 \underline{Z}_{71} + \dot{I}_3 \underline{Z}_3 - \dot{I}_1 \underline{Z}_{13} + \dot{I}_2 \underline{Z}_{23} - \dot{I}_6 \underline{Z}_6 = \\ = \dot{E}_1 - \dot{E}_3 - \dot{E}_6$$

Левая часть =  $-20 - j20$ , Правая часть =  $-20 - j20$ .

Второй закон Кирхгофа выполняется:

$$\sum_n U = \sum_n E$$

На рисунках представлены зависимости активных  $\text{Re} \dot{I} - I_a$  (рис. 3) и реактивных  $\text{Im} \dot{I} - I_p$  (рис. 4) составляющих токов, сходящихся в узле «а» от частоты.

Как видно из рисунков, с изменением частоты меняются не только величины активных и реактивных составляющих токов, но и их направления.

Приведенная методика матричного анализа сложных электрических цепей с взаимной индуктивностью позволяет максимально формализовать систему расчетных уравнений, сделать ее наиболее удобной при использовании пакетов прикладных программ.

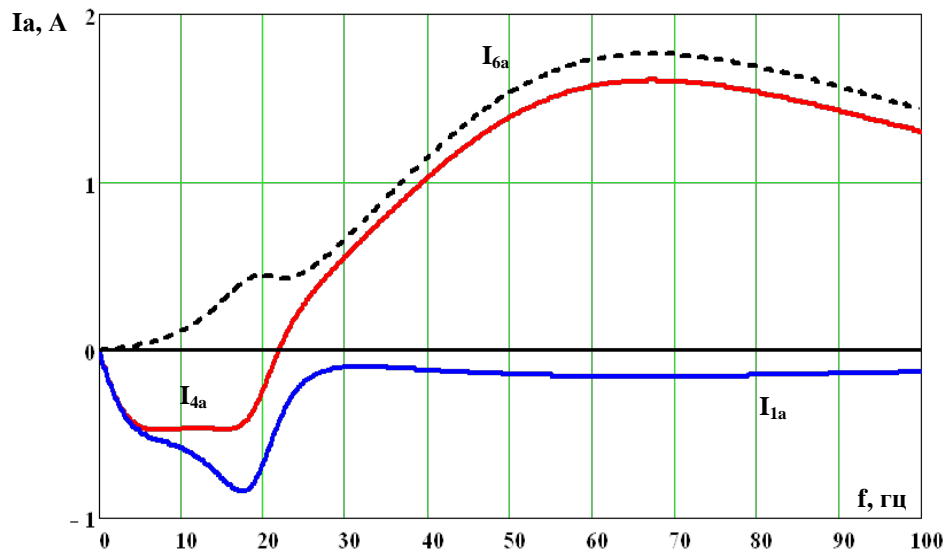


Рис. 3. Зависимости активных токов –  $I_a$ , сходящихся в узле «а» от частоты

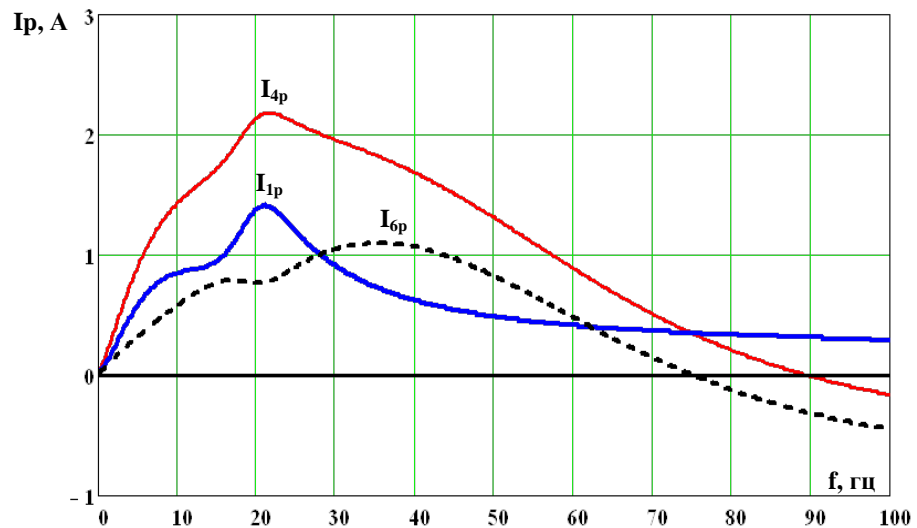


Рис. 4. Зависимости реактивных –  $I_p$ , токов сходящихся в узле «а» от частоты

## ЛИТЕРАТУРА

1. Атабеков Г. И. Теоретические основы электротехники. Линейные электрические цепи: учеб. пособие / 7-е изд., стер. СПб.; М.; Краснодар: Лань, 2009. 591 с.



2. Бычков Ю. А. Основы теории электрических цепей: Учебник для вузов / СПб.; М.; Краснодар: Лань, 2007. 464 с.

3. Прынишников В. А. Теоретические основы электротехники: Курс лекций: [Учеб. пособие для вузов]. 4-е изд., СПб.: Корона принт, 2006. 346 с.

*Petrov Yu. S., Maskov S. P., Galkina O. Yu.*

### **MATRIX ANALYSIS OF SLSCTRICAL CIRCUITS WITH MUTUAL INDUCTANCE**

*The method of equations of state of a complex is given circuit with inductive coupling in a matrix form on the basis of Kirchhoff's laws. Theoretical propositions are illustrated by way of example according to the analysis of the currents in the branches of the frequency.*

**Key words:** *electrical circuits, mutual inductance, matrix equations, matrix combination, Kirchhoff's law.*

### **BIBLIOGRAPHY**

1. *Atabekov G. I.* Theoretical Foundations of Electrical Engineering. Linear circuits: Proc. Benefit / 7th ed., Sr. St. Petersburg .; М .; Краснодар Lan, 2009. 591 p.

2. *Bychkov Yu.* Foundations of the theory of electrical circuits: Textbook for Universities / St. Petersburg .; М .; Краснодар: Lan: 2007. 464 p.

3. *Pryanishnikov V. A.* Theoretical Foundations of Electrical Engineering: Lectures: [Proc. manual for schools]. 4th ed., St. Petersburg .: Crown print, 2006. 346 p.



УДК 621.3

*Канд. техн. наук, профессор РОГАЧЕВ Л. В.,  
канд. техн. наук, доцент СОИИ А. М.*

### **ПРЕОБРАЗОВАНИЕ МАГНИТНО-СВЯЗАННЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ**

*В статье рассмотрена проблема расчета магнитно-связанных электрических цепей и предложен вариант ее решения. Авторы предлагают заменить цепи, связанные между собой магнитным полем, на цепи, содержащие только электрические связи. В результате получена эквивалентная электрическая цепь в форме четырехполюсника, что позволяет использовать типовые машинные методы расчета. Эквивалентность такой замены доказывается теоретически и подтверждается примером.*

**Ключевые слова:** *электрическая цепь, напряжение цепи, четырехполюсник, схема замещения, метод угловых потенциалов.*

При расчете магнитно-связанных электрических цепей (цепей с взаимной индуктивностью) во многих случаях бывает полезным заменить цепи,

связанные между собой через общее магнитное поле, на цепи с обычными гальваническими (проводниковыми) связями. Такая замена осуществляется на основании идентичности исходных уравнений для напряжений цепи с магнитно-связанными элементами и эквивалентной ей цепи, представленной в виде T-образной схемы замещения [1].

Осуществить преобразование магнитно-связанных цепей можно, используя теорию четырехполюсников и применяемых там эквивалентных схем. Рассмотрим электрическую схему замещения линейного трансформатора (рис. 1).

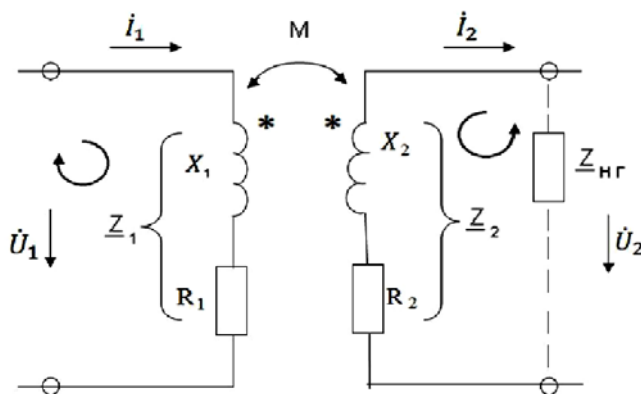


Рис.1. Схема замещения линейного трансформатора

Уравнения, составленные по II закону Кирхгофа для левого и правого контуров, имеют вид:

$$\dot{U}_1 = \underline{Z}_1 \dot{I}_1 - \underline{Z}_M \dot{I}_2, \quad (1)$$

$$\dot{U}_2 = -\underline{Z}_2 \dot{I}_2 + \underline{Z}_M \dot{I}_1, \quad (2)$$

где  $\underline{Z}_1 = R_1 + jX_1$ ,  $\underline{Z}_2 = R_2 + jX_2$ ,  $\underline{Z}_M = j\omega M = jX_M$  – полные комплексные сопротивления;

$\omega$  – угловая частота напряжения;

$M$  – взаимная индуктивность;

$X_M$  – сопротивление взаимной индукции.

Сравним уравнения (1) и (2) с уравнениями четырехполюсника в Z-форме:

$$\dot{U}_1 = \underline{Z}_{11} \dot{I}_1 + \underline{Z}_{12} \dot{I}_2, \quad (3)$$

$$\dot{U}_2 = \underline{Z}_{21} \dot{I}_1 + \underline{Z}_{22} \dot{I}_2. \quad (4)$$

Откуда  $\underline{Z}_{11} = \underline{Z}_1$ ,  $\underline{Z}_{12} = -jX_M$ ,  $\underline{Z}_{21} = jX_M$ ,  $\underline{Z}_{22} = -\underline{Z}_2$ ;

условие  $\underline{Z}_{12} = -\underline{Z}_{21}$  выполняется.

На основании уравнений (3) и (4) можно составить эквивалентную T-образной П-образную схему замещения, используя, например, преобразование

(3) и (4) в А-форму и определение параметров эквивалентной Т-образной схемы замещения через коэффициенты  $A, B, C, D$ . Уравнения (3), (4) в А-форме имеют вид:

$$\dot{U}_1 = A\dot{U}_2 + B\dot{I}_2, \quad (5)$$

$$\dot{I}_1 = C\dot{U}_2 + D\dot{I}_2, \quad (6)$$

где  $A = \frac{Z_{11}}{Z_{21}}, B = \frac{Z_{12}Z_{21} - Z_{11}Z_{22}}{Z_{21}}, C = \frac{1}{Z_{21}}, D = -\frac{Z_{22}}{Z_{21}},$

т. е.  $A = \frac{Z_1}{Z_M}, B = \frac{Z_1Z_2 - Z_M^2}{Z_M}, C = \frac{1}{Z_M}, D = \frac{Z_2}{Z_M}.$

Для найденных коэффициентов выполняется условие  $AD - BC = 1$ .

На основе найденных коэффициентов  $A, B, C, D$  определим параметры эквивалентной Т-образной схемы замещения, представленной на рис. 2:

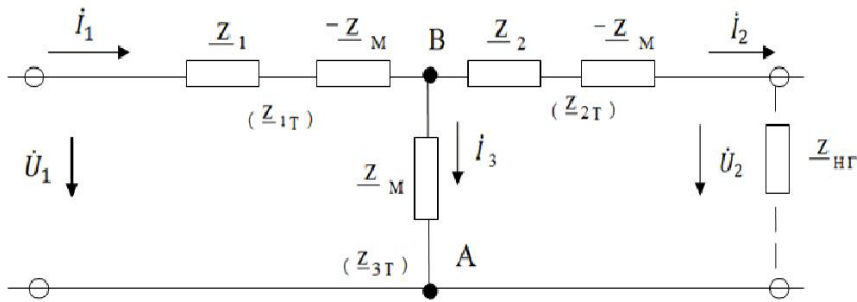


Рис. 2. Эквивалентная Т-образная схема замещения четырехполюсника

$$Z_{1T} = \frac{A-1}{C}; \quad Z_{2T} = \frac{D-1}{C}; \quad Z_{3T} = \frac{1}{C},$$

т. е.

$$Z_{1T} = \frac{\frac{Z_1}{Z_M} - 1}{\frac{1}{Z_M}} = Z_1 - Z_M; \quad Z_{2T} = \frac{\frac{Z_2}{Z_M} - 1}{\frac{1}{Z_M}} = Z_2 - Z_M; \quad Z_{3T} = Z_M.$$

Найденные сопротивления введены в соответствующие ветви Т-образной схемы замещения. Уравнения напряжений для построенной эквивалентной схемы замещения (с учетом того, что  $\dot{I}_3 = \dot{I}_1 - \dot{I}_2$ ) имеют вид:

$$\dot{I}_1(Z_1 - Z_M) + (\dot{I}_1 - \dot{I}_2)Z_M = \dot{U}_1, \quad (7)$$

$$(\dot{I}_1 - \dot{I}_2)Z_M - \dot{I}_2(Z_2 - Z_M) = \dot{U}_2. \quad (8)$$

Или после упрощения

$$\dot{U}_1 = \dot{I}_1 \underline{Z}_1 - \dot{I}_2 \underline{Z}_M,$$

$$\dot{U}_2 = -\dot{I}_2 \underline{Z}_2 + \dot{I}_1 \underline{Z}_M,$$

т. е. получены уравнения (1) и (2).

Так как в полученной схеме токи  $\dot{I}_1$  и  $\dot{I}_2$  и напряжения  $\dot{U}_1$  и  $\dot{U}_2$  равны соответствующим токам и напряжениям в линейном трансформаторе, то предложенная схема является эквивалентной схемой этого трансформатора. И, следовательно, вместо схемы рис. 1 в расчетах можно использовать схему рис. 2, для которой известны типовые расчеты.

Для подтверждения сказанного, проведем анализ баланса мощностей в рассматриваемых схемах при одинаковых исходных данных:

$$\begin{aligned} U_1 &= (3 - j5) \text{ В}; \underline{Z}_1 = (R_1 + jX_1) = (1 + j) \text{ Ом}; \underline{Z}_2 = (R_2 + jX_2) = (1 + j2) \text{ Ом}; \\ \underline{Z}_{\text{НГ}} &= (0,5 - j2) \text{ Ом}; \underline{Z}_M = jX_M = j \text{ Ом}. \end{aligned}$$

Для схемы, представленной на рис. 1, рассчитаем токи в каждой ветви. После подстановки числовых данных в (1), (2) и замены  $\dot{U}_2$  через падение напряжения на нагрузке  $\dot{I}_2 \underline{Z}_{\text{НГ}}$  получим систему уравнений:

$$\left. \begin{aligned} 3 - j5 &= \dot{I}_1(1 + j) - \dot{I}_2 j \\ \dot{I}_2(0,5 - j2) &= -\dot{I}_2(1 + j2) + \dot{I}_1 j \end{aligned} \right\}$$

из которой найдём

$$\dot{I}_1 = -j3 \text{ А}; \dot{I}_2 = 2 \text{ А}.$$

Комплекс полной мощности генератора, В·А:

$$\hat{S}_{1Г} = \dot{U}_1 \cdot \dot{I}_1^* = (3 - j5) \cdot j3 = 15 + j9.$$

Комплекс полной мощности потребителей, В·А:

$$\begin{aligned} \hat{S}_{1П} &= \dot{I}_1 \dot{I}_2^* (-\underline{Z}_M) + \dot{I}_1^* \dot{I}_2^* (-\underline{Z}_M) + \dot{I}_1^2 \underline{Z}_1 + \dot{I}_2^2 (\underline{Z}_2 + \underline{Z}_{\text{НГ}}) = (-j3) \cdot 2 \cdot (-1) + \\ &+ j3 \cdot 2 \cdot (-1) + 3^2 (1 + j) + 2^2 (1 + j2 + 0,5 - j2) = 15 + j9. \end{aligned}$$

Для преобразованной Т-образной схемы по рис.2 при тех же исходных расчётных данных определим токи в ветвях методом узловых потенциалов. Приняв потенциал нижнего узла А равным нулю и предварительно определив комплексные проводимости ветвей  $\underline{Y}_1, \underline{Y}_2, \underline{Y}_3$ , найдём потенциал  $\phi_B$  верхнего узла В:

$$\phi_B = \frac{\dot{U}_1 \cdot \underline{Y}_1}{\underline{Y}_1 + \underline{Y}_2 + \underline{Y}_3} = \frac{(3 - j5) \cdot 1}{1 + \frac{1}{1,5 - j} - j} = (3 - j2) \text{ В}.$$

Тогда токи в ветвях:

$$\dot{I}_1 = \frac{(\dot{U}_1 - \dot{\Phi}_B)}{\underline{Z}_1 - \underline{Z}_M} = \frac{(3 - j5 - 3 + j2)}{1 + j - j} = -j3 \text{ A}; \quad \dot{I}_2 = \frac{\dot{\Phi}_B}{\underline{Z}_2 - \underline{Z}_M + \underline{Z}_{\text{НГ}}} = \frac{3 - j2}{1,5 - j} = 2 \text{ A},$$

$$\dot{I}_3 = \frac{\dot{\Phi}_B}{\underline{Z}_M} = \frac{3 - j2}{j} = (-2 - j3) \text{ A}.$$

Проверим баланс мощностей применительно к схеме рис.2.

Комплекс полной мощности генератора, В·А:

$$\hat{S}_{2Г} = \dot{U}_1 \cdot \dot{I}_1^* = (3 - j5) \cdot j3 = 15 + j9.$$

Комплекс полной мощности потребителей, В·А:

$$\begin{aligned} \hat{S}_{2П} &= I_1^2(\underline{Z}_1 - \underline{Z}_M) + I_2^2(\underline{Z}_2 - \underline{Z}_M + \underline{Z}_{\text{НГ}}) + I_3^2 \underline{Z}_M = \\ &= 3^2(1 + j - j) + 2^2(1 + j2 - j + 0,5 - j2) + (\sqrt{13})^2 \cdot j = 15 + j9. \end{aligned}$$

Таким образом, так как  $\hat{S}_{1Г} = \hat{S}_{1П} = \hat{S}_{2Г} = \hat{S}_{2П}$ , то при одинаковых исходных данных баланс мощностей для схемы по рис. 1 совпадает с балансом мощностей для схемы по рис. 2, что подтверждает правомочность предлагаемой замены цепей.

Рассмотренный метод замены действительной электрической цепи, в которой отдельные ветви и, следовательно, контуры связаны между собой через взаимную индуктивность, эквивалентной ей электрической цепью, в которой все ветви и контуры связаны между собой электрически, а взаимная индуктивность учтена введением дополнительных элементов в эквивалентную схему, позволяет формализовать расчеты магнитно-связанных цепей и применить к ним общие методы расчета цепей без взаимной индуктивности, например, метод узловых напряжений.

Введение в эквивалентную схему отрицательных элементов ( $-\underline{Z}_M$ ), равнозначных отрицательным (физически не реализуемым) индуктивностям, является расчетным приемом, который не искажает конечный результат.

Структура и параметры эквивалентной схемы замещения (рис. 2) определялись сравнением уравнений исходной и эквивалентной схем. Применение теории четырехполюсников для обоснования эквивалентной схемы расширяет возможности преобразования магнитно-связанных электрических цепей. Например, схему замещения трансформатора по рис. 1, как было сказано выше, можно представить не только  $T$ -образной, но и  $\Pi$ -образной схемой замещения (рис. 3).

Используя законы Кирхгофа и выполнив необходимые преобразования [2], получим следующие уравнения, связывающие токи и напряжения на входе и выходе схемы:

$$\dot{U}_1 = \dot{I}_1 \frac{(\underline{Z}_4 + \underline{Z}_6)\underline{Z}_5}{\underline{Z}_\Sigma} - \dot{I}_2 \frac{\underline{Z}_6 \underline{Z}_5}{\underline{Z}_\Sigma}, \quad (9)$$

$$U_2 = i_1 \frac{\underline{Z}_5 \underline{Z}_6}{\underline{Z}_\Sigma} - i_2 \frac{(\underline{Z}_4 + \underline{Z}_5) \underline{Z}_6}{\underline{Z}_\Sigma}, \quad (10)$$

где

$$\underline{Z}_\Sigma = \underline{Z}_4 + \underline{Z}_5 + \underline{Z}_6.$$

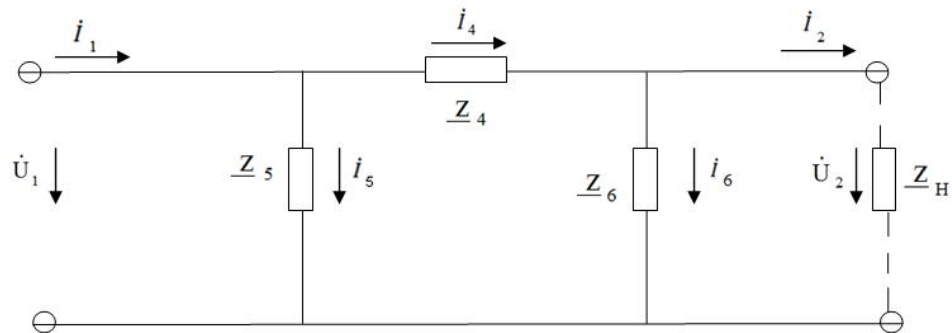


Рис. 3. Эквивалентная П-образная схема замещения четырехполюсника

Сравнивая уравнения (1), (2) и (9), (10), найдем:

$$\underline{Z}_1 = \frac{(\underline{Z}_4 + \underline{Z}_6) \underline{Z}_5}{\underline{Z}_\Sigma}; \quad (11)$$

$$\underline{Z}_M = \frac{\underline{Z}_5 \underline{Z}_6}{\underline{Z}_\Sigma}; \quad (12)$$

$$\underline{Z}_2 = \frac{(\underline{Z}_4 + \underline{Z}_5) \underline{Z}_6}{\underline{Z}_\Sigma}. \quad (13)$$

Полученные формулы (11–13) связывают параметры магнитно-связанной цепи (рис. 1) с эквивалентной П-образной схемой замещения (рис. 3). Их можно использовать как для определения параметров исходной схемы замещения по заданным сопротивлениям эквивалентной П-образной, так и, наоборот, для определения параметров эквивалентной схемы замещения по заданным параметрам исходной.

Предложенный прием развязывания магнитно-связанных цепей может быть использован для представления различных электротехнических устройств эквивалентными схемами замещения на основе уравнений соответствующих четырехполюсников.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Бессонов Л. А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи. М.: Гардарики, 2006. 702 с.

2. Петров Ю. С., Рогачев Л. В., Масков С. П., Саханский Ю. В. Четырехполюсники и их соединения: Монография. Владикавказ: Изд-во Северо-Кавказского Горно-Металлургического института (государственного технологического университета). «Терек», 2014. 116 с.

Rogachev L. V., Soin A. M.

## TRANSFORMATION MAGNETIC CONNECTED ELECTRIC CHAINS



УДК 622.235.432

Канд. техн наук, доцент САХАНСКИЙ Ю. В.,  
аспирант ГУГКАЕВА Е. В.,  
аспирант САХАНСКАЯ И. В.

### КОНТРОЛЬ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ ИНИЦИИРОВАНИЯ ЗАРЯДОВ – ОСНОВА БЕЗОТКАЗНОСТИ ВЗРЫВНЫХ РАБОТ

*Определены нормируемые параметры системы инициирования зарядов. Разработан алгоритм работы контрольно-измерительного комплекса системы электровзрывания. Обоснована необходимость измерения, контроля и стабилизации параметров систем инициирования зарядов, которая подтверждается "Перспективными техническими требованиями к системам электровзрывания", разработанными с учетом "Единых правил безопасности при взрывных работах".*

**Ключевые слова:** система инициирования зарядов взрывчатых веществ, электродетонатор, электровзрывание.

Значительный объем взрывных работ в горно-добывающих отраслях промышленности, при разведке месторождений полезных ископаемых, в гидротехническом, дорожном строительстве, при импульсной обработке материалов, резке и сварке взрывом различных конструкций и т. п. осуществляется с применением электрического способа взрывания зарядов ВВ. Достоинства этого способа взрывания широко известны, в большинстве случаев он наиболее эффективен с точки зрения безопасности работ, производительности и надежности действия. В шахтах, опасных по взрыву газа или пыли, электрический способ взрывания является единственно возможным.

Безопасность и безотказность взрывных работ во многом определяется стабильностью параметров системы инициирования (СИН).

Автоматизация измерительных приборов и внедрение цифровых технологий позволяют решить задачу контроля параметров СИН непосредственно при монтаже ЭВЦ, что создаёт условия, обеспечивающие безотказность и безопасность взрывания.

Прежде чем выбрать СИН, соответствующую условиям проведения взрывных работ, следует определить степень опасности блуждающих токов в зоне предстоящего монтажа ЭВЦ или на всем предприятии в целом.

Выбрав электродетонатор (ЭД) соответствующего типа (по устойчивости к воздействию блуждающих токов) и необходимую структуру цепи, рассчитывают входное сопротивление цепи. Далее, после монтажа электровзрывной цепи, выполняют соответствующие измерительные операции по контролю ее параметров.

Общее сопротивление электровзрывной сети должно быть предварительно рассчитано с целью последующего сравнения результата с измеренным значением.

Полный алгоритм рекомендуемых измерительных операций по контролю параметров электровзрывной цепи изображен на рис. 1.

Начальной операцией работы алгоритма является операция измерения величины блуждающих токов в месте проведения электровзрывных работ, после чего измеренная величина сравнивается с нормированным значением тока для применяемых в данном случае ЭД. Если величина блуждающих токов превышает значение нормированной допустимой величины тока ЭД, то проводятся мероприятия по нейтрализации влияния источника возникновения блуждающих токов, если же величина блуждающих токов не превышает значение нормированной величины тока ЭД, то используют ЭД нормальной чувствительности (ЭДНЧ) и проводят монтаж электровзрывной цепи. Если проведённые мероприятия не приносят необходимого результата, или нейтрализовать влияние источника блуждающих токов не представляется возможным, то применяют ЭД пониженной чувствительности (ЭДПЧ) и также переходят к монтажу электровзрывной цепи.

После монтажа электровзрывной цепи измеряют сопротивление изоляции полностью смонтированной и подготовленной электровзрывной цепи и сравнивают его с расчётным (определённой из паспортных данных ЭД и магистральных проводов).

Если фактическое сопротивление изоляции меньше расчётного, то проводится комплекс мероприятий по выявлению утечек, после чего определение фактического сопротивления изоляции производят вновь. Если фактическое сопротивление изоляции больше расчётного, измеряют входное сопротивление электровзрывной цепи и сравнивают измеренное сопротивление и расчётное.

Согласно п. 97 Единых правил безопасности при взрывных работах, разница между данными значениями сопротивлений не должна превышать 10 %.

Если это условие не выполняется, то проводят мероприятия по устранению причин превышения разницы сопротивлений, после чего цикл начинают с измерения сопротивления изоляции. Если же условие о разнице сопротивлений выполняется, то переходят к инициированию электровзрывной цепи, после чего определяют количество энергии, затраченной на инициирование и сравнивают его с расчётным значением энергии, необходимой для 100 %-го инициирования всех ЭД в цепи.

Если фактическое значение количества затраченной энергии меньше расчётного, то имеют место отказы, и необходимо провести мероприятия по обезвреживанию несработавших ЭД. Если же фактическое значение количества затраченной энергии больше или равно расчётному, то имело место срабатывание всех ЭД, и процесс инициирования успешно завершён.



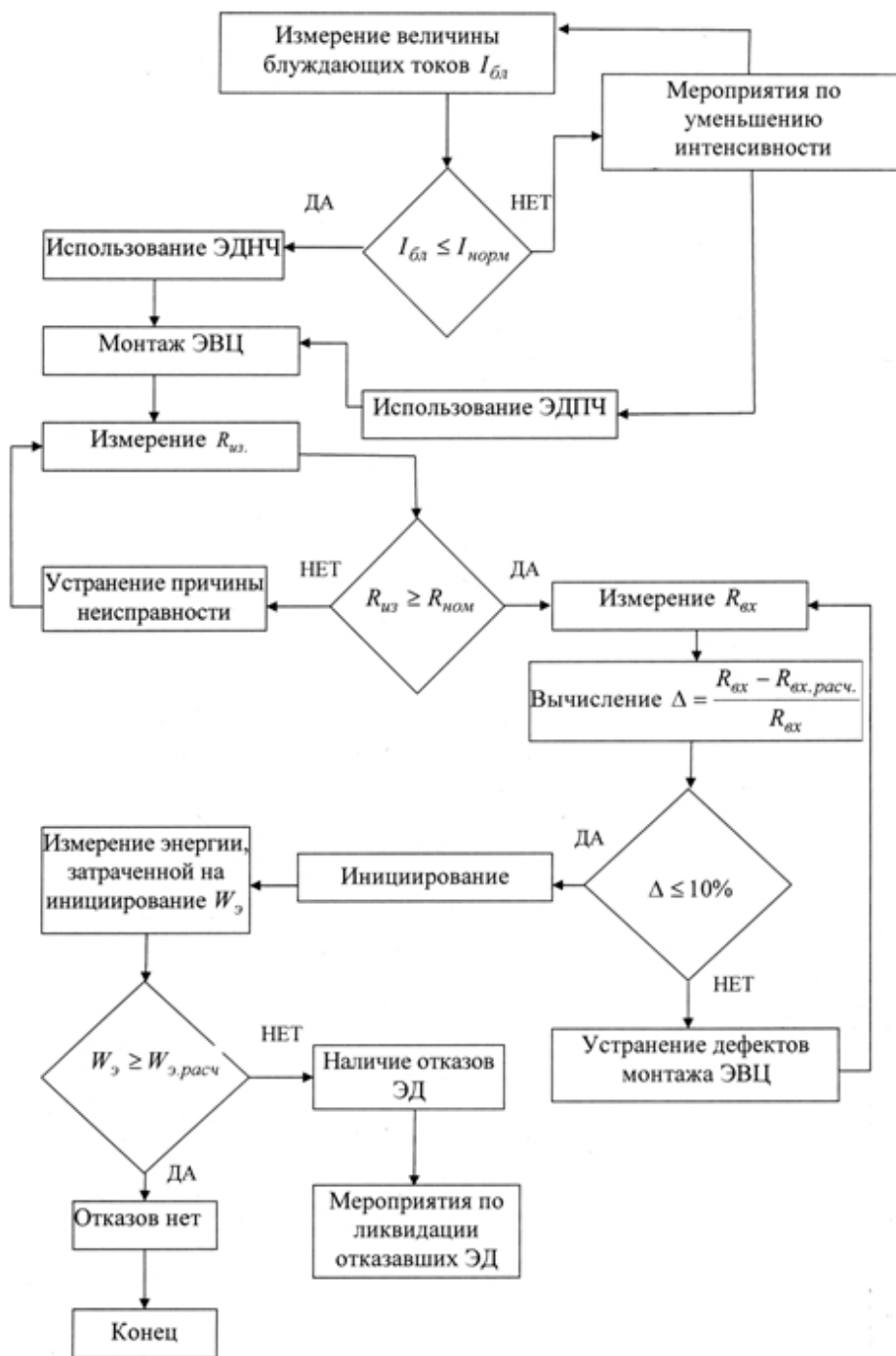


Рис. 1. Алгоритм работы контрольно-измерительного комплекса системы электровзрывания

Важной измерительной операцией является измерение сопротивления изоляции  $R_{и}$  электровзрывной цепи. Сопротивление изоляции электровзрывной сети влияет на ряд важных факторов. Оно вызывает утечку иницирующей

шего импульса (что может привести к отказам), создает возможность втеkania в сеть блуждающих токов (что может привести к преждевременным взрывам зарядов), приводит к уменьшению входного сопротивления, что вносит неопределенность в оценку результатов его измерения.

Согласно многочисленным исследованиям сопротивления изоляции электровзрывной цепи были рекомендованы следующие нормы. Сопротивления изоляции электровзрывной цепи должны быть:

- а) при последовательном соединении ЭД не менее 5 кОм;
- б) при параллельном и смешанном соединении не менее 1 кОм.

Если сопротивление изоляции сети ниже нормы, то необходимо проверить состояние изоляции сети и устранить неисправности (изолировать сростки проводов, исключить контакт проводов электровзрывной сети с металлическими устройствами и т. п.). После устранения неисправностей снова измеряют сопротивление изоляции и, если оно превышает или равно нормированному значению для данной конкретной сети, то приступают к следующей операции – измерению входного сопротивления.

Входное сопротивление электровзрывной цепи зависит от числа и схемы соединения ЭД, наличия утечек (возможного контакта проводов с нарушенной изоляцией с землей или металлическими предметами). Число ЭД определяется общим их количеством как в основных, так и в дублирующих ветвях и устанавливается в соответствии с технологией и паспортом буровзрывных работ. Общим (входным) сопротивлением (или просто сопротивлением) электровзрывной цепи является электрическое сопротивление полностью собранной цепи с учетом сопротивления магистральных проводов, т. е. сопротивления электровзрывной цепи относительно зажимов, присоединенных к прибору взрывания. При измерении входного сопротивления концы магистральных проводов присоединяют к измерительному прибору и берут отсчет по соответствующей шкале.

Результат измерения необходимо сравнить с расчетным значением входного сопротивления. При расхождении измеренного и расчетного сопротивления сети более чем на 10 %, необходимо устранить неисправности, вызывающие эти отклонения (плохо зачищенные жилы проводов, слабые сростки и т. п.). При невозможности измерить сопротивление электровзрывной сети должна быть проверена электрическая проводимость сети.

Измерение реактивных параметров электровзрывной цепи непосредственно перед иницированием может быть рекомендовано только для специальных цепей: при высокочастотном иницировании или при использовании ЭД специальных типов. Влияние реактивных параметров электровзрывной сети, т. е. реактивных составляющих входного сопротивления (индуктивной и емкостной), должно учитываться при проектировании и расчете производительности высокочастотных взрывных приборов, при наведении в электровзрывной цепи блуждающих токов в результате электромагнитной индукции, электромагнитных излучений при определении безопасных расстояний до высокочастотных источников блуждающих токов, а также при разработке соответствующих правил и рекомендаций.

Как известно, десятипроцентное расхождение  $\Delta_{\text{доп}}$  между расчетным и измеренным сопротивлением электровзрывной цепи регламентируется § 143 Единых правил безопасности. Результат измерения входного сопротивления

(измеренное значение) включает в себя расхождение  $\Delta_c$  между действительным  $R_d$  и расчетным  $R_{расч}$  значениями входного сопротивления ЭВЦ и погрешность прибора  $\delta$ .

Таким образом, суммарное расхождение не должно превышать 10 %:  $\Delta_c + \delta = \Delta_{доп} \leq 10 \%$ . Последнее обстоятельство определяет требования к точности прибора, которая должна увеличиваться с увеличением  $\Delta_c$ .

В общем случае для действительного значения сопротивления электровзрывной цепи можно принять нормальный закон распределения. С увеличением погрешности прибора число случаев  $N$ , при которых возможно правильное толкование результата измерения, будет уменьшаться, составляя, например, при 3 % погрешности 76 %. При погрешности  $\delta \rightarrow 10 \%$  число случаев  $N \rightarrow 0$ , т. е. правильное толкование результатов измерений, становится невозможным.

Таким образом, при оценке результатов измерений чем точнее прибор, тем большее число случаев реального состояния электровзрывной сети охватывается требованием ЕПБ о десятипроцентном расхождении. Однако высокий класс точности трудно реализовать в переносном приборе, предназначенном для эксплуатации в условиях горных предприятий. Анализ, проведенный с учетом основных влияющих факторов, позволил рекомендовать класс точности для взрывных омметров не ниже 4,0.

Измерение параметров электровзрывной цепи должно проводиться только приборами, специально предназначенными и допущенными для этой цели. К этим приборам предъявляется ряд специальных требований для обеспечения безопасности их применения.

Одним из основных является требование, чтобы ток, развиваемый измерительным прибором в проверяемой цепи и на всех выходах при любом возможном повреждении схемы (за исключением неповреждаемых защитных элементов), не превышал 0,05 А. Измерительные импульсы при токе более 0,05 А, которые могут быть развиты прибором в цепи ЭД при нормальном и аварийном состоянии измеряемой цепи и любых возможных повреждениях схемы прибора, не должны превышать 1/3 допускаемого минимального импульса воспламенения ЭД в соответствии ГОСТ 9089-75.

Применяемые в измерительном приборе источники питания с током короткого замыкания более 0,05 А, а также части схемы, в которых в нормальных и аварийных режимах могут протекать токи более 0,05 А (при импульсах тока более 0,33 безопасного импульса воспламенения ЭД, нормируемого стандартами на ЭД), должны находиться в оболочке, крышка которой пломбируется и может открываться только специальным ключом.

Перечисленные требования относятся к измерительным приборам, непосредственно подключаемым к электровзрывной цепи.

Недостатком описанной методики контрольно-измерительных операций является то, что неисправности в электровзрывной цепи и, в частности, нарушения сопротивления изоляции, определяются после окончания монтажа цепи, а не в процессе ее сборки. Однако исправлять дефекты после сборки цепи не только затруднительно, но и иногда просто невозможно. Более эффективным способом контроля состояния электровзрывной цепи является

способ, включающий непрерывный контроль изоляции (измерение параметров относительно земли) в процессе монтажа. В этом случае нарушение изоляции будет обнаружено сразу же, как только оно возникнет. Следовательно, будет сразу известно место нарушения изоляции и существенно облегчится задача устранения дефекта.

Основной трудностью при осуществлении контроля сопротивления изоляции электровзрывной цепи является устройство дополнительного электрического контакта измерительной системы с землей. Реализация измерительного гальванического контакта трудна практически (так как необходимо бурить дополнительный шнур и делать устройство, подобное заземлителю) и ненадежна при использовании (так как величина переходного сопротивления существенно зависит от ряда случайных факторов).

В СКГМИ (ГТУ) разработан новый способ контроля сопротивления изоляции, свободный от указанных недостатков [1]. Для теоретического обоснования способа и получения необходимых количественных характеристик были использованы определенные ранее функциональные зависимости [2].

Если измерительный прибор расположить в начале распределительной сети и измерять ее параметры, то следует сравнивать между собой два режима: нормальное состояние изоляции – отсутствие сосредоточенной утечки, и нарушение изоляции, т. е. наличие сосредоточенной утечки в конце распределительной сети. Входное сопротивление во втором случае будет определяться формулой, учитывающей сосредоточенную утечку.

Измерение сопротивления относительно земли распределительной сети должно дать результат, совпадающий (с допустимыми отклонениями) с расчетным значением. На основании этого можно сделать вывод о состоянии изоляции распределительной сети.

Аналогичным способом можно поступить при определении состояния изоляции магистральных проводов, причем измерения можно делать или со стороны взрывного прибора (при отключенной распределительной сети), или со стороны распределительной сети – при отключенном взрывном приборе. Формулы для расчетов будут аналогичны; разница будет в конкретной величине входящих в эти формулы параметров.

Измерительный прибор можно расположить и в начале электровзрывной цепи (непосредственно около взрывного прибора) и контролировать состояние изоляции всей системы в целом. В этом случае магистральные провода и распределительную сеть можно считать двумя каскадно соединенными элементами, причем магистральные провода (линия с распределительными параметрами) нагружены на распределительную сеть.

Расчеты, выполненные по соответствующим формулам, позволили сделать ряд методических выводов и обосновать основные параметры измерительной системы. Наиболее значительно влияние утечки проявляется, если измерения проводить отдельно от магистральных проводов и распределительной сети. В связи с этим можно рекомендовать сначала измерить сопротивление относительно земли магистральных проводов, а затем подключить прибор к распределительной сети (не подсоединяя ее до конца монтажа к магистральным проводам).

Как показали расчеты и анализ спектрального состава блуждающих токов, частота измерительного состава должна быть несколько десятков килогерц – для

того, чтобы отстроиться от возможного влияния блуждающих токов. Эта величина должна быть скорректирована в соответствии с параметрами электровзрывной цепи различных типов и различными условиями ведения взрывных работ. Задавая чувствительностью измерительного механизма и требованиями безопасности, можно определить и амплитуду входного напряжения.

Новый способ непрерывного контроля параметров электровзрывной цепи относительно земли был проверен экспериментально на Тырныаузском вольфрамо-молибденовом комбинате. Эксперименты подтвердили функциональные возможности и надежность метода. В качестве измеряемой величины в измерительной системе может быть использован не только ток, но и фаза. В соответствии с выбранной измеряемой величиной должен разрабатываться и измерительный прибор. При нарушении изоляции может подаваться звуковой или световой сигнал или тот и другой вместе.

Применение непрерывного контроля сопротивления изоляции позволит своевременно устранить возникающие нарушения в ЭВЦ, более достоверно оценивать ее параметры, что, в свою очередь, позволит повысить безопасность и надежность взрывных работ.

Необходимость измерения и стабилизации параметров СИН подтверждается "Перспективными техническими требованиями к системам электровзрывания", разработанными с учетом "Единых правил безопасности при взрывных работах", которые применяются в рамках системного анализа в отечественной и зарубежной практике средств инициирования, приборов и других элементов систем электровзрывания, а также тенденций их развития [3].

Помимо контроля параметров ЭВЦ существенным моментом в общем комплексе контрольно-измерительных операций на взрывных работах является определение отказов после производства взрыва. Несмотря на постоянное повышение качества средств взрывания и увеличение надежности электровзрывных работ, проблема предупреждения и индикации отказов не теряет своей актуальности и в настоящее время. Предложены различные методы индикации отказов. В частности, были предложены методы определения срабатывания ЭД и зарядов: по передаче детонационных волн в горном массиве или акустических в воздухе; по электромагнитным возмущениям, сопутствующим взрыву; с помощью различных агентов, вводимых в шпур и рассеиваемых при взрыве (радиоактивных, ферромагнитным и др.). Однако ни один из предложенных способов не нашел практического применения из-за присутствующих им недостатков.

В СКГМИ (ГТУ) разработаны методы индикации отказов, основанные на измерении электрических параметров СИН [4]. Как показывают расчеты и предварительные эксперименты, методы могут быть использованы на взрывных работах для получения информации о возможных групповых отказах в системе. Определение тем или иным способом возможных отказов, очевидно, стоит включить в общую методику контрольно-измерительных операций при электровзрывании.

Длительное время средства электрического инициирования ВВ, взрывные приборы и приборы контроля взрывных цепей и электродетонаторов, взрывные провода, кабели и соединения разрабатывались различными организациями и предприятиями нескольких министерств без учета того обстоятельства, что применяются они в единой взаимосвязанной системе.

Отсутствие технических требований к элементам электрической системы взрывания стало значительным препятствием в их развитии и расширении области применения.

Выполнение необходимых контрольно-измерительных операций на электровзрывных работах повысит безопасность и безотказность инициирования, позволит более качественно и эффективно применять СИН на горных предприятиях.

Использование предлагаемого алгоритма и разработанных приборов контроля параметров СИН позволит комплексно осуществлять контроль источника питания, контроль величины блуждающих токов, измерение входного сопротивления электровзрывной цепи, заряд конденсатора-накопителя до необходимого уровня, что существенно повысит эффективность, безопасность и безотказность в работе с электровзрывными цепями.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Петров Ю. С., Пагиев К. Х., Кубанцев Е. В. Непрерывный контроль параметров электровзрывных цепей относительно земли // Тезисы докладов международной конференции «Безопасность и экология горных территорий». Владикавказ, 1995.
2. Граевский М. М. Справочник по электрическому взрыванию. М.: Рандеву-АМ, 2004.
3. Перспективные технические требования к системам электровзрывания // Информационный бюллетень № 11 (930) 89. 64. М.: Госгортехнадзор СССР, 1989.
4. Патент РФ на изобретение № 2246379 от 27.03.2012. Петров Ю. С., Саханский Ю. В. Индикатор отказов при электровзрывании.
5. Единые правила безопасности при взрывных работах (ПБ 13-407-01) Зарегистрированы Министерством юстиции Российской Федерации 7 июня 2001 г., регистрационный № 2743.

*Sakhansky Yu. V., Gugkaeva E. V., Sakhansky I. V.*

#### **CONTROL PARAMETERS OF THE SYSTEM PRIMING – THE BASIS OF RELIABILITY BLASTING**

*Defined normalized parameters of the system priming. The algorithm works control and measuring complex system elektroblasting. The necessity of measuring, control and stabilization systems parameters priming confirmed "promising System requirements elektroblasting" tailored "Uniform safety during blasting operations."*

**Key words:** *system of initiation of explosives, electrodetonators, elektroblasting.*

#### **BIBLIOGRAPHY**

1. Petrov Y. S, Pagiev K. H., Kubantsev E.V. Continuous monitoring of parameters electroexplosion chains relative to the ground // Abstracts of the interna-

tional conference "Safety and Ecology of Mountain Territories". Vladikavkaz, 1995.

2. RF patent number 2246379 from 27.03.2012 g. Petrov Y. S., Sahansky Y. Failure indicator when elektrovzryvaniy.

3. *Graevskii M. M.* Handbook of electric blasting. M.: Rendez-AM, 2004.

4. Advanced technical requirements for elektrovzryvaniya // Newsletter number 11 (930). 89. 64. M.: Gosgortekhnadzor USSR, 1989.

6. Common safety rules for blasting operations (PB 13-407-01) registered by the Ministry of Justice of the Russian Federation, June 7, 2001, registration number 2743.



УДК 332.821

Канд. эконом. наук, доцент ДЖАГАЕВА М. С.,  
канд. техн. наук, доцент РУБАНОВСКАЯ С. Г.,  
аспирант ГУРИЕВА М. Т.

### АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ЖИЛИЩНОЙ СФЕРЫ МУНИЦИПАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ г. ВЛАДИКАВКАЗА В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ

Одной из важнейших социально-экономических задач общества и государства является обеспечение населения жильем, отвечающим современным требованиям. Уровень развития жилищной сферы напрямую влияет на экономический рост государства и определяет уровень социального развития, так как улучшение жилищных условий является одной из самых приоритетных проблем населения.

**Ключевые слова:** незавершенное производство, ветхое и аварийное жилье, улучшение жилищных условий, темпы переселения, введение в эксплуатацию.

По данным Фонда содействия реформированию ЖКХ, в г. Владикавказе зарегистрированы 50 управляющих организаций, из них 16 – ТСЖ и 34 – Управляющие компании. В их ведении находится 1141 многоквартирный дом или 3828789 кв. м жилья, в которых проживают 168996 человек [1]. Стоит отметить, что по части обеспеченности жильем в 2014 году г. Владикавказ находился на одном уровне с европейскими странами, значительно превосходя средний российский показатель [2]. На рис. 1 представлена обеспеченность жилой площадью европейских стран по сравнению с РФ и г. Владикавказом [3].

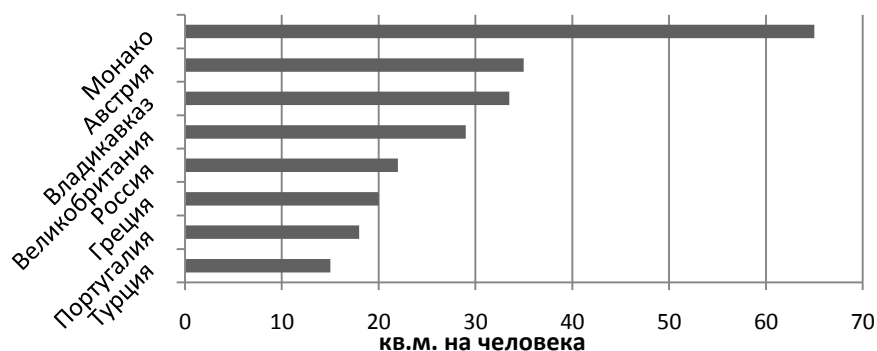


Рис. 1. Обеспеченность жильем в различных странах мира в 2014 году



Как видно из рис. 1, наибольшая обеспеченность жильем в Европе наблюдается в королевстве Монако, самая низкая – в Турции. Обеспеченность жильем во Владикавказе превышает не только среднероссийский уровень, но и уровень таких развитых стран как Великобритания, Греция и Португалия.

Достаточно позитивная динамика наблюдается также в части ежегодного введения в действие общей площади жилых помещений на человека. На рис. 2 представлен график ежегодного введения в действие общей площади жилых помещений.

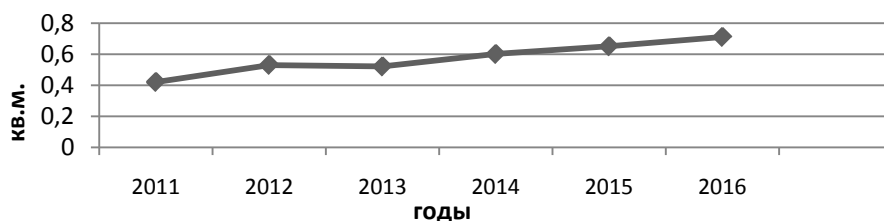


Рис. 2. Величина ежегодного введения в действие общей площади жилых помещений

Вполне очевидно, что рассматриваемый показатель имеет тенденцию к достаточно стабильному росту. Так, в 2014 году по сравнению с 2013 годом наблюдался прирост в 20 %. Для сравнения – темпы введения в действие площадей жилых домов в Московской области 2014 года по сравнению с 2013 годом можно назвать «замедляющимися» [4].

Обращает на себя внимание неизменная величина доли населения, получившего жилые помещения и улучшившего жилищные условия в 2014 году, в общей численности населения, состоящего на учете в качестве нуждающегося в жилых помещениях. Она составляет примерно 21 % и, по прогнозу, не изменится в течение 2015–2016 годов. Это означает, что все меньшее количество населения в абсолютном выражении ежегодно улучшает свои жилищные условия, поскольку указана доля населения в оставшемся после предыдущего расселения.

В табл. 1 представлена динамика изменения площади ветхого и аварийного жилья по адресной целевой программе РСО-Алания «Переселение из ветхого и аварийного жилья» [3].

Еще одной проблемой, решение которой актуально для г. Владикавказ, является проблема улучшения жилищных условий ветеранов ВОВ. В очереди стоит 341 ветеран Великой Отечественной войны. Этот вопрос требует безотлагательного решения прежде всего с морально-этической точки зрения. Необходима разработка целевой программы по решению жилищной проблемы ветеранов.

Одним из показателей, характеризующих социально-экономическое положение, является величина объема незавершенного строительства, осуществляемого за счет средств бюджета городского округа. На рис. 3 представлена динамика объема незавершенного в установленные сроки строительства.

За период с 2012 по 2015 годы величина незавершенного строительства непрерывно росла, что свидетельствует о неэффективном расходовании

средств городского бюджета в части капитальных вложений. Вследствие специфики строительной продукции, незавершенность объектов приводит к значительному удорожанию проведения работ, т. е. к изменению стоимости строительства. Следовательно, доведение объектов до завершения потребует значительно больших средств, чем было определено первоначально, поскольку изменение стоимости работ происходит ежеквартально. Это является следствием особенности ценообразования на строительную продукцию.

Таблица 1

**Динамика общей площади аварийного жилфонда  
г. Владикавказе на период с 2013–2017 годы**

Год	Всего, кв. м	В том числе	
		частная собственность	муниципальная собственность
2013	6091,50	4660,09	1431,41
2014	4 887,00	3 948,53	938,47
2015	1 472,20	1 425,90	46,30
2016 (план)	1894,10	1270,00	624,10
2017 (план)	39,7	39,7	0

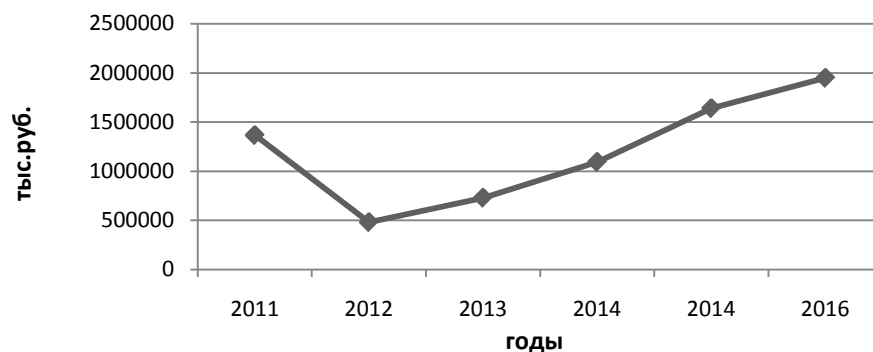


Рис. 3. Объем незавершенного в установленные сроки строительства, осуществляемого за счет средств бюджета городского округа

Таким образом, в результате проведенных исследований, можно сделать следующие выводы о развитии жилищной сферы:

1. Обеспеченность жильем в г. Владикавказе одна из самых высоких в РФ.
2. Темпы переселения из аварийного жилья отстают от графика, следовательно, обеспеченность никак не влияет на жилищные условия особо нуждающихся в их улучшении.
3. В г. Владикавказе остро стоит вопрос о жилищной проблеме ветеранов ВОВ.
4. Объем незавершенного в установленные сроки строительства, осуществляемого за счет средств бюджета городского округа, растет, следовательно, растет стоимость его завершения.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Медведев А. С.* Управление экономическим потенциалом предприятий: монография / А. С. Медведев, З. Л. Дзакоев. Владикавказ: Олимп, 2014. 216 с.
2. *Круглик С. И.* Управление жилищной сферой городов России: Монография. СПб.: Изд-во ДЕАН, 2007. 192 с.
3. Программа Республики Северная Осетия-Алания «Переселение граждан из аварийного жилищного фонда на 2013–2017 годы» Постановление Правительства Республики Северная Осетия-Алания от 31 мая 2013 г. № 207 (в редакции Постановлений Правительства Республики Северная Осетия-Алания от 29 ноября 2013 года № 456; от 7 февраля 2014 года № 18); от 16 мая 2014 года № 172).
4. Фонд реформирования ЖКХ. Официальный сайт [fondgkh.ru](http://fondgkh.ru)

*Dzhagayeva M. S., Rubanovskaya S. G., Gurieva M. T.*

### **ANALYSIS OF HOUSING SERVICES VLADIKAVKAZ MUNICIPALITY IN MODERN CONDITIONS**

*One of the major socio-economic problems of society and the state is the provision of housing that meet modern requirements. The level of development of the housing sector has a direct impact on the economic growth of the state and determines the level of social development, as improving housing conditions is one of the priority concerns of the population.*

**Key words:** *work in progress, old and dilapidated housing, improved living conditions, construction in progress, the positive dynamics, living room, the pace of relocation, commissioning.*

#### **Bibliography**

1. *Medvedev A. S.* Management of the economic potential of pre-acceptance: monograph / A. S. Medvedev, Z. L. Dzakov. Vladikavkaz: Olympus., 2014. 216 p.
2. *Kruglik S. I.* Management of housing sphere of cities of Russia: Monograph. SPb : Publishing house DEAN, 2007. 192 p.
3. Programme of the Republic of North Ossetia-Alania "Move people from emergency housing for 2013-2017". Approved by the Government of the Republic of North Ossetia-Alania on May 31, 2013 № 207 (as amended by Resolution of the Government of the Republic of North Ossetia-Alania of 29 November 2013 № 456; on February 7, 2014 № 18); on May 16, 2014 № 172).
4. Housing and Utilities Reform Fund. Official site [fondgkh.ru](http://fondgkh.ru)



*Канд. эконом. наук, доцент ДЖАГАЕВА М. С.,  
канд. техн. наук, доцент РУБАНОВСКАЯ С. Г.,  
аспирант ВАЛИЕВА З. Р.*

### **БЕНЧМАРКИНГ В ЖКХ г. ВЛАДИКАВКАЗА**

*В данной статье рассматривается целесообразность и возможность применения бенчмаркинга в ЖКХ г. Владикавказа. Основное содержание исследования составляет анализ соответствия структуры себестоимости услуг ОАО «Владикавказские сети водоотведения» оптимальной структуре себестоимости для данного вида деятельности. Предложена система индикаторов для использования бенчмаркинга в системе ЖКХ г. Владикавказа.*

**Ключевые слова:** *жилищно-коммунальное хозяйство, бенчмаркинг, ведущие предприятия, стимулирование предприятий, система индикаторов, оптимальная структура себестоимости.*

Традиционные рыночные механизмы, необходимые для эффективного функционирования предприятия, в сфере ЖКХ не работают. В этих условиях стимулирование предприятий посредством сравнения результатов, именуемого бенчмаркингом, может сыграть существенную роль в решении проблем отрасли.

Бенчмаркинг (или эталонное сравнение) представляет собой систематическую деятельность, направленную на поиск, оценку и учебу на лучших примерах ведения бизнеса [1].

Целью проведения бенчмаркинга является оценка эффективности отдельных функций и процессов с целью выявления отклонений и причин неэффективности бизнес-процессов. Данный вид анализа позволяет определить области, в которых исследуемая компания уступает какому-либо конкуренту или рынку в целом, и сконцентрировать основные управленческие усилия на осуществлении тех мероприятий, которые позволят ликвидировать отставание [2].

Для российских экономистов термин «бенчмаркинг» не является новым, однако применение данного инструмента в масштабах России пока не получило должного распространения.

К достоинствам бенчмаркинга можно отнести возможность получить новые знания и умения, улучшить систему оценки результатов деятельности, в первую очередь, изменение уровня производительности труда и эффективности использования основных производственных фондов. Участие в программе бенчмаркинга ведущих предприятий отрасли позволит простым участникам получать доступ к их достижениям, что даст возможность точнее позиционировать свое местоположение в отрасли путем использования системы индикаторов [2].

Авторами была разработана система индикаторов деятельности для организаций ЖКХ г. Владикавказа, которая представлена на рис. 1.

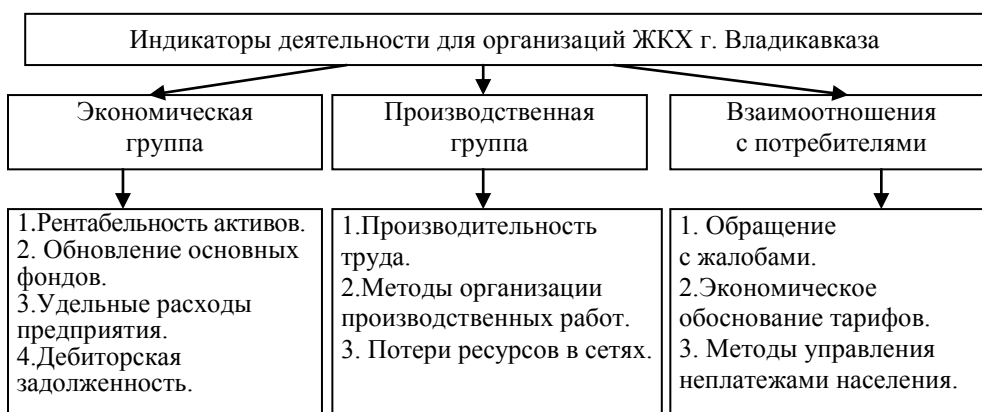


Рис. 1. Система индикаторов для организаций ЖКХ г. Владикавказа

Как видно из рис. 1, экономическая группа индикаторов дает представление о финансовом состоянии предприятия:

1. Индикатор «Рентабельность активов» – показывает финансовую эффективность использования всех активов предприятия ЖКХ.
2. Индикатор «Обновления основных фондов» – измеряет степень, с которой предприятия ЖКХ обновляют свои основные средства.
3. Индикатор «Удельные расходы» – позволяют оценить себестоимость товаров и услуг.
4. Индикатор «Дебиторская задолженность» – показывает уровень задолженности и позволяет оценить ее последствия.

Производственная группа индикаторов:

1. Индикатор «Производительность труда» – оценивает количество клиентов на одного работника.
2. Индикатор «Методы организации производственных работ» – предусматривает применение системы планирования, управления рисками и применение инновационного менеджмента.
3. Индикатор «Потери ресурсов в сетях» – оценивает уровень потерь и изношенность трубопроводов.

Взаимоотношения с потребителями – одна из важнейших сторон деятельности предприятий рассматриваемой отрасли, которая во многом определяет платежеспособность и финансовую устойчивость предприятий ЖКХ. В эту группу индикаторов входят:

1. Индикатор «Обращения с жалобами» – показывает количество претензий к качеству предоставляемых товаров и услуг.
2. Индикатор «Экономическое обоснование тарифов» – характеризует обоснованность затрат предприятия на оказание услуг.
3. Индикатор «Методы управления неплатежами населения» – характеризует систематическую деятельность, направленную на снижение неплатежей населения.

Данную систему индикаторов можно применять для сравнения деятельности организаций ЖКХ с другими идентичными (аналогичными) предприятиями ЖКХ регионов Северного Кавказа.

Рассмотрим структуру себестоимости услуг на примере ОАО «Владикавказские сети водоотведения» с позиций бенчмаркинга. На начальном этапе применения сравнительного подхода возможно рассмотрение усредненной структуры себестоимости оказания услуг на предприятии в разрезе ее оптимальности. На рис. 2 представлена структура себестоимости услуг ОАО «Владикавказские сети водоотведения».

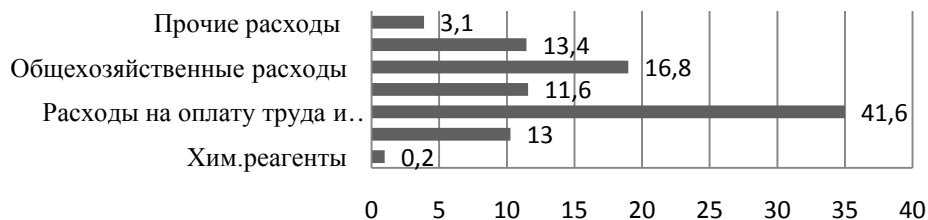


Рис. 2. Структура себестоимости ОАО «Владикавказские сети водоотведения» [3]

Из рис. 2 видно, что в структуре себестоимости наибольший удельный вес занимают расходы на оплату труда и отчисления на социальные нужды (41,6 %). Затраты на ремонтные работы, материалы, химические реагенты минимизированы, что в свою очередь не позволяет предоставлять качественную услугу. Амортизационные отчисления составляют 11,6 %, затраты на электроэнергию 13 %.

На рис. 3 представлена оптимальная структура себестоимости водоотведения [4].

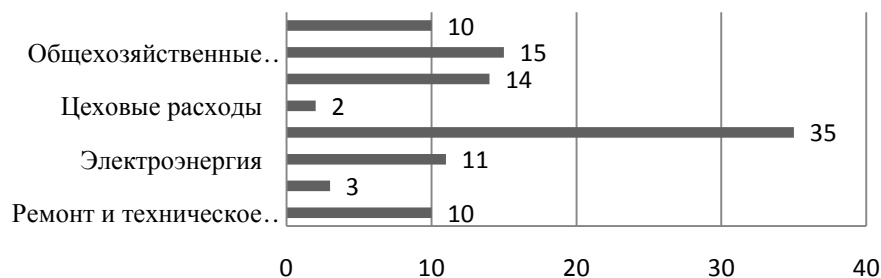


Рис. 3. Оптимальная структура себестоимости водоотведения (эталон)

Как видно из рис. 3, в приведенной оптимальной структуре себестоимости затраты на химические реагенты составляют 3 %, что на 2,8 больше, чем в структуре себестоимости ОАО «Владикавказские сети водоотведения». Обращает на себя внимание значительное, в 7 раз, превышение доли цеховых расходов на рассматриваемом предприятии по сравнению с эталоном. Резервами оптимизации структуры себестоимости являются также затраты на общехозяйственные расходы и на оплату труда. Кроме этого, в эталонной себестоимости, в отличие от рассматриваемой, присутствуют все необходимые компоненты, в том числе ремонт и техническое обслуживание. Таким образом, структура себестоимости услуг ОАО «Владикавказские сети водоотведе-

дения» в значительной степени не соответствует оптимальной, что свидетельствует о недостаточном внимании к вопросам регулирования затрат.

Бенчмаркинг, конечно же, не решит всех проблем ЖКХ г. Владикавказа, требующих безотлагательного рассмотрения. Однако он позволит стимулировать данные предприятия к повышению эффективности их деятельности.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Лукьянец А. А., Ротарь В. Г., Шумский А. А., Чернов А. Г. Возможности бенчмаркинга для управления предприятиями коммунального комплекса. Электронный доступ: <http://sun.tsu.ru/mminfo/000063105/330/image/330-126.pdf>.

2. Гайнанов И. Д. Управление инвестиционной деятельностью энергетической компании на основе методологий бенчмаркинга и бережливой энергетики // Фундаментальные исследования. 2013 г. № 2. С. 210–214.

3. Финансовый отчет ОАО «Владикавказские сети водоотведения». Режим доступа: <http://vsv-alania.com/raskrytie-informacii.html>.

4. Программа комплексного развития систем коммунальной инфраструктуры г. Владикавказа на период до 2025 года. Официальный сайт АМС г. Владикавказа [www.vladikavkaz-osetia.ru](http://www.vladikavkaz-osetia.ru).

*Dzagaeva M. S., Rubanovskaya S. G., Valieva Z. R.*

### **BENCHMARKING UTILITIES IN VLADIKAVKAZ**

*This article examines expediency and the possibility of using benchmarking utilities Vladikavkaz. The main content of the study is the analysis structure of «Vladikavkaz sewerage network» optimal cost structure for this type of activity. A system of indicators for benchmarking utilities Vladikavkaz.*

**Key words:** *housing and utilities, benchmarking, leading enterprises, business promotion, system of indicators, optimal cost structure.*

### **BIBLIOGRAPHY**

1. Lukyanets A. A., Rotar V. G., Shumsky A. A., Chernov A. G. The opportunities of benchmarking enterprise management utilities sector. Electronic access: <http://sun.tsu.ru/mminfo/000063105/330/image/330-126.pdf>

2. Gaynanov I. D. Menegment investment activities of an energy company based methodologies for benchmarking and lean Energy // Basic Research. 2013 y. № 2. P. 210–214.

3. Financial report of JSC Vladikavkazskiye seti vodootvedeniya. Access mode: <http://vsv-alania.com/raskrytie-informacii.html>.

4. Program integrated development of municipal infrastructure in Vladikavkaz for the stage up to 2025 y. Official Website Vladikavkaz LA.



*Ассистент . ТЕГЕТАЕВА М. Р.,  
канд. техн. наук, доцент РУБАНОВСКАЯ С. Г.,  
канд. эконом. наук., доцент ДЖАГАЕВА М. С.*

## **СИСТЕМА ГОСУДАРСТВЕННОЙ ПОДДЕРЖКИ МАЛОГО И СРЕДНЕГО ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСТВА В РСО-АЛАНИЯ**

*Рассмотрена существующая система органов власти РСО-Алания, а также организации, осуществляющие поддержку малого предпринимательства на территории республики. Предложен комплекс организационно-экономических мероприятий по совершенствованию механизма государственной поддержки малого бизнеса в РСО-Алания.*

**Ключевые слова:** *малое предпринимательство, система органов власти, государственная поддержка, инфраструктура.*

В последнее время поддержка отечественного малого бизнеса стала одним из приоритетных направлений экономической политики страны. Малое предпринимательство, занимающее особое положение в экономике страны, нуждается в получении системной, действенной государственной поддержки, так как именно на малые предприятия возлагают большие надежды для поднятия уровня экономического развития государства [1].

В республике Северная Осетия-Алания (РСО-Алания) в целях развития государственной поддержки малого предпринимательства и обеспечения его субъектам доступа к финансовым и материальным ресурсам создана и функционирует соответствующая разветвленная сеть органов власти, организаций и учреждений, которая представлена на рис. 1.

Как видно из данных рис. 1, система органов власти РСО-Алания и организаций, осуществляющих поддержку малого предпринимательства на территории республики, включает:

1. Министерство туризма, предпринимательства и инвестиционной политики (далее Министерство туризма), являющееся органом государственной республиканской власти, осуществляет основную финансовую поддержку субъектов малого предпринимательства. Одной из приоритетных сторон деятельности Министерства туризма является развитие малого и среднего предпринимательства, привлечение инвестиций, сопровождение и реализация инвестиционных проектов [2].

В 2014 году на поддержку предпринимательства в республике были направлены средства из республиканского бюджета в объеме 80 млн рублей, из федерального бюджета – 264 млн рублей и в рамках государственной программы Республики Северная Осетия-Алания «Поддержка и развитие малого и среднего предпринимательства в Республике Северная Осетия-Алания» в 2010–2014 гг. были реализованы такие мероприятия как [3]:

- предоставление субсидий субъектам социального предпринимательства, деятельность которых направлена на решение социальных проблем;
- предоставление грантов начинающим субъектам малого предпринимательства республики на создание собственного бизнеса;





Рис. 1. Органы власти РСО-Алания и организации, осуществляющие поддержку малого предпринимательства на территории республики

- субсидирование субъектов малого и среднего предпринимательства, заключивших договоры на приобретение в собственность оборудования;
- развитие лизинга оборудования субъектами малого и среднего предпринимательства.

2. Торгово-промышленная палата РСО-Алания (рис. 1), является негосударственной некоммерческой организацией, цель деятельности которой – создание благоприятных условий для предпринимательской деятельности, урегулирование отношений предпринимателей с их социальными партнерами, всемерное развитие всех видов предпринимательства, торгово-экономических и научно-технических связей предпринимателей РСО-Алания с предпринимателями РФ и зарубежных стран [4].

3. Одной из задач, реализуемых местным самоуправлением республики, является развитие предпринимательской деятельности на территории муниципальных образований. Так, например, в г. Владикавказе за четыре года была оказана финансовая поддержка 138 субъектам малого предпринимательства на сумму 63 923 000 руб., в том числе по организационно правовым формам деятельности [2]:

- 48 юридическим лицам;
- 90 индивидуальным предпринимателям.

В табл. 1 приведены данные о видах и объемах финансовой поддержки малого бизнеса с 2010 по 2014 гг. в г. Владикавказе [2].

Таблица 1

**Виды и объемы финансовой поддержки малого бизнеса  
в г. Владикавказе**

Вид финансовой поддержки	Объем финансовой поддержки по годам				
	2010	2011	2012	2013	2014
Договор о предоставлении гранта начинающему субъекту малого и среднего предпринимательства г.Владикавказ на создание собственного бизнеса	–	–	900,0	3863,0	4670,0
Договор займа	900,0	6120,0	8300	13300,0	25870,0
Всего:	900,0	6120,0	9200,0	17163	30540

Как видно из данных табл. 1, объем финансовой поддержки малому бизнесу увеличился в 34 раза за 4 года.

Некоторые из этих форм поддержки сохраняются в 2015–2016 годах [5].

Одновременно с этим на территории республики развивается инфраструктура поддержки субъектов малого и среднего предпринимательства, которая представляет собой систему коммерческих и некоммерческих организаций, подведомственных Министерству туризма [6]. Система этих организаций представлена на рис. 2. К ним относятся:

- Фонд поддержки предпринимательства Республики Северная Осетия-Алания, который оказывает комплекс консультационных услуг (юридические, бухгалтерские, маркетинговые), связанных с ведением предпринимательской деятельности. Также Фондом проводятся образовательные мероприятия (семинары, тренинги, конференции, круглые столы) и выставочно-ярмарочные мероприятия [2];

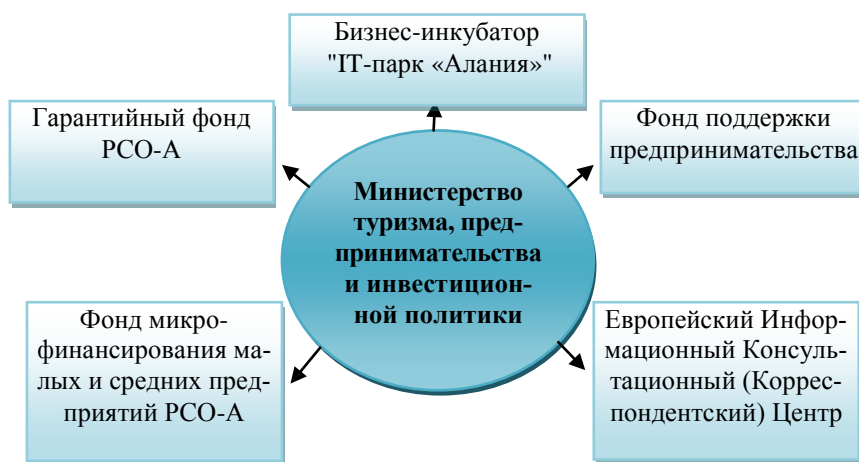


Рис. 2. Подведомственные организации Министерства туризма, предпринимательства и инвестиционной политики

– Фонд микрофинансирования малых и средних предприятий, предоставляющий микрозаймы для субъектов МСП в размере, не превышающем 1 млн рублей, сроком на 1 год с процентной ставкой 10 % годовых. Капитализация Фонда составляет 108,4 млн рублей. Для упрощенного доступа предпринимателей представители Фонда осуществляют деятельность в 7 районах республики [2];

– Бизнес-инкубатор "IT-парк «Алания»", осуществляющий размещение малых предприятий инновационного типа на конкурсной основе; на его базе предоставляется необходимая консультационная и организационно-техническая инфраструктура, а также периодически проводятся презентационные мероприятия.

В настоящее время в реестре бизнес-инкубатора "IT-парк «Алания»" насчитывается всего 20 малых инновационных предприятий, которые все расположены в г. Владикавказе и осуществляют свою деятельность по следующим направлениям:

- в сфере телекоммуникаций и образования – 6 предприятий;
- в сфере IT-технологий – 11 предприятий;
- в консультационной сфере – 1 предприятие;
- в сфере промышленности – 2 предприятия.

Европейский Информационный Консультационный (Корреспондентский) Центр (ЕИКЦ), цель деятельности которого – оказание помощи малому бизнесу, а также средним предприятиям в поиске зарубежных партнеров в странах Евросоюза и в выходе на иностранные рынки. ЕИКЦ предоставляет всем желающим начать международное деловое сотрудничество, бесплатную информацию и консультационную поддержку.

В республике созданы и институты защиты предпринимателей. Распоряжением Главы Республики Северная Осетия-Алания от 6 февраля 2013 года № 25–рг назначен Уполномоченный по правам предпринимателей, целью деятельности которого является оперативное реагирование на поступившие обращения от субъектов малого и среднего предпринимательства, защита их прав и законных интересов [2].



Рис. 3. Организационно–экономические направления государственной политики в отношении малого предпринимательства

В РСО-Алания, несмотря на внушительную поддержку субъектов малого предпринимательства, бизнесмены, тем не менее, продолжают сталкиваться с множеством нерешенных проблем в финансово-кредитной, информационной, имущественной, технологической и других сферах. Поэтому дальнейшие исследования проблем функционирования малого предпринимательства и оказание ему государственной поддержки имеют важное теоретическое и практическое значение [7].

По мнению авторов, региональная программа поддержки малого предпринимательства должна стать составным элементом программ социально-экономического развития региона. Это позволит обеспечить ее приоритетность, а также исключить повторное финансирование включенных в нее мероприятий.

Авторами также предлагается комплекс организационно-экономических мероприятий по совершенствованию механизма государственной поддержки малого бизнеса в РСО-Алания, направления которых представлены на рис. 3.

Как видно из данных рис. 3, реализация предлагаемых мероприятий организационно-экономических мероприятий будет способствовать динамичному развитию малого бизнеса за счет:

- устранения административных барьеров;
- создания рыночной инфраструктуры;
- имущественной поддержке;
- совершенствования нормативно-правовой базы;
- облегчения доступа к субсидиям.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Кузьмина О. А. Государственное экономическое регулирование инвестиционной деятельности в России // Предпринимательство. 2014. № 2. С. 57–64.
2. Официальный сайт Министерства финансов по РСО-Алания Официальный сайт [электронный ресурс]. Режим доступа <http://www.mfrno-a.ru>
3. Постановление Правительства РСО-Алания "О государственной программе РСО-Алания «Поддержка и развитие малого и среднего предпринимательства в РСО-Алания» на 2014–2016 годы", от 15.11. 2013 № 412.
4. Официальный сайт Министерства туризма, предпринимательства и инвестиционной политики РСО-Алания предпринимательства. Официальный сайт [электронный ресурс]. Режим доступа: // <http://minturinvest.ru/>
5. Вопросы поддержки малого и среднего предпринимательства в современных условиях / Л. Г. Садыкова // Экономические науки. 2011. № 1. С. 74
6. Теблоева Д. В. Состояние малого предпринимательства в Республике Северная Осетия-Алания [Текст]/Д. В. Теблоева //Проблемы и перспективы экономики и управления: материалы 3 международной научной конференции. СПб.: Заневская площадь, 2014. С. 240–243.
7. Анимица Е. Г., Злоказов А. В. Малое предпринимательство в городе: социально-экономический анализ / Е. Г. Анимица, А. В. Злоказов. Екатеринбург: Изд-во УрГЭУ, 2010. С. 89.

## **THE SYSTEM OF STATE SUPPORT FOR SMALL AND MEDIUM-SIZED BUSINESSES IN NORTH OSSETIA-ALANIA**

The existing system of government North Ossetia-Alania and organizations, which provide support to small businesses in the country. The complex of organizational and economic measures to improve the mechanism of state support of small business in the Republic of North Ossetia-Alania.

**Key words:** *small enterprise, system of government bodies, state support, infrastructure.*

### **Bibliography**

1. *Kuzminova O. A.* State economic regulation of investment activity in Russia // *Entrepreneurship*. 2014. № 2. P. 57–64.
2. The official website of the Ministry of Finance of North Ossetia-Alania <http://www.mfrno-a.ru>
3. Resolution of the Government of North Ossetia-Alania "On the State Program North Ossetia-Alania «Support and development of small and medium-sized businesses in North Ossetia-Alania» for 2014–2016", on November 15, 2013. № 412.
4. The official website of the Ministry of Tourism, Business and Investment Policy // <http://minturinvest.ru/>.
5. Questions to support small and medium enterprises in modern conditions / L. G. Sadykov // *Economics*. 2011. № 1. P. 74
6. *Tebloeva D. V.* Status of small business in the Republic of North Ossetia-Alania [Text] / D. V. Tebloeva // *Problems and Perspectives of Economics and Management: Proceedings of the 3-rd International scientific conference*. SPb.: Zanevskaya square, 2014. P. 240–243.
7. *Animitsa E. G., Zlokazov A. B.* Small business in the city: the socio-economic analysis / E. G. Animitsa, A. V. Zlokazov. Ekaterinburg: Izd USUE, 2010. P. 89.



УДК 54(075)

*Канд. хим. наук, профессор АЛИХАНОВ В. А.,  
Канд. техн. наук, доцент ХУДОЯН М. В.*

### ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ АСПЕКТ ПРИ ОБУЧЕНИИ ХИМИИ СТУДЕНТОВ-ГОРНЯКОВ

*В данной статье подробно рассмотрены и продемонстрированы основные взаимосвязи химических реакций и экологии (анализируются механизмы защиты воздушного бассейна от загрязнения). Проведенная работа имеет своей целью обосновать потенциальные и реальные последствия химических процессов, представляющих собой реалии современной промышленности. В статье изложены возможности химии в устранении и решении экологических проблем горных и предгорных районов РСО-Алания, знания которых могли бы стать, безусловно, необходимыми для работы будущего горного инженера.*

**Ключевые слова:** *экология, природа, защита окружающей среды, вредные вещества, кислотные осадки, диоксиды углерода и серы.*

В центре внимания современного человечества стоят проблемы взаимодействия человека и окружающей природной среды, экологической устойчивости планеты. В связи с этим актуальность экологического воспитания подрастающего поколения неуклонно растет, поэтому при изучении отдельных тем курса химии освещаются соответствующие аспекты.

Экологическое образование способствует формированию личности с целостным восприятием мира, с высоким уровнем экологической культуры. Такое просвещение и образование являются важным звеном при подготовке инженера-горняка. Особенно большие возможности для воспитания студентов в духе бережного отношения к природе открываются при изучении курса химии.

Химические знания – неотъемлемая часть знаний об основах охраны природы. Роль химии в решении экологических проблем на современном этапе значительна. Химия дает возможность раскрыть особую роль экологической науки, привлечь студентов к исследовательской работе по изучению состояния природной среды, воспитать у них чувство личной ответственности за ее сохранение.

Цель экологического образования на кафедре химии СКГМИ сводится к следующим положениям.

Нашими учебно-методическими программами по курсу "химия" предусмотрено ознакомление студентов с химическими проблемами экологии. Основное внимание уделяется тем явлениям, которые вызывают серьезную обеспокоенность за состояние природной среды и будущее цивилизации. К таким явлениям можно отнести климатические изменения: глобальное потепление, истощение стратосферного озонового слоя, кислотные дожди, накоп-

ление в почве токсичных тяжелых металлов и пестицидов, загрязнение больших территорий радионуклидами, истощение природных ресурсов планеты.

Как известно, повышение концентрации диоксида углерода ведет к глобальному потеплению. Студентам показываем, что в связи с возрастанием темпов сжигания топлива растет концентрация  $\text{CO}_2$  в атмосфере. Ученые предполагают, что к 2050 г. концентрация диоксида углерода удвоится, что вызовет повышение температуры на 2,5–3,5 °С, а это, по прогнозам некоторых специалистов, может повысить уровень океана на 4–5 м, что приведет к затоплению огромных территорий. Этому явлению способствуют и другие соединения углерода (метан и др.), поступающие в атмосферу при добыче и переработке нефти и газа. Необходимо отметить, что в настоящее время важнейшая для биоты реакция – фотосинтез – потребляет ежегодно около 470 млрд тонн  $\text{CO}_2$ , однако не только в питании растений углекислый газ играет решающую роль – основная масса (98,3 %) растворена в мировом океане, что делает его основой мощнейшей планетарной буферной системы [1]. Некоторая часть  $\text{CO}_2$ , компенсируемая образованием аэрозолей твердых и жидких частиц, снижает способность атмосферы пропускать солнечный свет, а, соответственно, способствует снижению парникового эффекта, температуры земной поверхности. Существуют и другие способы снижения выброса  $\text{CO}_2$  в атмосферу, такие как изъятие парникового газа и его изолирование в тех или иных резервуарах (например, во многих местах добычи ископаемого топлива после его исчерпания образовались крупные пустоты, часть которых ныне используется в качестве хранилищ метана; достаточно эффективно также закачивание  $\text{CO}_2$  в нефтеносные пласты).

Обычно при эксплуатации нефтяного месторождения из него удается добыть не более 40 % жидкого топлива, однако для увеличения этого количества в соседнюю скважину нередко закачивают воду, повышая давление в пласте и заставляя оставшуюся нефть подниматься на поверхность. Американскими учеными было установлено, что неплохо может справляться с этой задачей и  $\text{CO}_2$  [2]. Для начала закачивается под давлением в порожние скважины жидкий  $\text{CO}_2$ , растворяющийся в оставшейся нефти. Затем такая жидкая смесь сама перемещается в область более низких давлений, и месторождение дает добавочные 10–15 % нефти.

Помимо нефтяных и газовых месторождений  $\text{CO}_2$  может быть «заперт» и в глубоких угольных шахтах, где добыча уже прекращена. Как известно, главным источником  $\text{CO}_2$  служат электростанции. Уголь играет здесь основную роль: он пока дешевле иных топлив, но он же и крупнейший поставщик  $\text{CO}_2$ .

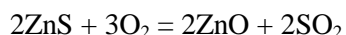
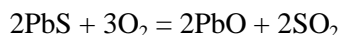
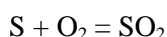
При изучении темы: «Элементы VI и VII групп», в частности, кислорода и фтора, акцентируется внимание студентов на планетарном значении этих элементов. В частности, озон образуется по реакции  $\text{O}_2 + \text{O} = \text{O}_3$ . Скорость образования озона максимальна на высоте 30–50 км. Образовавшийся озон составляет определенную концентрацию в атмосфере (или определенную толщину озонового слоя). Однако в последние годы обнаружены так называемые озоновые дыры, т. е. области с пониженной концентрацией озона или с пониженной толщиной.

Доказано, что появление озоновых «дыр», разрушение озонового щита земли связано с деятельностью человека, а именно, с неблагоприятным воз-

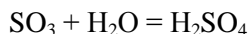
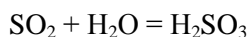


действием антропогенных соединений хлора и фтора и прежде всего фреонов, которые применяются как холодильные агенты (например,  $\text{CCl}_2\text{F}_2$  и  $\text{CCl}_3\text{F}$ ).

Другой экологической проблемой являются кислотные осадки, образующиеся в связи с возрастающим содержанием в атмосфере диоксида серы, поступающего в нее с выхлопами тепловых электростанций при использовании серосодержащих углей или при получении цветных металлов из сульфидных руд. В процессе обжига и переработки сульфидных руд цинка, меди, свинца и некоторых других металлов в атмосферу выбрасываются газы, содержащие большой процент  $\text{SO}_2$ :



Из этих газов в атмосфере образуются  $\text{H}_2\text{SO}_3$  и  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , при взаимодействии оксидов серы с водой:



Подобную картину можно наблюдать в контексте функционирования в нашей республике (РСО-Алания) завода «Электроцинк». Кислотные осадки опустошают лесные массивы, наносят многомиллиардные убытки, получаемые в результате коррозии металлов в сооружениях, подземных коммуникациях, способствуют разрушению зданий и памятников.

В начале XXI в. мировой объем добычи полезных ископаемых достиг порядка 600 млрд тонн.

Массовые взрывы на карьерах являются колоссальными источниками пыли и ядовитых газов. По данным польских ученых, почвы на прилегающих к карьерам и шахтам полях оказываются погребенными под слоем пыли, толщиной до 0,5 м, и из-за этого на долгие годы теряют плодородие.

В нашей стране предприятия, производящие стройматериалы, выбрасывают ежегодно более 38 млн тонн пыли, 60 % которой составляет цементная пыль.

В мире ежегодно выплавляют цветных металлов приблизительно в 15 раз меньше, чем черных. Однако на 1 т производимого металла выход шлаков составляет 10–200 т, поэтому их масса вполне сопоставима с выходом шлаков в черной металлургии [3].

Особую опасность представляют сточные воды металлургического производства, в частности воды цветной металлургии, которые наряду с солями тяжелых металлов содержат цианиды, трицианаты, сульфиды, сероводород и соединения мышьяка, отравляющие водные организмы и делающие воду непригодной для питья, водопоя, орошения, а зачастую и для технического использования [4].

Интегрирование экологических сведений в основные учебные темы стало удобной и эффективной формой организации экологического обучения.

В учебниках химии мало освещена информация о роли металлов в природе (как биогенных, так и загрязнителей), их негативном воздействии на организм человека, а также об экологических проблемах, связанных с их коррозией.

Все перечисленные факты стали толчком для создания на кафедре учебного пособия «Химия биогенных элементов» [5]. Структура пособия соответствует последовательности изучения элементов в курсе химии, а его содержание включает дополнительную информацию о каждом элементе. Образовательная цель пособия состоит в том, чтобы сформировать у студентов представления о специфических свойствах элементов и их двойственной роли в природной среде, о последствиях технологического воздействия каждого элемента и его соединений на биологическую систему.

На кафедре проводится достаточная информационная работа, с целью продемонстрировать студентам тот факт, что область отношений человека и природы в настоящее время представляет одну из важнейших сфер. Единственно правильный путь растущего воздействия человека на природу с заботой о ней связан с охраной и всемерным воспроизводством природных условий и ресурсов [6].

В целях пропаганды экологических знаний среди студентов важное место занимает исследовательская работа. Участвуя в исследовательских проектах, студенты не только расширяют свой кругозор, получают научные знания, но и приобщаются к экологической культуре. Кафедра химии, к сожалению, у студентов занимает лишь один или два семестра (1 курс), поэтому более сложные работы проводить с ними не приходится, но, тем не менее, имела место такая работа как «Исследование экологического состояния реки Терек».

Тот факт, что бассейн р. Терек до г. Моздока, расположенный на северном склоне Большого Кавказа и берущий начало в ледниках Зильга Хох на высоте более 3800 метров, впадает в Каспийское море, дает возможность для большинства сельскохозяйственных угодий республики орошаться водами этой реки. Здесь расположены крупные промышленные предприятия (металлургические, объекты электронной промышленности и т. д.)

В настоящее время в реку Терек попадает много различных стоков, минующих очистительные сооружения, включая и те, которые находятся в черте г. Владикавказа, ввиду чего с привлечением студентов был проведен химический анализ стоков на территории г. Владикавказа для определения качественного и количественного составов химических загрязняющих веществ с целью выявления и установления степени загрязнения воды в различных стоках [7].

Анализ вод проводился на содержание следующих агентов: нитратов, фосфатов, сульфатов, металлов (медь, свинец, марганец, кадмий, ртуть и т. д.). Пробы были взяты в два этапа. Первому этапу соответствует временной промежуток – июнь – июль, второй этап забора проб пришелся на октябрь – ноябрь 2014 г. Данные анализов, взятых в первый и второй временные промежутки, приведены в табл. № 1 и 2 соответственно. Также были определены такие параметры как электропроводность, окислительно-восстановительный потенциал, общая щелочность, жесткость и количество растворенного кислорода, химическая потребность в кислороде ХПК и др.

Таблица 1

## Результаты анализов воды р. Терек в период июнь–июль 2014 г.

№ п/п	Место забора	Электропроводность, Ом <sup>-1</sup> см <sup>-1</sup>	Общая		Жесткость, мг-экв/л	Red-ox, мВ	Cl <sup>-</sup> , мг/л 10 <sup>-3</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> , мг/л	NO <sub>3</sub> , мг/л
			кислотность, мг-экв/л	щелочность, мг-экв/л					
1	Граница с Грузией	2,6*10 <sup>-4</sup>	0,297	2,129	2,64	393	3,50	86,10	1,3
2	Балта	2,7*10 <sup>-4</sup>	0,1396	1,733	3,67	443	3,55	41,2	1,4
3	Фарновский мост	2,82*10 <sup>-4</sup>	0,2475	2,178	2,43	400	3,55	90,22	3,7
4	Коста (мост)	3,0*10 <sup>-4</sup>	0,3465	2,178	2,43	400	2,13	35,43	2,2
5	Карджин (мост)	3,6*10 <sup>-4</sup>	0,3465	1,881	2,25	413	2,84	102,59	9,0
6	Эльхотово (мост)	3,4*10 <sup>-4</sup>	0,297	2,277	2,8	420	2,84	59,85	5,6
7	Ст. Сухотское	2,55*10 <sup>-4</sup>	0,297	2,73	3,62	449	3,5	45,32	8,3
8	г. Моздок (у ст. Луковской)	2,60*10 <sup>-4</sup>	0,2485	2,178	3,02	446	2,0	50,66	4,0
9	г. Моздок (ниже гор. моста)	2,65*10 <sup>-4</sup>	0,198	0,89	3,24	359	3,5	51,50	3,4

CNS<sup>-</sup>, CN<sup>-</sup>, S<sup>-2</sup> – не обнаружены

155

Таблица 2

## Результаты анализов воды р. Терек в период октябрь – ноябрь 2014 г.

№ п/п	Место забора	Электропроводность, Ом <sup>-1</sup> см <sup>-1</sup>	Общая		Жесткость, мг-экв/л	Red-ox, мВ	Cl <sup>-</sup> , мг/л 10 <sup>-3</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> , мг/л	NO <sub>3</sub> , мг/л
			кислотность, мг-экв/л	щелочность, мг-экв/л					
1	Граница с Грузией	1,65*10 <sup>-5</sup>	1,845	3,564	5,02	302	2,1	55	1,3
2	Балта	1,60*10 <sup>-5</sup>	1,575	3,666	4,11	305	1,95	55	1,5
3	Фарновский мост	16,0*10 <sup>-5</sup>	1,80	3,366	4,99	367	2,27	63	1,3
4	Коста (мост)	16,5*10 <sup>-5</sup>	1,575	3,168	4,12	369	2,27	70	0,5
5	Карджин (мост)	17,0*10 <sup>-5</sup>	1,89	2,465	3,64	336	2,75	53	3,4
6	Эльхотово (мост)	17,5*10 <sup>-5</sup>	1,665	3,564	3,43	360	1,95	46	0,7
7	Ст. Сухотское	17,0*10 <sup>-5</sup>	1,530	2,475	2,99	347	2,91	80	2,1
8	Моздок (у ст. Луковской)	20,0*10 <sup>-5</sup>	1,665	3,366	4,35	360	2,59	65	0,9
9	Моздок (ниже гор. моста)	21,0*10 <sup>-5</sup>	1,80	2,465	3,8	360	2,59	86	0,8

CNS<sup>-</sup>, CN<sup>-</sup>, S<sup>-2</sup> – не обнаружены.

Дальнейшими исследованиями были пробы, взятые на наличие в них тяжелых металлов, таких как Mn, Pb, Cd, Hg, W, Mo (таблица № 3, 4).

Таблица 3

**Результаты анализов воды р. Терек на содержание тяжелых металлов в период июнь–июль 2014 г.**

№ п/п	Место забора	Содержание, мг/л					
		Mn	Pb	Cd	Hg	W	Mo
1	Ст. Сухотское	1,32	н/об	н/об	0,110	–	–
2	Моздок (у ст. Луковской)	1,42	н/об	0,1	0,25	–	–
3	Моздок (ниже гор. моста)	1,97	н/об	0,1	0,115	–	–
4	Балта	1,922	н/об	н/об	0,125	20,0	н/об
5	Граница с Грузией	0,846	н/об	н/об	0,165	–	–
6	Фарновский мост	0,43	н/об	2,0	0,110	30,0	н/об
7	Коста (мост)	0,28	н/об	0,1	0,225	–	–
8	Карджин (мост)	1,468	н/об	н/об	0,110	20,0	н/об
9	Эльхотово (мост)	0,308	н/об	н/об	0,125	–	–

Таблица 4

**Результаты анализов воды р. Терек на содержание тяжелых металлов в период октябрь – ноябрь 2014 г.**

№ п/п	Место забора	Содержание, мг/л					
		Mn	Pb	Cd	Hg	W	Mo
1	ст. Сухотское	н/об	10,5	н/об	0,35	–	–
2	Моздок (у ст. Луковской)	0,12	9,0	н/об	0,35	–	–
3	Моздок (ниже гор. моста)	0,25	8,0	н/об	0,40	–	–
4	Балта	0,26	15,0	н/об	0,15	25,0	н/об
5	Граница с Грузией	0,28	13,75	н/об	0,30	–	–
6	Фарновский мост	0,24	13,75	н/об	0,35	20,0	н/об
7	Коста (мост)	0,25	20,0	н/об	0,45	–	–
8	Карджин (мост)	0,10	15,5	н/об	0,45	30,0	н/об
9	Эльхотово (мост)	0,60	21,5	н/об	0,35	–	–

В последние годы были разработаны такие технологии, которые производя продукцию, не оказывают отрицательного влияния на окружающую среду. Например, запрещается ввод в эксплуатацию промышленных объектов без очистных сооружений. Сейчас широко используются так называемые безводные и маловодные технологические циклы. В основе очистки сооружений лежат в основном химические реакции.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. *Войткович Г. В.* Химическая эволюция солнечной системы. М.: Наука 1979.
2. Scinse. 2000. V. 289. № 5486. P. 1293 (США).
3. *Калов Р. О.* Экологические аспекты рекреационного использования горно-предгорных ландшафтов западного и центрального Кавказа // Устойчивое развитие горных территорий. 2009. № 1.

4. *Алексеев Ю. В.* Тяжелые металлы в почвах и растениях. Л.: ВО Агропромиздат. 1987.
5. *Алиханов В. А.* Химия биогенных элементов. Владикавказ: Изд-во СКГМИ (ГТУ). 2013.
6. *Triebkorn R.* Tracing of Molluscicides and Cellular Reactions induced by them in Slugs" Tissues/ Cell Biology in Environmental Toxicology. Bilbo: University of the Basque Country Press Service, 1995.
7. *Цогоева Ф. Б., Теплякова А. С.* Общественное мнение о социально-экологической ситуации в горных районах РСО-Алания // Устойчивое развитие горных территорий. 2010. № 4.



УДК 620.92

*Аспирант ЗОРИНА И. Ю.,  
аспирант ХАДИКОВ М. К.,  
студент БЕРКО А. А.*

### **ОСОБЕННОСТИ ЭКОЛОГИИ АВТОНОМНЫХ КОМПЛЕКСОВ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГИИ**

*Рассмотрены экологические особенности функционирования автономных комплексов преобразования и использования возобновляемой энергии (солнца, воздуха и водных потоков); показаны их преимущества по сравнению с установками, использующими ископаемые источники энергии (нефть, газ и др.). Показаны перспективы применения разработанных в СКГМИ (ГТУ) энергетических комплексов для индивидуального снабжения потребителей малой энергоемкости.*

**Ключевые слова:** *окружающая среда, экология, источники энергии, преобразование, автономные комплексы, совместимость, потребление.*

В настоящее время для энергообеспечения различных объектов все более широко применяются источники возобновляемой энергии [1, 2]. Очевидны их преимущества по отношению к невозобновляемым источникам [3], т. к. неизбежное истощение природных запасов сырья для производства энергии позволяет специалистам выдвинуть предположение, что к концу XXI века доля использования возобновляемых источников энергии в общем энергетическом балансе планеты будет составлять более 65 % [4].

Уже сейчас во многих развитых странах эксплуатируются так называемые «солнечные дома» [4] – дома, в которых энергия на бытовые нужды вырабатывается за счет концентрации, преобразования и распределения солнечной энергии в автономных преобразовательных установках. Автономное обеспечение индивидуальных домов за счет малой энергетики, использующей возобновляемые источники энергии, непрерывно растет. Это особенно актуально для небольших горных поселков, находящихся в стесненных горных условиях, вдали от основных ЛЭП и автомагистралей. В этом случае вопросы энергоснабжения и экологии приобретают особое значение.

На рис. 1 представлена общая схема процесса преобразования и использования возобновляемой энергии. В окружающей среде (1) постоянно циркулируют естественные энергетические потоки (2) (солнечное излучение, ветер, потоки воды и др.), которые являются исходными энергоносителями в устройствах, частично улавливающих (3) энергию этих потоков и далее преобразующих (4) ее в удобную для дальнейшего использования «промышленную» энергию, – в основном электрическую и тепловую. Полученная (преобразованная) энергия передается (5) потребителю (6). Полученная (преобразованная) энергия передается (5) потребителю (6).

Энергия, получаемая индивидуальным потребителем (например, жилым домом), преобразуется в различных бытовых устройствах и обеспечивает их функционирование. При этом происходит как концентрация энергии в конкретных потребителях, так и ее рассеяние (7) в окружающее пространство.

Как видно из приведенной схемы (рис. 1), работа автономных комплексов на возобновляемой энергии не требует источников энергии, которые работали бы на специальном сырье для ее производства.

Если рассматривать схему функционирования систем на невозобновляемых источниках энергии, то, как известно, основным элементом такой схемы будет преобразователь (генератор), способный осуществить процесс высвобождения энергии, находящейся в связанном состоянии, энергетического сырья (в угле, нефти, газе, ядерном топливе и т. п.)

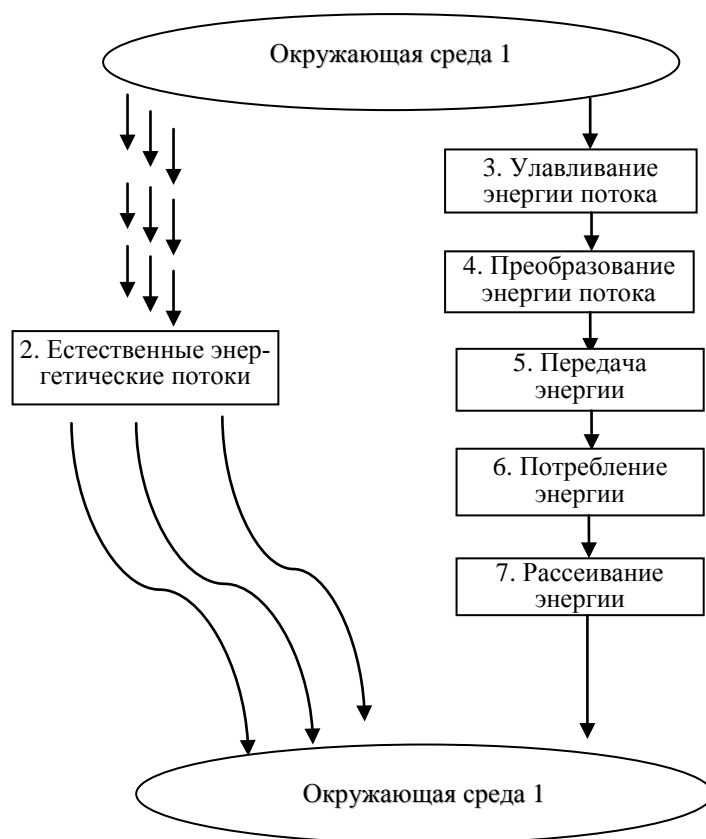


Рис. 1. Схема процесса преобразования и использования энергии в автономных энергетических комплексах

Именно этот процесс, несущий основную экологическую нагрузку, отсутствует в технологической схеме использования возобновляемой энергии, что делает последнюю несравнимо экологически более чистой, чем использование невозобновляемой энергии – на истощаемых источниках сырья. В частности, высвобождение энергии из источников энергетического сырья способствует развитию парникового эффекта, чего нельзя сказать о процессе использования естественных энергетических потоков в окружающей среде.

Отмечая экологическую чистоту общего цикла использования возобновляемой энергии, необходимо отметить его некоторые недостатки. Существенным отрицательным фактором, сопутствующим использованию возобновляемой энергии, можно считать нарушение естественного природного ландшафта, в частности для горного региона. Это может быть связано с нарушением уникальной природной гармонии и красоты горного пейзажа. Последнее особенно важно для рекреационного потенциала горных территорий, в частности Северного Кавказа.

Автономные энергетические комплексы на возобновляемой энергии можно проектировать таким образом, что они будут составлять единое целое с предполагаемым потребителем, например, индивидуальным жилым домом. В этом случае энергетический комплекс можно не располагать на горной территории, а делать его частью, например, «солнечного дома». При этом существенно упрощается передача энергии потребителю.

Оценивая экологию энергетических комплексов с наиболее общих позиций, очевидно, следует рассмотреть и экологическую совместимость этих объектов. Под экологической совместимостью технической системы (объекта) можно понимать (по аналогии, например, с электромагнитной совместимостью ГОСТ Р 50397-92) способность системы (объекта) нормально функционировать в данной природной среде, не нанося ей вреда и не нарушая сложившейся естественной обстановки; при этом обратное воздействие природных факторов на объекты системы не должно нарушать их нормальной работы, или приводить к техногенным катастрофам.

Одностороннее воздействие энергетического комплекса на окружающую среду было кратко рассмотрено ранее. С точки зрения экологической совместимости необходимо рассмотреть и обратное (возможное) воздействие природных факторов на функционирование автономного энергетического комплекса.

Воздействие природных факторов на искусственно созданную энергетическую установку может выражаться, в частности, в проявлении разного рода природных аномалий и экологических рисков. Экологический риск, как возможная природная опасность, обусловленная аномальным проявлением некоторых природных факторов и их сочетанием, может не только нарушить нормальную работу энергетического комплекса, но и привести к непредсказуемым катастрофическим последствиям.

Природными факторами, приводящими к различного рода экологическим рискам, являются, например, сильный ветер, ливневые дожди, снегопады, землетрясения, сели, камнепады, сход лавин и т. п., что особенно опасно в горных условиях.

Уже на стадии проектирования энергетических комплексов необходимо провести ретроспективный анализ и прогнозирование указанных факторов в

районе предполагаемого расположения энергетического комплекса, запланировать, если это потребует, необходимые профилактические мероприятия и разработать дополнительные конструктивные устройства, обеспечивающие безопасность работы энергетического комплекса.

Для анализа экологических рисков в условиях горных территорий можно использовать разработанные в СКГМИ (ГТУ) геоинформационные системы [5].

Рассмотренные обстоятельства были учтены в разработках автономных многофункциональных комплексов преобразования и использования возобновляемой энергии, выполненных в СКГМИ (ГТУ) [6]. Основной идеей осуществления таких разработок было сочетание в одной установке преобразователей различного типа. Причем чисто механическое или электрическое объединение преобразователей различного типа в одну энергетическую установку не давало желаемого результата, а только усложняло конструкцию. Были найдены оригинальные решения [6], позволившие объединить преобразователи возобновляемой энергии различных типов (в частности излучение Солнца и воздушные потоки).

Применяемые в разработанных энергетических комплексах генераторы были объединены в общую систему распределения, накопления и потребления получаемой энергии. Комплексы были оснащены необходимой защитой, контрольно-измерительной и коммутационной аппаратурой.

Разрабатываемые комплексы [7] предполагается использовать для энергоснабжения как индивидуальных жилых домов, так и отдельных потребителей различного профиля малой энергоемкости.

Рассмотренные особенности экологии автономных комплексов преобразования и использования возобновляемой энергии позволяют сделать вывод о существенном преимуществе таких комплексов по сравнению с установками, использующими для получения энергии истощаемое сырье (например, по сравнению с дизель-генератором электрической энергии). Возможное нарушение природного ландшафта при размещении автономных комплексов в конкретной местности можно минимизировать, учитывая особенности местности уже на стадии проектирования энергетического комплекса. Кроме того, при дизайнерском подходе к размещению комплексов можно достичь (как показывает опыт) выразительной гармонии естественного ландшафта с искусственными техногенными дополнениями.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Германович В., Турилин А.* Альтернативные источники энергии и энергоснабжение. СПб.: издательство НиТ, 2014.
2. <http://www.verdit.ru/finansing/4217-renewable-energy.html>
3. Источники энергии. Факты, проблемы, решения. М.: Наука и техника, 1997.
4. *Алехин В. А.* Области применения солнечной энергетики // Известия ТулГУ. Технические науки, 2013. Вып. 12. Ч. 2
5. Патент на полезную модель № 106975, Россия / Соколов А. А., Петрова В. Ю., 27.07.2011. ГИС мониторинга экологической и электромагнитной совместимости электроэнергетических объектов.



6. Патент № 148781, опубликован 20.12.14, бюллетень № 5. *Петров Ю. С., Саханский Ю. В., Зорина И. Ю., Иликоев Г. В.* Ветроэнергетическая установка.

7. *Зорина И. Ю., Таутиев З. Б.* Возможности использования многофункциональных комплексов возобновляемых источников энергии // Материалы IV Международной науч.-практ. конференции. Кемерово, 2015.



УДК 622.273:622.838

*Канд. техн. наук, доцент ЦГОЕВ Т. Ф.,  
Канд. техн. наук, доцент ТЕБЛОЕВ Р. А.*

### **ДЕФОРМАЦИИ ГОРНЫХ ЭКОСИСТЕМ ПРИ ДОБЫЧЕ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ НА ПРИМЕРЕ РСО-АЛАНИЯ**

*В статье рассматриваются принципы трансформации природной среды горного региона под негативным влиянием горно-добывающей и горно-перерабатывающей промышленности. Предлагается создание эффективно-эколого-экономического механизма, отвечающего требованиям оптимального использования природных ресурсов и одновременно – природоохранным требованиям, направленным на снижение сверхнормативных воздействий на природные системы.*

**Ключевые слова:** *полезные ископаемые, комплексное использование сырья, технологии обогащения, карьерные разработки, отходы переработки сырья.*

Масштабы негативного влияния хозяйственной деятельности человека в горно-промышленных районах добычи полезных ископаемых в регионах Северного Кавказа значительно превосходят размеры последствий природных геологических и геохимических процессов, протекающих на Земле.

Полезные ископаемые – горные породы и минералы, которые используются или могут быть применены в народном хозяйстве, подразделяются они по-разному. В одном случае подчеркивается их физическое состояние и выделяются следующие типы:

- твердые (различные руды, уголь, мрамор, гранит, соли);
- жидкие (нефть, минеральные воды);
- газовые (горючие газы, гелий, метан).

В другом случае за основу берется их использование, вследствие чего выделяются ископаемые:

- горючие (уголь, торф, нефть, природный газ, горючие сланцы);
- рудные (руды горных пород, включающие металлические полезные компоненты и неметаллические (графит, асбест);
- нерудные (неметаллические и негорючие полезные ископаемые: песок, гравий, глина, мел, известняк, различные соли).

Отдельной группой стоят драгоценные и поделочные камни.

Влияние горного производства многократно усиливается в специфических условиях горных регионов Кавказа. Так, в горной Осетии добыча и переработка полиметаллических руд ведутся с древних времен, особенно активно – с середины XIX века. Садонские рудники обеспечивали почти полное удовлетворение потребности России в свинце, а затем и в цинке. Здесь накоплено большое количество хвостов горной добычи и переработки, что определяет образование вторичных ореолов рассеяния в пределах предприятий и их окрестностей [1, 2].

В процессе эксплуатации предприятий **по добыче и переработке рудных полезных ископаемых**, особенно в прошлые годы, из-за выборочной отработки наиболее богатых участков и стремления к сиюминутному улучшению экономических показателей, происходило накопление запасов худшего качества и последующий их перевод в категорию забалансовых и в разряд так называемых неактивных, которые и составляют в настоящее время около 50 % всех запасов Садонской группы месторождений [3].

Вопрос комплексности использования сырья остается нерешенным. И это при значительных пространствах, занятых отвальными хозяйствами, обломочный материал которых, как правило, пригоден для дорожных покрытий высокого качества и других строительных работ, но практически не используется. Над отработанными пространствами, из-за неграмотной и несвоевременной закладки (или полного ее отсутствия), образовались значительные по размеру (диаметр до 70 м) провальные воронки (В. Згид, Левобережное), угрожающие жизни людей.

Хвостохранилища обогатительных фабрик занимают большие территории (как правило, пойменные) и представляют большую угрозу окружающей среде, т. к. в технологии обогащения применялись цианиды и свободная кремиевая кислота. Тонко размолотая в процессе обогащения кварцевая составляющая в сухом состоянии представляет значительную опасность для населения. Накопления в хвостохранилищах определяются в 7 млн т и по своим показателям не могут быть оперативно утилизированы в объемах, сопоставимых с годовыми поступлениями (до 0,5 млн т).

Особое беспокойство вызывает состояние Фиагдонского хвостохранилища, на котором в 2012 году в результате размыва деривационного тоннеля Ханикомдона было смыто около 45 тыс. тонн отходов в реку Фиагдон.

В настоящее время есть опасность поступления оставшихся хвостов в водный объект в количестве 2382,3 тыс. тонн (см. табл. 1).

С металлургическим переделом связано основное ухудшение экологической ситуации – за счет выброса загрязняющих веществ в атмосферу, в водотоки, в почву. Объемы отвалов заводских шлаков определяются в 2,65 млн т, занимают площадь 16 га и имеют возраст около 100 лет. Они содержат в себе много полезных компонентов, которые раньше из-за несовершенных технологий полностью не использовались (цинк – до 1 %, медь – до 0,7 %, золото – до 1,55 г/т, серебро – до 300 г/т и др.).

Только в пределах отвального поля ОАО «Электроцинк» размещены отходы клинкера (площадь 226,56 тыс. м<sup>2</sup>, масса – 3,2 млн тонн), отстой цинко-содержащих шламов (площадь – 24,5 тыс. м<sup>2</sup>, масса – 47,64 тыс. т), шлам нейтрализации промывной серной кислоты (площадь – 28,32 тыс. м<sup>2</sup>, масса 29,6 тыс.т) и отстойник ртутно-селенового шлама (площадь – 1,28 тыс. м<sup>2</sup>, масса –

70 т). В пределах отвального поля находятся – более 107 тонн ртути, 50 тонн селена, 6200 тонн мышьяка, 240 тонн кадмия, 150 тыс. тонн свинца и других металлов.

Таблица 1

**Характеристика отходов Фиагдонского хвостохранилища**

Площадь	Объем, тыс. т	Полезные компоненты, %	Запасы в тыс. тонн	Гранулометрический состав, %
5,6 га	2382,3	Pb – 0,13 Zn – 0,15 Bi – 0,002 Cd – 0,003 Fe – 3,73 SiO <sub>2</sub> – 57,92 Ca – 6,25 Mg – 2,15 Al – 10,24 As – 0,06	Pb – 3.069 Zn – 3,573 Bi – 0,047 Cd – 0,071 Fe – 88,85 SiO <sub>2</sub> – 1380 Ca – 148,9 Mg – 51,21 Al – 243,94 As – 1,42	0,63 – 1,5 0,315 мм – 12,5 0,16 мм – 45,3 < 0,16 мм – 40,7

**Из нерудных полезных ископаемых** на территории республики разведано: 9 месторождений песчано-гравийных смесей (эксплуатируются 7); 6 – песков различного назначения (разрабатываются 3); 12 – глин для производства кирпича, черепицы и керамзита; 3 – песков для изготовления силикатного кирпича; 3 – облицовочного камня и 2 – нерудного сырья многоцелевого назначения (известняки, доломиты). Наибольшее развитие получила добыча песчано-гравийных смесей, осуществляемая на 16 карьерах (производительностью свыше 2,5 млн м<sup>3</sup> в год).

Подавляющее большинство карьеров расположено в равнинной части республики. Отдельные разработки (песок, керамзитовое сырье, известняк, доломит) находятся в пределах Лесистого и Скалистого хребтов; два карьера мраморной крошки расположены в высокогорной части республики, в истоках р. Гизельдон.

По видам сырья карьерные разработки подразделяются на 2 группы: стройматериалы и технологический камень. Карьеры по добыче стройматериалов разрабатывают месторождения песчано-гравийных материалов, глины, керамзитового сырья, мрамора, облицовочного и бордюрного камня.

Карьерами технологического камня разрабатываются известняки и доломиты как сырье для стекольной, металлургической и сахарной промышленности, а также для производства извести и известковой муки, карбида кальция, соды, синтетического каучука.

Несмотря на актуальное хозяйственное назначение нерудных полезных ископаемых, карьеры по их разработке наносят огромный ущерб природным ландшафтам.

Наибольший ущерб окружающей среде наносится при разработке нерудных полезных ископаемых месторождений песчано-гравийных смесей. Значительное количество крупных разработок расположено в водоохранных зонах рек, главным образом, Терека и Гизельдона. Размеры их достигают 0,8 кв. км при глубине отработки 10–25 м.

На разрабатываемых различными ведомствами карьерах стройматериалов допускаются серьезные нарушения требований по охране недр и окружающей среды [3]. Практически на большинстве объектов разработка полезных ископаемых проводится без наличия лицензий у недропользователей. Как правило, границы земельных и горных отводов не совпадают с контурами утвержденных запасов. В пределах контуров запасов зачастую располагаются предприятия и хозпостройки всевозможных ведомств. Запасы на протяжении многих лет, несмотря на интенсивную их отработку, недропользователями не списываются. В результате, даже при полной отработке запасов, на балансе предприятий числятся запасы в первично подсчитанном объеме, а фактическая их отработка продолжается вне контуров подсчитанных запасов, на неразведанных площадях.

Извлечение полезного компонента иногда не превышает 50 % из-за сложности добычных работ на глубоких горизонтах. Оработка объекта в пределах первых 5–7 м от земной поверхности приводит к выводу из строя значительных территорий пойменных земель, зачастую не входящих в контуры запасов, и, соответственно, к сложностям их рекультивации, а иногда и к вторжению в охранные зоны водозаборов.

При разработке месторождений ПГС в руслах и поймах рек имеют место факты уничтожения плодородного слоя почвы. Отдельными ведомствами допускаются разливы нефтепродуктов и сброс неочищенных стоков в водоемы. На большинстве карьеров ПГС отсутствуют экологические паспорта. Значительное количество карьеров захламлено. В пределах земельных отводов Владикавказского карьероуправления вблизи карьеров и на берегах р. Терек из-за отсутствия надлежащей охраны скопилось огромное количество хозяйственно-бытового и строительного мусора, что создает определенную опасность не только для природной среды, но и для населения.

В значительных объемах на ряде крупных карьеров накапливаются отходы переработки сырья. Например, на Ногирском карьере Владикавказского карьероуправления объем отходов ПГС достигает 270 тыс. куб. м.

Крупными источниками нарушений природоохранного законодательства и загрязнения окружающей среды являются карьеры кирпичных заводов. В геологических блоках глина отличается высоким качеством, но из-за нарушений в системах отработки, предусмотренных проектами, качество сырья резко понижается, и безвозвратно теряется часть запасов. Потери сырья при добыче часто превышают 30 %. Месторождения глин разрабатываются, за редким исключением, без снятия и складирования почвенно-растительного слоя, в отдельных случаях – без утвержденного проекта на проведение работ.

Проектно-технологическая документация в ряде случаев разработана с отступлением от действующих норм и правил по охране недр и окружающей среды (отсутствуют планы развития горных работ и рекультивации нарушенных земель). Выборочная отработка удобных участков месторождения ведет к накоплению сырья худшего качества и потере его промышленного значения. Для ряда карьеров по разработке глин при проверках установлены факты разливов нефтепродуктов и невыполнения мероприятий по пылеподавлению на карьерных дорогах и в забоях. Техническое состояние автотранспорта и землеройных машин на карьерах не соответствует требованиям охраны окружающей среды.

На территории Северной Осетии разведано **4 месторождения нефти**: Северо-Заманкульское, Харбижинское, Северо-Ахловское, Красногорское с извлекаемыми запасами 4358 тыс. т, в т. ч. 4158 тыс. т отнесены к забалансовым (из-за высокого содержания сероводорода – до 7 % в попутном газе). Единственное из четырех эксплуатируемых месторождений – Заманкульское, в нем т. н. осетинский сектор (в пределах республики) занимает площадь 50,8 га. Месторождение эксплуатируется с 1958 г. при интенсивности добычи 7–12 тыс. т/год.

В результате проведенных геолого-разведочных и эксплуатационных работ значительные территории оказались загрязненными. Так, территория прииска на базе Заманкульского месторождения на площади 10 км загрязнена нефтепродуктами, тяжелыми металлами и другими токсичными веществами, технологически связанными с нефтяным бурением. Уровень загрязнения очень высокий. В сферу загрязнения попадают основные элементы биологической среды: почвы, донные отложения, воды поверхностного стока и, вероятно, подземные воды. Растительный покров находится в угнетенном состоянии.

Территория нефтеразведок, составляющая в сумме около 300 кв.км, относится к разряду потенциально загрязненных, и по результатам анализов проб почв, отобранных в отдельных точках, отмечается резко повышенное содержание нефтепродуктов и тяжелых металлов.

Продолжающееся ухудшение качества природной среды в горнодобывающих районах Северного Кавказа вызывает необходимость поиска путей и методов преодоления отрицательных последствий вмешательства человека в функционирование природных систем, включая эколого-геологические системы. В связи с этим весьма важными этапами являются разработка и реализация экологически сбалансированного подхода к освоению минеральных ресурсов региона.

Хозяйственное освоение минерально-сырьевых ресурсов рассматриваемого региона необходимо осуществлять с учетом экологических проблем и причин, их вызывающих [4, 5, 6]. Это невозможно сделать только перегруппировкой инфраструктур отдельных участков горного производства.

Устойчивое развитие экономики, максимально соответствующей природно-хозяйственным и экологическим условиям, нуждается в создании эффективного эколого-экономического механизма, отвечающего требованиям оптимального использования природных ресурсов и одновременно – природоохранным требованиям, направленным на снижение сверхнормативных воздействий на природные системы (рис. 1).

Региональную систему геоэкологического мониторинга можно представить в виде совокупности отдельных взаимосвязанных подсистем (рис. 2). Управляющим центром системы геоэкологического мониторинга, обеспечивающим согласованное функционирование указанных в схеме, является автоматизированная информационная система и база данных, получаемая с наблюдательной сети локального и регионального уровней.

Утилизация хвостов обогащения и металлургии возможна после извлечения из них металлов до уровня ПДК технологиями с выщелачиванием при повышении их активности разновременной или совмещенной во времени подготовкой в дезинтеграторах.



Рис. 1. Схема рационального недропользования при добыче и переработке руд в РСО-Алания

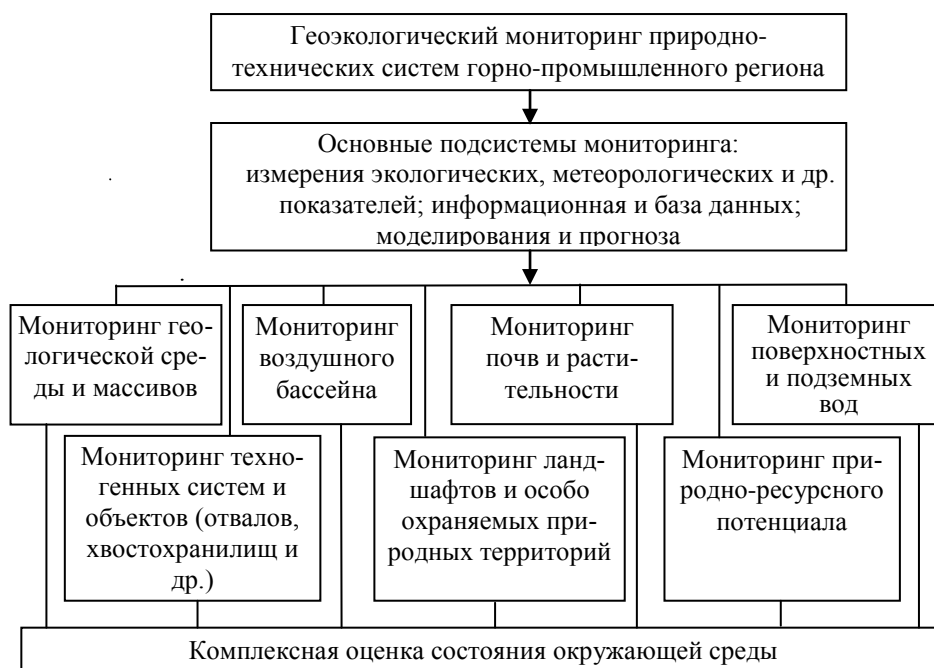


Рис. 2. Структурная схема комплексного геоэкологического мониторинга природно-технических систем горно-промышленного региона

Главным направлением рационального недропользования, обеспечения экологической безопасности и принятия эффективных управленческих решений на уровне сначала региона, а затем межрегионального уровня, является создание системы постоянно действующего комплексного геоэкологического мониторинга природно-технических систем.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Алборов И. Д., Голик В. И., Цгоев Т. Ф. Экология промышленного производства. Владикавказ. 1996.
2. Алборов И. Д. Управление экологической безопасностью горных регионов при разработке и эксплуатации месторождений цветных металлов : [монография] /И. Д. Алборов, Ю. С. Бадтиев, Ф. Г. Тедеева; ЦГИ ВНЦ РАН и РСО-А, СКГМИ (ГТУ). Владикавказ:. 2010. 307 с
3. Голик В. И., Алборов И. Д., Тедеева Ф. Г. Цгоев Т. Ф. Повышение экологической безопасности утилизацией отходов обогащения руд. Центр геофизических исследований ВНЦ РАН. Владикавказ: ЦГИ ВНЦ РАН и РСО-Алания, 2010. 218 с.
4. Бурдзиева О. Г. Динамика трансформации природной среды горного региона под влиянием горно-добывающей деятельности (на примере Республики Северная Осетия-Алания): АВТОРЕФЕРАТ диссертации на соискание ученой степени кандидата географических наук: Астраханский государственный университет. Астрахань, 2011. 137 с.

5. Воробьев А. Е., Голик В. И., Лобанов Д. П. Приоритетные пути развития горно-добывающего и перерабатывающего комплекса Северо-Кавказского региона. Владикавказ: Рухс, 1998.

6. Дзасохов А. С., Голик В. И. Проблемы устойчивого развития горных регионов // Вестник МАНЭБ. С-Пб., 2004. № 4.

*Tsgoev T. F., Tebloev R. A.*

**DEFORMATION OF MOUNTAIN ECOSYSTEMS WHILE MINING FOR  
EXAMPLE, UNDER NORTH OSSETIA-ALANIA**

*This article discusses the principles of the transformation of the natural environment of the mountainous region under the negative influence of mining and ore processing industry. Proposes the creation of an effective environmental-economic mechanism that meets the requirements of the optimal use of natural resources and at the same time - environmental regulations aimed at reducing excessive impacts on natural systems.*





УДК 620.172

*Канд. техн. наук, доцент АВСАРАГОВ А. Б.,  
аспирант ХАБАЛОВ Т. И.,  
аспирант БАРСЕГЯН Г.Р.*

### **ПРЕДЕЛ МИКРОТЕКУЧЕСТИ СТАЛЕЙ – ТОЧКА ДИСБАЛАНСА ТЕКУЩЕГО РАВНОВЕСИЯ-КОМПРОМИССА**

*Приводится обоснование реальности информационно-обменной природы материальных систем (МС) и, как квинтэссенция данных предположений – осмысление понятия равновесного состояния (РС) и методов его оценки, контроль и поддержание которого ведут к получению кардинально новых уровней работоспособности стальных материалов и конструкций как одного из важных факторов обеспечения безопасности и стабильности в сфере технической деятельности человека. Уточняется местоположение предела микротекучести ( $\sigma_{\text{мкт}}$ ) некоторых марок сталей и критерий ранжировки сталей. Формируются подходы по разработке новых мономатериалов, и дается регламент их нагружения.*

**Ключевые слова:** идеализированная модель, масштабно-размерное структурирование, стальная конструкция.

Устойчивость (стабильность, стационарность) [1] как общенаучная категория есть следствие проявления равновесия МС различного масштаба и уровня. Представляемые в статье исследования позволяют углубить понимание и обосновать возможности контроля РС сталей, чему способствует моделирование свойств новых конструкционных материалов и корректировка условий их применения.

Подтверждая, что «целью» (МС) является достижение идеального равновесия (ИР) (гармонии) при условии равенства объемов пустоты и непустоты [2], схематизируем идеализированную модель МС, пребывающей в состоянии гармонии (рис. 1).

При перманентном «общении» МС и внешних воздействиях на них достижение ИР, как предполагалось ранее [2], невозможно, но объективны текущие равновесия-компромиссы (Р-К), в той или иной степени близкие к ИР (диалектика МС – иерархия РС).

Отсюда богатство и необъятность материальных формообразований, организованных по принципу масштабно-размерного структурирования (принцип «матрёшки»).

Таким образом, процессы деструкции, образования и развития МС протекают в две стадии: первая – внешние воздействия на МС (приближающие или отдаляющие её от РС); вторая – реакция МС на эти воздействия, приводящая или к возможному в данных условиях восстановлению РС, или к переходу на более высокий уровень РС.

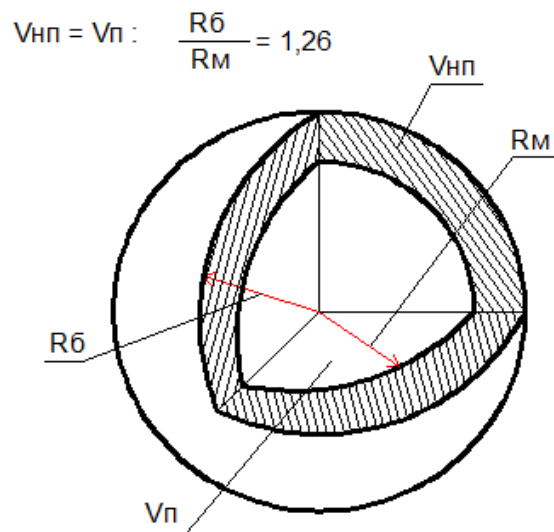


Рис. 1. Модель-схема МС в ИР:  $V_{\text{нп}}$  – объем непустоты;  $V_{\text{п}}$  – объем пустоты;  $R_{\text{м}}$  – радиус малой сферы-пустоты;  $R_{\text{б}}$  – радиус большой сферы

Ключевая (степень эффективности пока трудно оценить) задача – обоснование понятия о РС (параметров и критериев их оценки) для осуществления текущего контроля, что при поддержании соответствующих внешних условий [2] позволит достигать МС новые (ничем не ограниченные) уровни равновесия.

Эти закономерности универсальны, они определяют любые физические явления и процессы в МС, и поэтому нуждаются в адекватном понятийно-терминологическом аппарате. Ранее уже предлагалось [2] использовать терминологию, учитывающую, что описываемые стадии имеют информационно-образный характер (накопление информации + её обработка). Но под термином «информация», известным из теории информации, информациологии, информатики [3] и др. областей знаний, в данном случае имеется в виду некая универсальная субстанция, приводящая к изменению текущего состояния МС. То есть, смысл общеизвестного термина меняется, обобщаясь, углубляясь и становясь близким к понятиям из области энерговзаимодействий, к примеру, таким как импульс, инициация (воздействие).

Тогда под единицей информации такого рода необходимо понимать импульс (воздействие), приводящий (ее) к минимальному изменению состояния той или иной МС.

Исходя из области научных интересов авторов, сферой практического приложения, а точнее – экспериментального подтверждения излагаемых теоретических положений, могла бы стать проблематика экологической<sup>1</sup> безопасности технической деятельности человека и, как одной из важных составляющих этой проблемы – обеспечение эксплуатационной надежности стальных конструкций, оборудования и материалов [4]. Среди основополагающих направлений в осуществлении искомых требований лежит диагностика реальных объектов и предварительная оценка сталей на стадии отбора.

Приведенные ниже экспериментальные исследования посвящены разработке новых деформационных критериев оценки состояния сталей и конструкций, позволившие уточнить местоположение предела микротекучности –  $\sigma_{\text{мкт}}$  сталей (рис. 2) и сформировать на этой основе ряд выводов. Известные материалы [5] свидетельствуют о расположении  $\sigma_{\text{мкт}}$  в области, практически совпадающей с  $\sigma_{\text{пр}}$  (пределом пропорциональности) сталей.

Методика исследований [6] состояла в следующем: цилиндрические (диаметром 6 мм) образцы («гагарики») из сталей различных по прочности и пластичности: Ст. 20, Ст. 30, Ст. 45, Э12 (армко-железо), 20Х13 ступенчато нагружались (в пределах упругости) с помощью МУ (малогабаритной установки) [7] с регистрацией деформаций упругого последействия [8] (в моменты останова) (цена деления индикаторов перемещений стрелочного типа – 1 мкм, база записи деформаций до их стабилизации 2 мин).

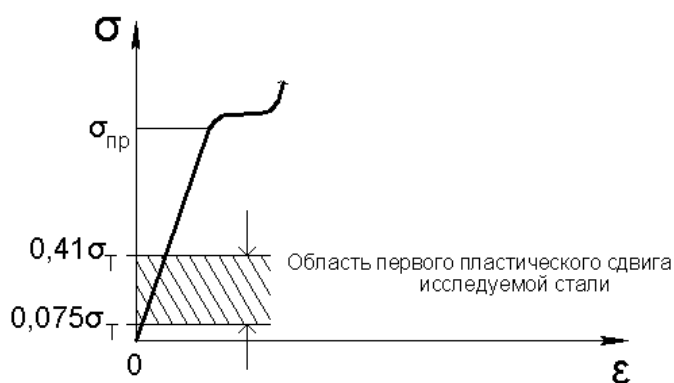


Рис. 2. Диапазон первых деформационных сдвигов сталей

Для уменьшения количества влияющих на деформации факторов образцы термообрабатывались по режиму – отжиг и имели качество поверхности одного уровня чистоты.

Главная задача эксперимента – фиксация уровня напряжений первого пластического скачка-сдвига в соотношении с пределом текучести сталей. С этой целью увеличение нагрузки велось минимально возможными степенями (с учетом мех. свойств сталей) в диапазоне 10–15 кгс со скоростью 0,17 мм/мин. Выбор скорости определялся техническими возможностями, а также необходимостью повышения чувствительности метода для достижения возможно больших величин деформаций.

Результаты замеров первых скачков образцов в зависимости от марки сталей – на рис. 3: у каждой стали свой уровень начального пластического сдвига, причем у пластичных, коррозионно-стойких  $\sigma_{\text{мкт}}$  выше. Причиной появления данных деформаций являются дефекты внутреннего строения сталей с разными геометрией и топографией. Существование аналогичных деформаций ниже этих уровней – вопрос, но в данных условиях технического оснащения эксперимента, на данных уровнях нагружения (не ниже!) их наличие очевидно.

В системе: «сталь–механическое поле» РС (механическое) возможно при полном отсутствии пластики или, используя принятую терминологию, в ус-

ловиях уравнивания стадий набора и обработки (мгновенное усвоение), когда информация перерабатывается одновременно с ее поступлением в сталь (по аналогии – одновременно с подачей нагрузки упругое деформирование). При этом очень важно, что в условиях приложения нагрузок, не превышающих  $\sigma_{\text{МКТ}}$  материал реагирует адекватно своим «возможностям», без остаточных последствий, сохраняя практически неизменным эксплуатационный ресурс.

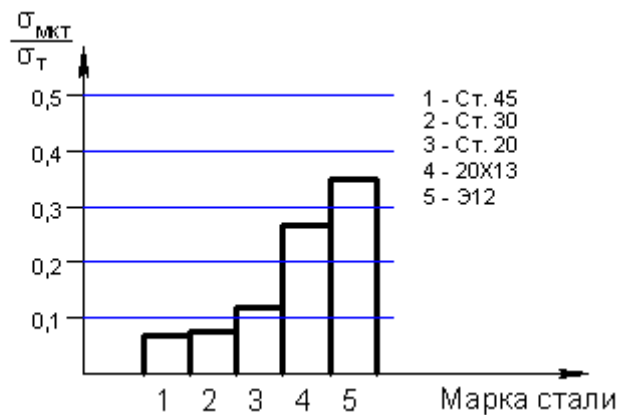


Рис. 3. Гистограмма распределения уровней первых деформаций сталей

Стоит в связи с этим обратить внимание на то, что современные представления об уровнях рабочих нагрузок к материалам и конструкциям допускают возможность появления остаточных явлений – в одном случае, и нагружения на известных уровнях до  $\sigma_{\text{T}(0,2)}$  в предположении отсутствия (несущественности) микропластики – в другом. В перспективе это ведет к закономерному постадийному исчерпанию рабочего ресурса объекта эксплуатации, кардинальному (по сравнению с возможным) сокращению срока службы.

Изменения принципов установления верхнеграничных уровней механических полей могут привести к новому качественному скачку потенциала сопротивляемости объектов в условиях эксплуатации, предполагающему баланс – равновесие внешних воздействий и адекватных реакций на них материалов конструкций.

Конечно, это возможно при условии получения новых материалов с уровнем нахождения  $\sigma_{\text{МКТ}}$ , близким (а лучше совпадающим) с  $\sigma_{\text{T}(0,2)}$  (очевидно, у этих материалов все предельные значения напряжений будут намного выше существующих уровней). Это позволит выйти на новое качество как эксплуатации (резкое сокращение эксплуатационных расходов и т. д.), так и проектирования (рост расчетных сопротивлений, экономия материалов и т. д.).

Более того,  $\sigma_{\text{МКТ}}$  есть порог (верхний предел) РС, по которому возможен контроль условий поддержания РС. А длительное поддержание равновесия способствует, согласно логике информационно-обменных явлений, улучшению всего спектра характеристик сталей и конструкций.

Для получения материалов с новыми свойствами необходимо в идеале – устранение (практически – существенное уменьшение) дефектов, описанных выше, что само по себе – задача сложная и затратная (требующая, по всей

видимости, применения современных направлений из сферы нанотехнологий), связанная с «вторжением» в микро- и наноструктуру сталей. С другой стороны,  $\sigma_{\text{мкт}}$  – индикатор качества стали по уровню содержания несовершенств кристаллического строения (НКС), что может позволить опираться на него как на критерий ранжировки (отбора) сталей.

То обстоятельство, что увеличение углерода в сталях приводит в целом к снижению  $\sigma_{\text{мкт}}$  свидетельствует о его (углерода) негативном влиянии на содержание НКС, так как инородные химические элементы другого размерного ряда увеличивают количество НКС (по аналогии с детским конструктором из разноразмерных деталей). Разработка новых конструкционных материалов (железосодержащих) могла бы идти по направлению формирования в них моноструктуры, что само по себе уже резко снижает влияние НКС и ведет к улучшению всего спектра прочностно-пластических свойств.

*Обобщим изложенное:*

1. Получают дальнейшее теоретико-экспериментальное развитие представления об информационно-обменной природе МС, определяющей самые различные явления и процессы, происходящие в них.

2. Формируются представления о РС, его характеристиках и критериях оценки, контроль и создание условий для поддержания которого обеспечивает достижение новых уровней развития МС.

3. Уточняется местоположение предела микротекучести сталей –  $\sigma_{\text{мкт}}$ , предлагаются методика его регистрации и значение этой характеристики сталей как верхней границы приложения механических воздействий, при действии которых сохраняется текущий уровень Р-К, что позволяет формировать новую идеологию применения силовых полей к конструкциям и их элементам с позиций обеспечения эксплуатационной надежности и, следовательно, общей стабильности и безопасности.

4. Становится актуальной разработка новых подходов в осмыслении состава и свойств конструкционных материалов, как моноэлементных систем.

5. Экспериментально показано, что местоположение уровня  $\sigma_{\text{мкт}}$  определяется влиянием исходной дефектности сталей, что дает основание использовать его в качестве критерия ранжировки стальных материалов по качественным показателям.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Давыдянц Д. Е., Макеенко И. П., Бондаренко Е. А. К определению понятий «равновесие», «устойчивость», «стабильность», «стационарность». [Электронный ресурс]- Режим доступа:

[http://www.stis.su/stv\\_files/downloads/science/Davidanc.pdf](http://www.stis.su/stv_files/downloads/science/Davidanc.pdf)

2. Авсарагов А. Б., Танделов Л. Ч. Информатология формирования равновесных состояний (условий равновесия) // Труды СКГМИ (ГТУ). Вып. 15, Владикавказ 2008. С. 44–48.

3. Садыков В. М., Нехорошева В. А. Информатиология как наука. Автомобильно-дорожный институт ГВУЗ «ДонНТУ». [Электронный ресурс] – Режим доступа:

[http://www.rusnauka.com/31\\_ONBG\\_2011/Economics/14\\_96160.doc.htm](http://www.rusnauka.com/31_ONBG_2011/Economics/14_96160.doc.htm).

4. Дзуцев Т. М., Басиев К. Д., Тиболов В. И., Алборов И. Д. Коррозионные и стресс-коррозионные повреждения магистральных газопроводов, эксплуатирующихся в коррозионных средах // Устойчивое развитие горных территорий. 2014. № 4(22). С. 36–39.

5. Новиков В. Ф., Семенов В. В., Бахарев М. С. Возможности определения предела пропорциональности (предела микротекучести) стали по кривым магнитоупругого размагничивания // Контроль. Диагностика. М.: ISSN 0201-7032. 2006. № 4.

6. Патент на изобретение RUS 2410669 04.12.2009. Способ экспресс-оценки склонности сталей к общей коррозии. Авсарагов А. Б., Танделов Л. Ч.

7. Танделов Л. Ч., Авсарагов А. Б., Кайтуков Г. Ф. Установка для коррозионно-механических испытаний стальных образцов // Труды СКГМИ (ГТУ). Вып. 18, Владикавказ, 2011. С. 124–129.

8. Фридман Я. Б. Механические свойства металлов. Ч. 1 Деформация и разрушение. М.: Машиностроение, 1974.

*Assoc. AVSARAGOV A. B.,  
grad. KHABALOV T. I.,  
grad. BARSEGHYAN G. R.*

#### **THE LIMIT OF MICROACOUSTIC STEELS – THE POINT OF IMBALANCE OF THE CURRENT BALANCE OF COMPROMISE**

Provided further substantiation of the reality of the information – exchange nature of material systems (MS) and, as the quintessence of these assumptions is the notion of equilibrium state (RS) and methods for its evaluation, control and maintenance of which is leading to radically new levels of serviceability of steel materials and structures, as one of the important factors of security and stability in the area of technical activity. Specifies the location of the limit of microacoustic ( $\sigma$  MKT) some steels and the criterion for ranking steels. Approaches for the development of new monomaterial, regulations loading.



*Канд. техн. наук, доцент КУЛОВ Р.П.,  
архитектор КУЛОВА Х. Р.,  
инженер КУЛОВ А. Р.,*

## **МОСТ ДЛЯ СЕЙСМИЧЕСКИ ОПАСНЫХ РЕГИОНОВ**

*Представлена конструкция сейсмостойкого моста, предназначенного для эксплуатации в условиях значительных продольных и поперечных горизонтальных сейсмических колебаний. Эффект сейсмостойкости достигается за счет расположения в индивидуальных ячейках между промежуточными и береговыми опорами моста и пролетным строением металлических шаров, имеющих свободу перемещения в горизонтальной плоскости.*

**Ключевые слова:** *мост, сейсмический район, сейсмостойкая конструкция, сейсмостойкий мост, сейсмические воздействия, точечные шаровые опоры, пролетное строение, промежуточные опоры, береговые опоры, горизонтальные нагрузки.*

Строительство мостов в горной местности в условиях высокой сейсмичности является проблемой, решение которой необходимо для нормальной жизнедеятельности этих районов. Разрушение мостов при сейсмических воздействиях парализует транспортное сообщение, затрудняет оперативные действия и ликвидацию последствий землетрясений. Сейсмостойкий мост, следовательно, является не только одним из факторов создания благоприятных условий для жизнедеятельности и жизнеобеспечения населения, но имеет и стратегическое назначение. Существует немало конструктивных решений сейсмостойких мостов как проектных, так и имеющих статус изобретения. Их можно свести к двум вариантам: первый – усиление узла опирания пролетного строения моста на промежуточные и береговые опоры для восприятия повышенных усилий, возникающих при значительных сейсмических колебаниях; второй – введение в этот узел демпфера или катков для гашения колебаний. Возможности обоих вариантов ограничены, так как работоспособны лишь в определенных пределах. Представляем решение сейсмостойкого моста [1], работоспособного при значительных сейсмических воздействиях, а именно при значительных горизонтальных колебаниях. Известно, что горизонтальные сейсмические колебания наиболее разрушительные, поэтому конструкция моста решает вопросы нейтрализации этих колебаний. Суть предлагаемого решения состоит в том, что пролетное строение моста конструктивно как бы независимо от опор моста, а следовательно, от колебаний земли. В этом случае разрушительные горизонтальные сейсмические колебания не передаются через закрепленные в земле опоры моста на его пролетное строение. Таким образом, при действии горизонтальных и продольных, и поперечных колебаний исключается деформация пролетного строения и его обрушение. Казалось бы, парадоксальное явление – конструкция опирается на землю и в то же время не воспринимает колебаний земли. Более того, промежуточные опоры моста, являющиеся, по сути, консолями, закрепленными в

земле, не увеличивают амплитуду своих колебаний от массы закрепленного к опорам пролетного строения, что имеет место при жестком и частично при катковом узлах опирания пролетного строения на опоры моста.

Особенностью предлагаемого конструктивного решения сейсмостойкости моста при значительных сейсмических воздействиях является то, что пролетное строение опирается на промежуточные и береговые опоры моста посредством металлических шаров, установленных в соосно расположенных между опорами и пролетным строением углублениях в виде металлических чаш и соответственно с образованием зазора между пролетным строением и опорами моста. Диаметр чаш назначается несколько большим, чем величина перемещения, соответствующая нормативной сейсмичности данного региона. Очевидно, что при горизонтальных сейсмических колебаниях и соответственно перемещениях верха промежуточных и береговых опор в результате свободного перекатывания точечных контактов-шаров в любом горизонтальном направлении вышеназванные колебания не должны передаваться на пролетное строение и, следовательно, оно должно сохранять инерцию покоя, так как невозможно переместить какой-либо массив рычагом, имеющим на конце свободно перекатывающийся шар.

Для проведения исследований была разработана и изготовлена (каф. "Строительные конструкции" СКГМИ) лабораторная установка, имитирующая горизонтальные сейсмические колебания. За счет рычажной системы и электромотора с регулируемой скоростью вращения вала на установке создаются горизонтальные возвратно-поступательные движения (колебания) испытательной платформы ("земли"), при этом создаваемые колебания могут иметь различные скорости, ускорения и фиксированное, но изменяемое перемещение. Модель сейсмостойкого моста испытывали на этой установке [2] с изменением скорости и ускорения колебаний в пределах возможности лабораторных условий, с принятым фиксированным перемещением платформы 16 см, равным по величине перемещению при сейсмичности 9 баллов.

Лабораторные испытания модели предлагаемой конструкции сейсмостойкого моста показали, что передача горизонтальных колебаний от закрепленных в землю опор моста на пролетное строение моста визуально не обнаруживается, практически отсутствует. Пролетное строение моста, как и предполагалось, сохраняет инерцию покоя независимо от величин скорости и ускорения колебаний, а также величины перемещения, так как эффект свободно перемещающейся шаровой точечной опоры один и тот же.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Патент на изобретение №2537716 "Сейсмостойкий мост", авт. Кулов Р. П., Кулова Х. Р., Кулов А. Р., опубл. 10. 01. 2015 Бюл. № 1.
2. Патент на полезную модель № 139154, авт. Кулов Р. П и др. опубл. 10. 04. 2014.



## **THE BRIDGE FOR SEISMIC DANGEROUS REGIONS**

*Annotation: The construction for the antiseismic bridge is represented. The bridge is designed for exploitation in terms of considerable longitudinal and transverse horizontal seismic fluctuations. The antiseismic effect is achieved due to location in specific cells between interim and waterside bridge supports and span construction of the metal balls, moving around free in the horizontal plane.*

**Key words:** *bridge, seismic region, antiseismic bridge, seismic impact, punctual ball supports, span construction, interim supports, waterside supports, horizontal capacity.*

### *Literature*

1. Invention patent №2537716 "antiseismic bridge", by Kulov R. P., Kulova H. R., Kulov A. R., published on the 10. 01. 2015. bul. №1.
2. Useful model patent №139154, by Kulov R. P. and others, published on the 10. 04. 2014.



УДК 725.4

*ФАРДЗИНОВ Г. Г.*

## **ВОПРОСЫ МОДЕРНИЗАЦИИ КОНСТРУКТИВНЫХ СХЕМ В ЗДАНИЯХ ГРАЖДАНСКОГО И ПРОМЫШЛЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА**

*В статье рассмотрены узкие места в строительстве объектов и вопросы оптимизации и унификации основных проектных решений.*

**Ключевые слова:** *конструктивная схема, фундамент, каркас, капитель, плита перекрытия, балка, плоскость сдвига колонны, конструктивное решение.*

Советский Союз по-своему промышленному потенциалу занимал второе место в мире. И главное, достиг этих успехов в период так называемого «застойного» времени. Хозяйство было плановое, на научной основе, во главе с Госпланом СССР. Пятилетки успешно выполнялись. Не было таких понятий как дефолт, инфляция, кризис и многое другое.

В строительной индустрии был ГОССТРОЙ СССР, ГОССТРОЙ РСФСР, центральные НИИ и зональные (в некоторых республиках), которые вырабатывали строительную политику. Были профтехучилища, готовящие професионалов – рабочих всех специальностей.

Задача местных проектных институтов – привязка к местным условиям проработок этих НИИ. Такой службы как госэкспертиза, не существовало. Госстрой Федерации каждый год спускал местным институтам государствен-

ные бюджетные средства – изобретай что хочешь, но будь добр – защити это на НТС ГОССТРОЯ РСФСР. На чем держались, основывались эти решения – это соблюдение требований Единой модульной системы, типизации, унификации основных проектных решений, на основе технико-экономических обоснований. При развале страны достаточно было модернизировать эту систему, а получилось все наоборот.

Более полувека назад ГОССТРОЙ СССР утвердил серии промышленных изделий – ИИ-04; ИИС-04; ИИ-20, ИИС-20 для сейсмических и несейсмических районов с унифицированными нагрузками – временными и постоянными. У этих серий, особенно ИИ-20, наряду с положительными сторонами, были и отрицательные, а именно, прокладка инженерных сетей – при прокладке воздуховодов через ригели толщина перекрытия зашкаливала за 1,5 метра.

Конструктивная схема этих серий – рамный и рамно-связевый каркас. Наличие вертикальных связей – не украшение интерьеров современных производственных корпусов, особенно на объектах гражданского профиля, легкой промышленности.

В данном обзоре освежим некоторые узкие места в строительстве объектов, затронем вопросы типизации, унификации, которым при Советах уделялось большое внимание.

### Фундаменты

Мало что изменилось в производстве работ по устройству фундаментов – они были столбчатые, ленточные, перекрестные, сборные, монолитные. Проектная глубина заложения – в зависимости от инженерно-геологических условий – 3–4 метра. Фундаменты монолитные, ступенчатые, со стаканами для колонн.

Долгий процесс – отрывка котлованов, армирование, установка опалубки, технологические сроки набора прочности бетона и др.

Грунты – галечники, глины, суглинки, супеси, песчаные, просадочные, насыпные – все требуют индивидуального подхода.

Объекты, как правило, решались в бесподвальном варианте, полы по грунту, инженерные сети прокладывались в подпольных каналах, а так как металл имеет свойство ржаветь, то надо вскрывать каналы, приостанавливать производство и многое другое.

Почему бы не использовать подвал, цокольный этаж, отказаться от устройства стаканов под колонны. Инженерные сети прокладывать в тех же подвалах, которые будут контролируемы.

Серия ИИС-20 была запроектирована в рамном каркасе с сеткой колонн 6 x 6 м; 6 x 9 м этажности 4, 5; временная нормативная нагрузка 1,0; 1,5; 2,0; 2,5 т/кв. м, постоянная – 0,7 т/кв. м. Сечение колонн 400 x 400, высота этажей 3,6; 4,8; 5,4 м.

Сейчас предпочтение отдают монолитному каркасу. Сохранив сетку 6 x 6 м, введем еще сетки 7,5 x 7,5 м и 9 x 9 м, сохраним высоты 4,8 и 5,4 м. Принимаем унифицированные нагрузки:

постоянная  $q_b = 1,0$  т/кв. м;

временные нормативные 1,5; 2,0; 2,5 т/кв. м;

расчетная сейсмичность 7–8–9 баллов.

В качестве несущих грунтов будем рассматривать грунты песчаные, суглинки, супеси, глины лессовые просадочные, непросадочные, насыпные, уплотненные тяжелыми трамбовками в вытрамбованных котлованах в соответствии СП 22.13330.2011; СП 50-101-2004.

Целью данной работы является сведение к минимуму земляных работ, использование Инструкции ЦНИПСа (ныне ЦНИИСК им. В. А. Кучеренко), метода предельного равновесия А. А. Гвоздева в устройстве фундаментов и междуэтажных перекрытий, выполнение требований «Пособия по проектированию оснований зданий и сооружений» (к СНиП 2.01.01-83) – пункты 2.274; 2.295; 3.1÷3.82; 3,83÷3,95; 3.104÷3.141, где основной упор делается на увеличение несущей способности грунтов основания, уменьшение его деформации и, как следствие, уменьшение их влияния на эксплуатационную способность сооружения.

Преобразование строительных свойств грунтов достигается вытрамбовыванием котлованов под фундаменты; рациональной компоновкой сооружения в плане и по высоте; повышением прочности и пространственной жесткости сооружений, в особенности конструкций фундаментно-подвальной части; введением водозащитных мероприятий, предохраняющих грунты основания от ухудшения их строительных свойств.

Вышеуказанное можно подтвердить конструктивным решением нулевого цикла для сеток колонн 6 x 6; 7,5 x 7,5; 9 x 9,0 м.

Фундаменты приняты двух типов – усеченные конические и пирамидальные. Для сетки 6 x 6 могут быть как конические, так и пирамидальные – неусеченные (см. рис. 1).

Трамбовка, имеющая форму фундамента, падает по направляющей штанге с высоты 2–4 метра. После вытрамбовывания в котлованах, монтируется пространственный арматурный каркас с арматурными выпусками для колонн и бетонируется бетоном в распор.

Фундаменты мелкого заложения без уширения основания с плоской или заостренной подошвой (см. рис. 1):

$$\frac{d_p}{v_m} = \frac{1,6}{2,15} = 0,74 < 1,5.$$

По взаимному расположению и характеру взаимодействия с грунтовым основанием фундаменты относят к отдельностоящим, на которые не распространяется взаимное влияние одного фундамента на другой, как при вытрамбовывании котлованов, так и при передаче нагрузки на грунт.

При расстоянии в свету по верху между фундаментами  $a_{min} > 2v_m$ .

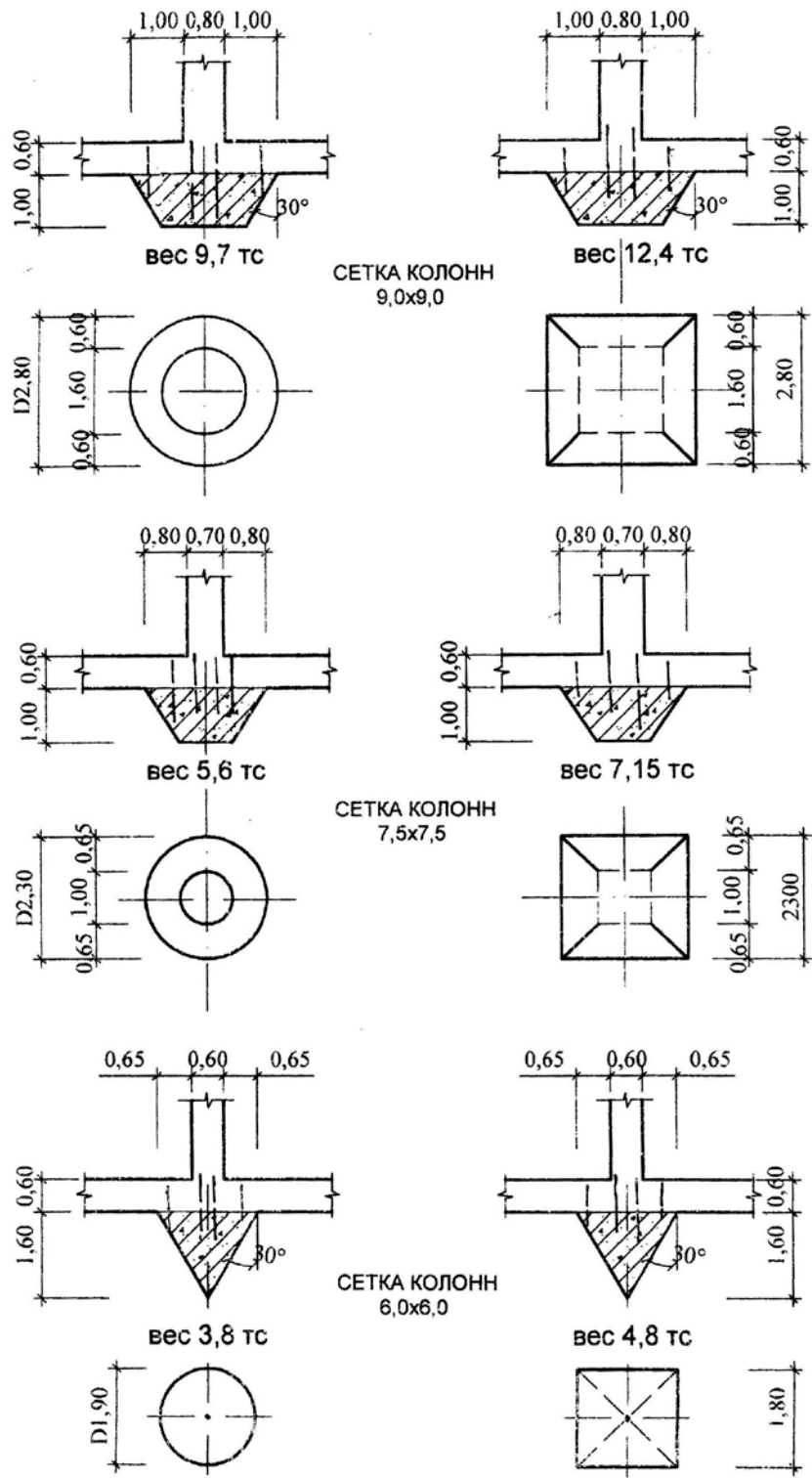
При сетке колонн 6 x 6 м:

$$a_{min} = 6 - 1,8 = 4,2 \text{ м} > 2v_m = 2 \cdot 1,6 = 3,2 : 4,2 > 3,2 \text{ м}.$$

При сетке колонн 9,0 x 9,0 м:

$$a_{min} = 9,0 - 2,7 = 6,3 \text{ м} > 2 \cdot 2,15 = 4,3 \text{ м},$$

т. е. фундаменты отдельностоящие (см. рис. 2).



верхние размеры приняты из  $s=0,3L$ , где L-длина пролёта

Рис. 1. Типы фундаментов

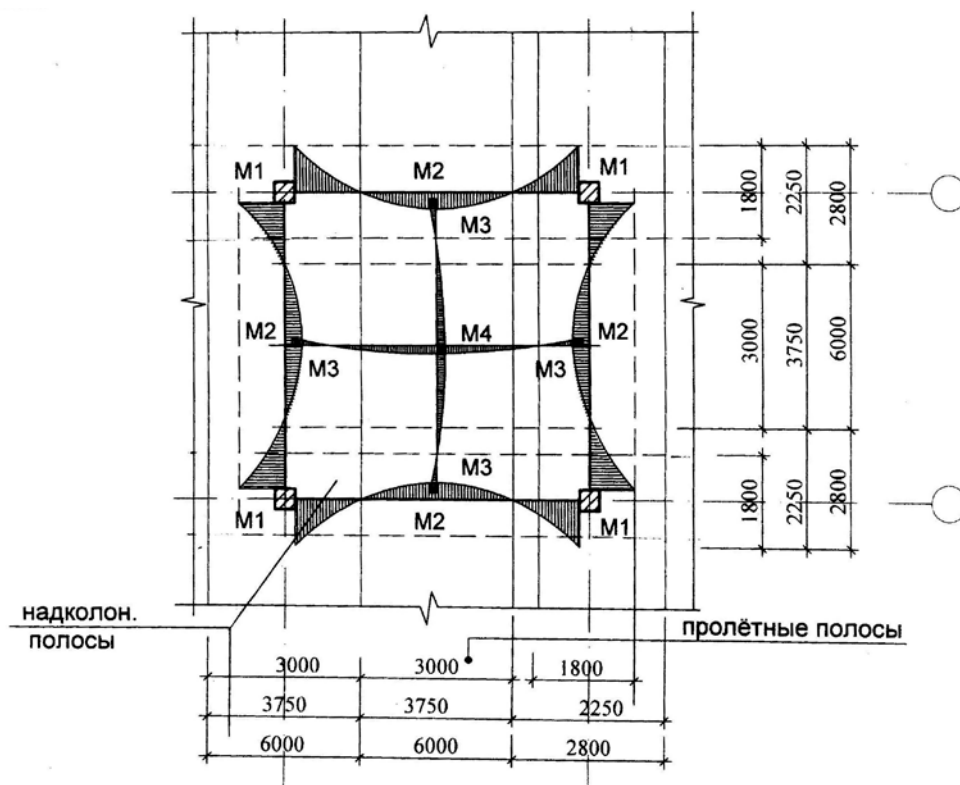


Рис. 2. Эпюры моментов для фундаментных плит и плит перекрытия

Фундаменты завершаются фундаментной плитой, представляющей собой безбалочное перекрытие, опирающееся на фундаменты – капители с сеткой  $6 \times 6$ ;  $7,5 \times 7,5$ ;  $9 \times 9$  м. Размеры капителей  $c = 0,2-0,3 \ell$ , т. е.  $0,3 \times 6 = 1,8$  м;  $0,3 \times 7,5 = 2,25$  м;  $0,3 \times 9 = 2,7$  м;  $c = 0,2$  считать нецелесообразным, так как капители минимальные, но зато пролетные полосы максимальные.

Совместная работа фундаментов в вытрамбованных котлованах и сплошной фундаментной плиты обеспечивает перемещение фундаментов и надфундаментных конструкций. При этом гарантируется нормальная эксплуатация сооружения, не снижается его долговечность (вследствие появления недопустимых осадок, подъемов, кренов, горизонтальных перемещений, например, от сейсмических воздействий). Данная конструкция обеспечивает выравнивание различных нагрузок на отдельные фундаменты, неравномерное распределение нагрузок на полы производственных зданий, неравномерность деформаций основания.

Фундаментная плита рассчитывается как плита перекрытия безбалочная с капителями, где капителями являются фундаменты.

По Инструкции ЦНИПС – балочный момент « $M_0$ » перераспределяется на: опорный момент  $M_1 = 0,5 M_0$ , опорный отрицательный момент пролетной полосы  $M_2 = 0,2 M_0$ ;

опорный отрицательный момент пролетной полосы  $M_3 = 0,15 M_0$ ;

пролетный положительный момент  $M_4 = 0,5 M_0$  (см. рис. 2).

Балочный момент определяется по формуле:

$$M_0 = \frac{qL^2}{8},$$

где  $q$  – реактивное давление грунта, равное сумме постоянных и временных нагрузок от надземной части и веса самой фундаментной плиты.

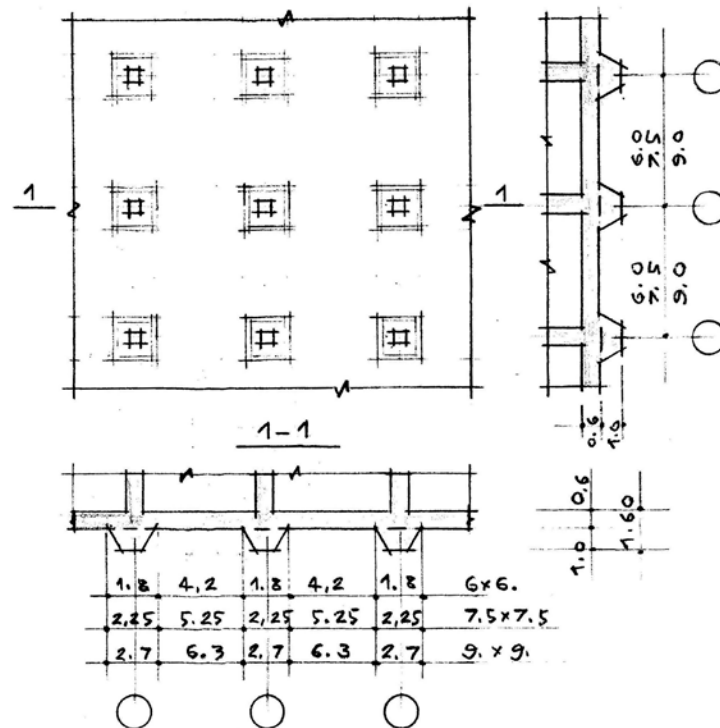


Рис. 3. План фундаментов: фундаменты – пирамидальные, конические усеченные и неусеченные для сетки 6 х 6,0 м

Момент  $M_1$  воспринимается опорной частью, равной толщине плиты и высоте фундамента – капители, например,  $K = 1,6$  м, пролетный  $M_2$  воспринимается плитой  $h = 0,6$  м. Размеры фундаментной плиты определяются размерами отсека в пределах антисейсмических швов, т. е. 60 х 60 и 80 х 80 м для сейсмичности 9 и 8 баллов.

Расчетное сопротивление определяется по формуле:

$$R = \frac{q_{c1} + q_{cz}}{K} = M_y \cdot K_z \cdot b \cdot q_{11} + M_q \cdot d_1 \cdot q'_{11} + (M_q - 1) \cdot d_0 \cdot q'_{11} + M_c \cdot c_{11},$$

оно увеличивается в несколько раз, так как грунт находится как в компрессионном приборе, без бокового расширения – выпора фунта.

Еще один плюс данного варианта – защита от грунтовых вод, ликвидации сдвига по подошве фундамента, использование активного и пассивного давления грунта, что является одним из требований сейсмостойкости сооружения в сейсмических районах.

На рис. 4 показано напряженное состояние фундаментной плиты.

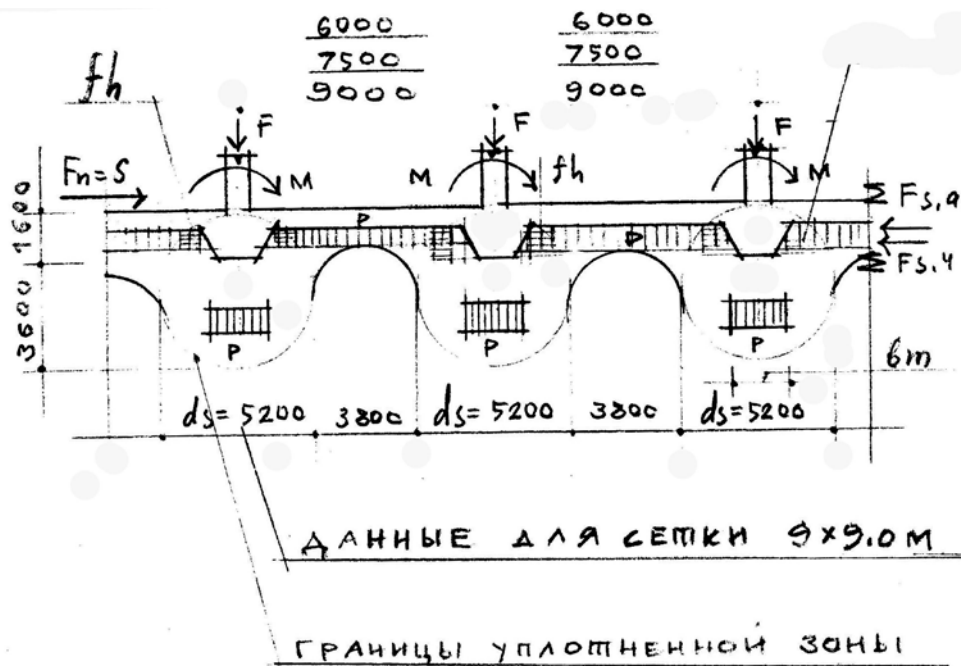


Рис. 4. Напряженное состояние фундаментной плиты с капителями:  
 $fh$  – горизонтальная составляющая реактивного отпора грунта  $fh = a + b\sigma$ ,  
 $\Sigma F_{s,a}$  – сумма проекций на плоскость скольжения сдвигающих сил,  
 $\Sigma F_{s,r}$  – сумма проекций на плоскость скольжения удерживающих сил.

Сила предельного сопротивления основания, сложенного на скальных грунтах, в стабилизированном состоянии определяется соотношением нормальных и касательных напряжений  $\sigma$  и  $\tau$  по всем поверхностям скольжения, соответствующим предельному состоянию:

$$\tau = \sigma \tan \varphi_1 + c_1,$$

где  $\varphi_1$  и  $c_1$  – соответственно расчетные значения угла внутреннего трения и удельного сцепления грунта.

Расчет фундамента на сдвиг по подошве производится, исходя из условия:

$$\sum F_{s,a} \leq q_c \sum F_{s,z} / q_n,$$

где  $\sum F_{s,a}$  и  $\sum F_{s,z}$  – суммы проекций на плоскость сложения, соответственно сдвигающих и удерживающих сил с учетом активного и пассивного давления грунта (на боковые грани фундамента);

$q_c$  и  $q_n$  – коэффициент условий работы и коэффициент надежности по назначению сооружения.

$$\sum F_{s,a} = Q + E_a, \quad \sum F_{s,r} = (N - U)f + b \cdot l \cdot c_1 + E_p,$$

где  $Q$  – нагрузка на фундамент, параллельная плоскости сдвига,  $Q$  можно приравнять к  $S$  – сейсмическому воздействию;

$E_a$  и  $E_p$  – составляющие равнодействующих активного и пассивного давления грунта (на боковые грани фундамента);

$N$  – сумма расчетных нагрузок, нормальных плоскости сдвига;

$U$  – сила гидростатического противодействия (при уровне грунтовых вод выше подошвы фундамента, кН);

$f$  – коэффициент трения, определяемый справочный материал. Предлагаемый вариант имеет повышенную шероховатость и определяется по формуле:  $f = tq\varphi_1$ .

Составляющая реактивного отпора грунта  $f_n$  по уплотненным боковым стенкам вытрамбованных котлованов для монолитных фундаментов, бетонированных в раствор, определяется по формуле:

$$f_n = a + v \sigma_m$$

где  $a$  и  $v$  – коэффициенты, соответственно  $a = 60$ ,  $v = 0,4$ ;

$\sigma_m$  – среднее вертикальное напряжение в сечении фундамента на глубине 0,5 др.

Толщина уплотненного слоя:

$$h_s = 1,5 v_r = 1,5 \times 2,15 = 3,23 \text{ м.}$$

### Междуэтажные перекрытия

Расчеты ведут аналогично расчетам фундаментных плит (по Инструкции ЦНИПС).

На рис. 5 и 6 показаны фрагменты перекрытия для сеток колонн 6 x 6; 7,5 x 7,5; 9 x 9 м.

Согласно «Руководства по проектированию железобетонных конструкций с балочными перекрытиями» (НИИЖБ, Москва. 1979 г.) капители представлены тремя типами. Размеры капителей совпадают.

Главный недостаток этих капителей – трудное изготовление в построечных условиях и эстетическая сторона – торчащие вниз пирамиды, наличие инженерных сетей, подвешенных к плите перекрытия – потребность подвесных потолков – надо закрыть эти воздухопроводы, трубы канализации, отопления, водопровода.

Для варианта – 9 x 9 толщина перекрытия 1,22 м, для нашего варианта – 0,82 м, выигрыш в строительном объеме на 0,4 м.

Расчет на продавливание

$$F \leq \alpha \cdot R_{bt} \cdot u_m \cdot h_0,$$

где  $F$  – продавливающая сила;

$\alpha = 1,0$ ;

$u_m$  – среднеарифметическое значение периметров верхнего и нижнего оснований пирамиды;

$R_{bt}$  – призм. прочность бетона  $B_{25} = 0,95$  МПа или 9,7 кг/кв. см.



$F_{6,6} < 1,0 \times 9,7 \times 480 \times 6с = 279,4 \text{ т} : F_{7,5 \times 7,5} = 396 \text{ т} : F_{9,9} = 500,5 \text{ т.г}$   
 $q_{6,6} = 7,76 > 3,5 : q_{7,5} = 7,04 > 3,5 : q_{9,9} = 6,2 > 3,5 \text{ т/кв.м}$  – унифицированная нагрузка –  $1 + 2,5 = 3,5 \text{ т/кв.м}$ .

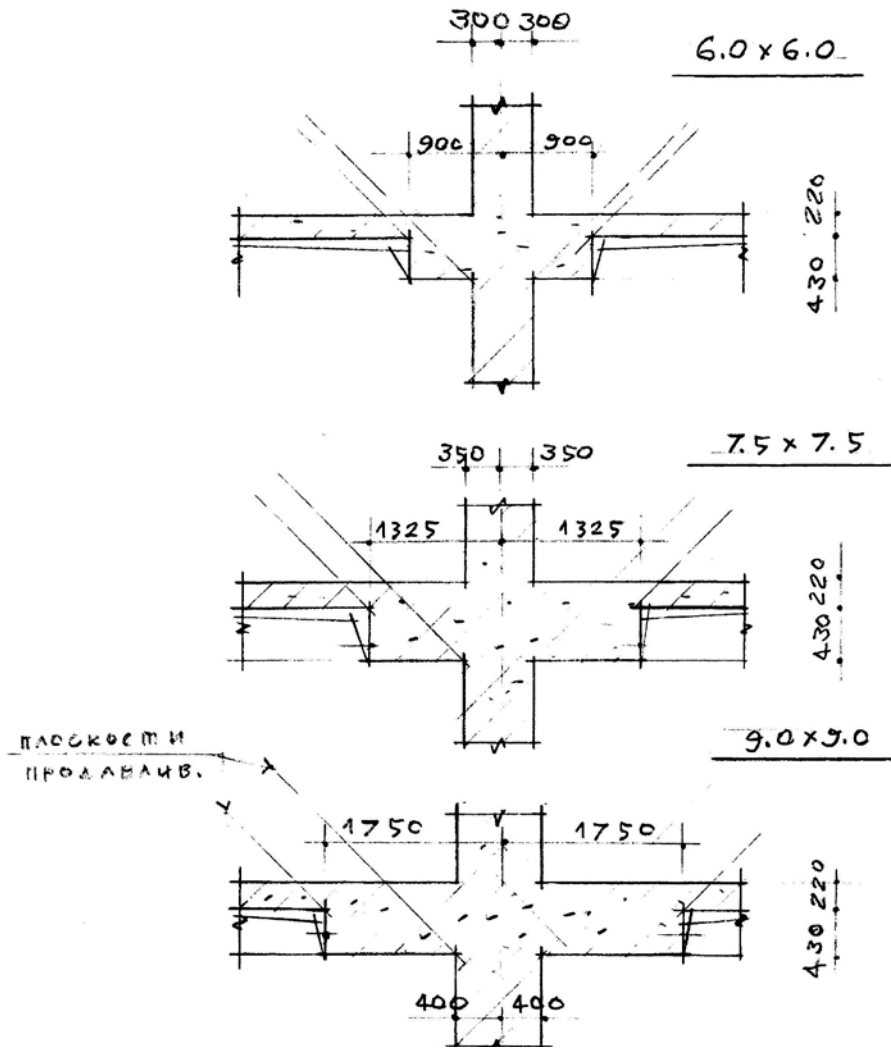


Рис. 5. Сечения по капителям

На рис. 6 приводятся варианты капителей. Размеры капителей приняты, исходя из требований  $C \geq 0,2 \div 0,35$ : 1,8 x 1,8 м для сетки 6,0 x 6,0 м:

2,65 x 2,65 – 7,5 x 7,5 м

3,5 x 3,5 – 9,0 x 9,0 м

и с максимальным пролетом 5,5 м для сетки 9,0 x 9,0 м. Толщина плит – 220 мм, капителей – 650 мм. Продавливания проверять по периметру капителей и по самим капителям.

Эпюры моментов для перекрытий аналогичны эпюре фундаментов (рис. 6).

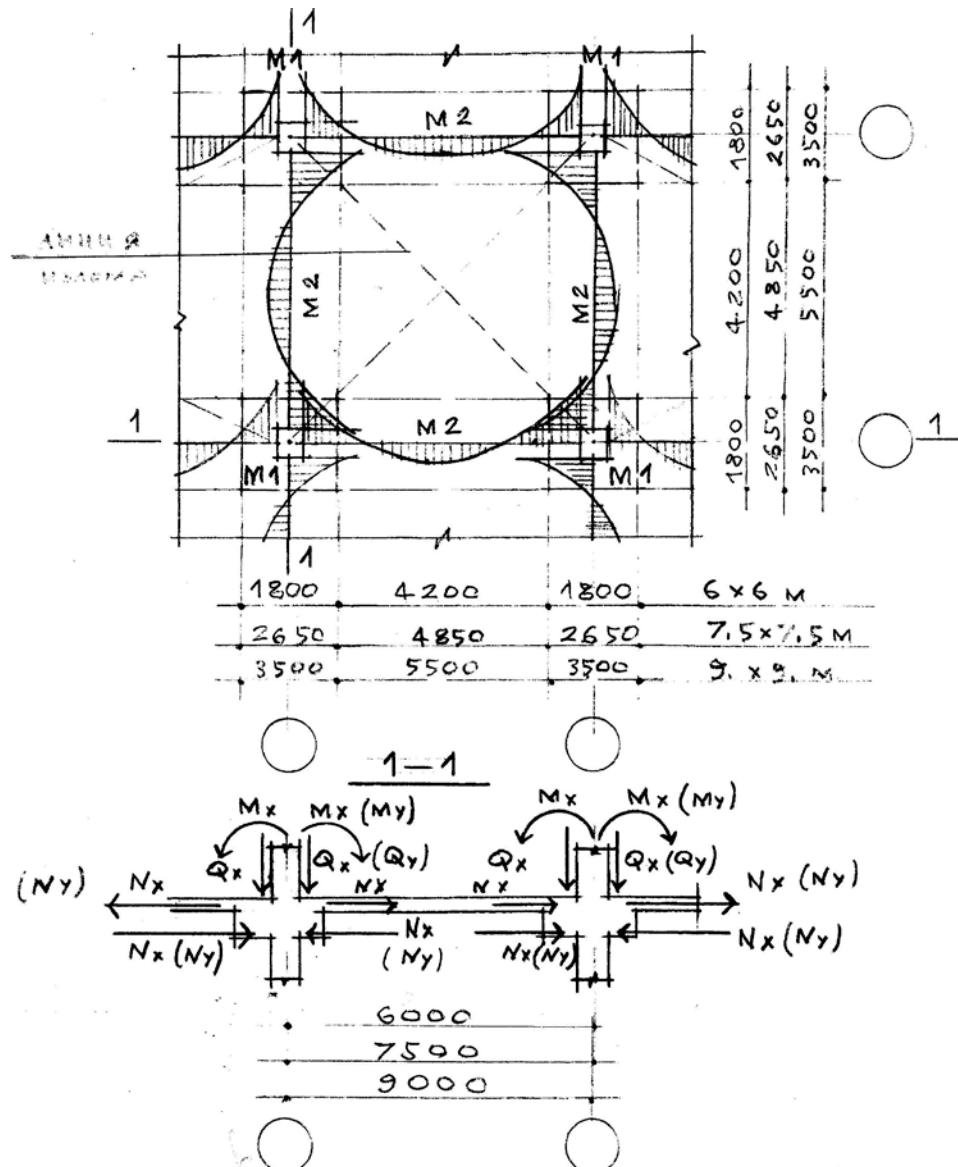


Рис. 6. Фрагмент плиты перекрытия. Расчетная схема сопряжения капителя с колонной при симметричном нагружении.  $M_x$ ;  $Q_x$ ;  $N_x$  равны  $M_y$ ;  $Q_y$ ;  $N_y$ . Линию излома определяют по методу предельного равновесия А. А. Гвоздева

### Колонны

Колонны приняты размерами 600 x 600 мм; 700 x 700 мм, 800 x 800 мм. Размеры подобраны по архитектурно-эстетическим требованиям.

Колонна 400 x 400 мм при соответствующем армировании, классе бетона может удовлетворять требованиям предельных состояний первой и второй групп, но не будет отвечать эстетическим требованиям. Посетителям будет

казаться, что колонны в аварийном состоянии из-за малых размеров при сетке колонн 9,0 x 9,0 м.

При коротких колоннах потолок давит на человека, при высоких потолках тоже чувствуется дискомфорт. Превращение колонны 400 x 400 мм в колонну 800 x 800 мм снимет эти неудобства, уменьшение площади – мизерное; но мы можем сэкономить на металле, классе бетона.

В ядре сечения такой колонны можно разместить трубу внутреннего водостока  $\varnothing 159$  мм, занимающую всего 3 % площади сечения колонны. В трубе такого же диаметра можно расположить кабельную продукцию.

Для унификации армирования таких колонн можно принять косвенное армирование – заводское изготовление арматурных сеток вместо хомутов.

КОЛОННА К 9.9  
КОЛОННА К 7.5x7.5  
КОЛОННА К 6.6

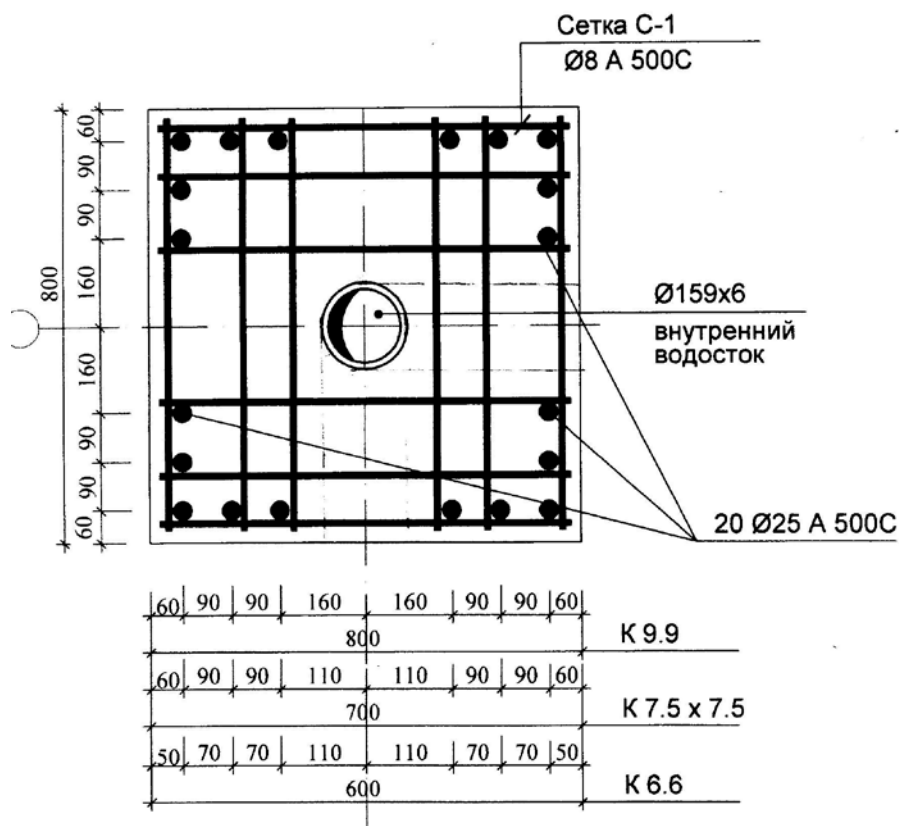


Рис. 7. Сечение колонн с косвенным армированием

$M_x$ ;  $M_y$ ;  $M_{xy}$  – изгибающие и крутящие моменты, действующие на капитель

$Q_x$ ;  $Q_y$  – поперечные силы, действующие по боковым сторонам капителя

$N_x$ ;  $N_y$ ;  $N_{xy}$  – нормальные и сдвигающие силы, действующие по боковым сторонам капителя/

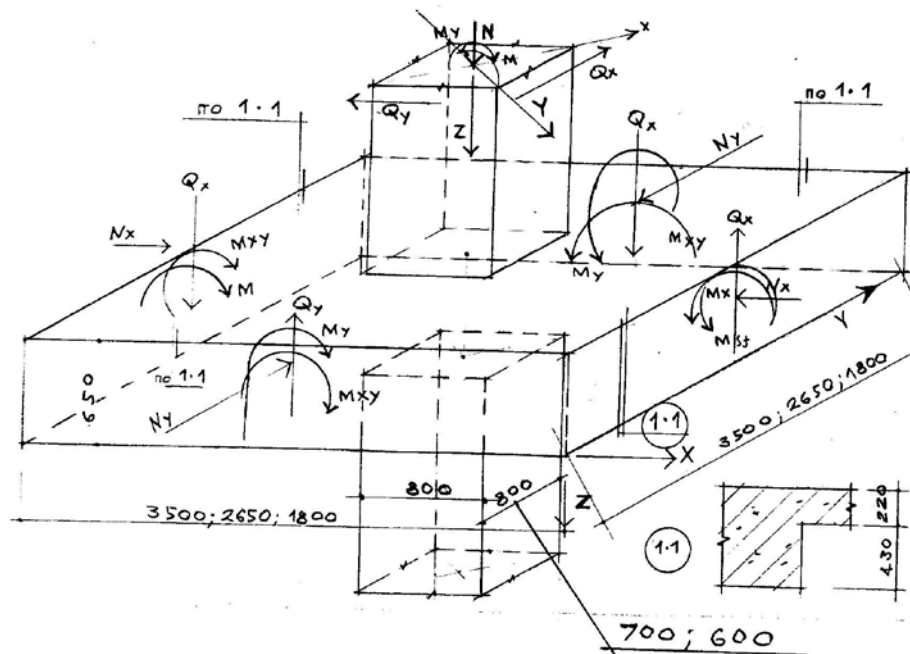


Рис. 8. Схема усилий, действующих на капитель и колонну. Сопряжения капителей и защемленных плит пролетных полос условно не показаны. См. 1.1

### Конструктивные решения

При количестве этажей 4–5, имея капительную систему для безбалочных перекрытий, погонные жесткости колонн и плит надколонных полос совпадают, наиболее целесообразным считается рамный каркас. Динамические и статистические нагрузки будут воспринимать жесткие узлы сопряжений надколонных полос и колонн через капители. Наличие вертикальных связей препятствует экономичному расположению оборудования – гибкой планировке.

Расчет перекрытий осуществляется по «Инструкции ЦНИПС» и по методу предельного равновесия.

### Вопросы сейсмоизоляции

Снижением сейсмического воздействия занимались еще в средние века первого тысячелетия. В качестве скользящего пояса применялись песчаные и глиняные подушки, камышовые слои. Под воздействием даже статических нагрузок, грунтовых вод, их состояние было трудно определить, нет расчетов по их сопротивлению сейсмическим воздействиям.

В СССР и за рубежом начали применять различные опоры – резинометаллические, катковые, кинематические, Черепинского, адаптивные системы ЦНИИСК им. Кучеренко. Или системы с повышенным деформированием, включающие в себя вязкие демпфера, демпферы Кулона, сухого трения, армянские V-образные стальные и «песочные» демпферы, грузинские фрикционные и стационарные диафрагмы.

Вышеприведенные мероприятия требуют исключительных способов изготовления, эксплуатации. Не секрет, многие подвалы жилых домов бесхозны, находятся в антисанитарном состоянии. Как поведут себя эти шарикоподшипники вращения в затопленном подвале, когда наступит предел усталости кинематических опор Назина, Черепинского и других авторов, никто не знает.

Сейчас, выбирая квартиру, покупатель скорее выберет квартиру в доме, где нет этих премудрых изобретений, и главное срок эксплуатации ограничивается, а что будет потом лет через 50?!

Если соблюдать требования СП 14.13330.2011 «Строительство в сейсмических районах» (актуализированная редакция СНиП II-7-81\*), то коэффициент  $K_1$ , допускающий неупругую работу конструкций повреждения в них, обеспечивает безопасность людей.

Принятую нами конструктивную схему можно отнести к разделу – «Железобетонные каркасные здания – рамный или рамно-связевой каркас с этажностями 16; 12; 9 для сейсмичности 7, 8, 9 баллов». Наша конструктивная схема должна обеспечить заданный уровень надежности конструкций, с одной стороны, и с другой стороны – минимальные расходы на ликвидацию последствий землетрясения.

Не подвергая критике вышеприведенные изобретения, почему нельзя сейсмоизоляцию опустить ниже фундаментной плиты, как показано на рисунках 9 и 4, где сейсмическая сила составляет:  $\Sigma S \leq \Sigma F_{sa} + \Sigma F_{s2}$ ,

где  $F_{sa}$  – сумма проекций на плоскость скольжения сдвигающих сил;

$F_{s2}$  – соответственно удерживающих сил с учетом активного и пассивного давлений грунта на боковые грани фундамента;

$g_c$  и  $g_n$  – коэффициенты условий работы и надежности.

$$\Sigma F_{sa} \leq \frac{g_c \Sigma F_{s2}}{g_n}; \quad \Sigma F_{sa} = Q + E_a$$

$$\Sigma F_{s2} = N \cdot f + \epsilon l c_1 + E_p,$$

где  $N$  – сумма расчетных нагрузок, нормальных к плоскости сдвига (закон Кулона);

$\epsilon$  – ширина фундамента;

$l$  – длина подошвы фундамента;

$c_1$  – удельное сцепление;

$E_a$  и  $E_p$  – соответственно составляющие равнодействующих активного и пассивного грунта (на боковые грани фундамента), параллельные плоскости сдвига и определяемые по указаниям СНиП II-55-79 кН (тс);

$f$  – коэффициент трения – для шероховатой поверхности.

$$f = \operatorname{tg} \varphi_1 / g_{c, \epsilon \delta}$$

$g_{c, \epsilon \delta}$  – коэффициент условий работы, принимаемый равным 1,0; 0,8; 0,6 соответственно для грунтов I, II, III категорий по сейсмическим свойствам с понижающими коэффициентами 0,85; 1,0; 1,15, соответственно, с повторяемостью землетрясений 1, 2, 3.

$$E_0 – \text{компрессионный модуль деформации } E_0 = \frac{E}{\beta}$$

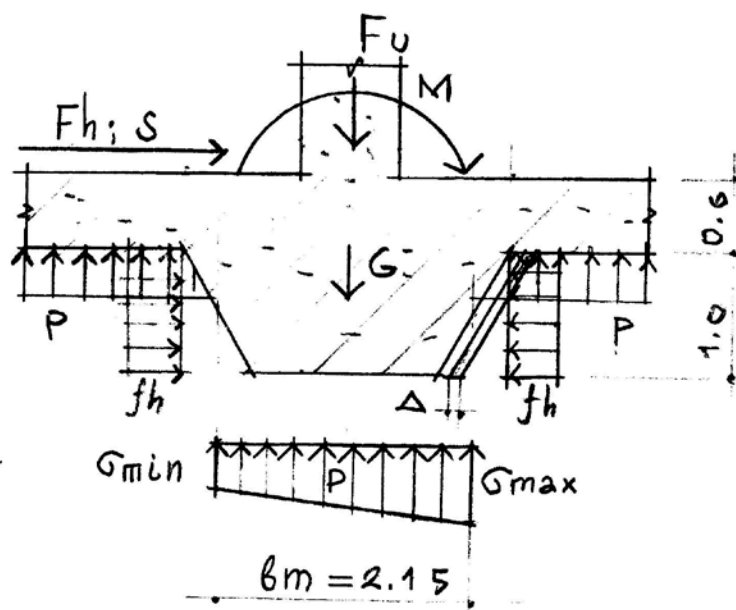


Рис. 9. Фрагмент напряженного состояния фундамента

$E$  – модуль общей деформации

$\beta$  – переходной коэффициент

$E_0$  – начальный модуль упругости бетона В20

$E_b = 27 \text{ МПа}$  (275000 кг/кв. см)

соотношение  $\frac{E_0}{E_b} = \frac{480}{275000} = \frac{1}{570}$

$\Delta$  – горизонтальное перемещение.

Допустим, в обычное время, т. е. при отсутствии землетрясения, фундамент находится в состоянии геостатического покоя, испытывает давление – реактивный отпор грунта.

При землетрясении фундамент получает горизонтальное перемещение – т. е. возникает активное давление, когда боковая стена отходит от грунта, и пассивное давление, когда другая, противоположная стена, смещается в сторону грунта. Учитывая, что грунт получил уплотнение при трамбовке, прижат фундаментной плитой, согласно компрессионной кривой полное давление равняется 6–8 кг/кв. см, тогда как реактивное давление  $p = 2\text{--}3$  кг/кв. см, сейсмическое воздействие  $\Sigma S$  определяется:

$$\Sigma S < E_a \quad \text{и} \quad \Sigma S < E_p,$$

будет меньше равнодействующих активного и пассивного давления, т. е. работа будет происходить в упругой стадии. Срок действия данной сейсмоизоляции будет равняться продолжительности эксплуатации самого сооружения. Нет надобности в геотехническом мониторинге, правда распространяется это только в начальный период эксплуатации.

Метод вытрамбовывания, подробно разработанный в СП 50-101-2004 «Проектирование и устройство оснований и фундаментов зданий и сооруже-

ний» и пособия по проектированию оснований зданий и сооружений (к СНиП 2.02.01-83), не получил своего подтверждения в СП 22.1330.2011 «Основания зданий и сооружений» (Актуализированная редакция к СНиП 2.02.01-83\*).

#### ЛИТЕРАТУРА

1 СП 22.1330.2011 «Основания здания и сооружений» (Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83\*).

2. СП 50-101-2004 «Проектирование и устройство оснований и фундаментов зданий и сооружений».

3. Пособие по проектированию оснований зданий и сооружений (к СНиП 2.02.01-83).

4. Руководство по проектированию железобетонных конструкций с безбалочными перекрытиями.

5. *Гвоздев А. А.* Расчет несущей способности конструкций по методу предельного равновесия. М., 1949.

6. СП 14.1330.2011 «Строительство в сейсмических районах» (Актуализированная редакция СНиП II-7-81\*).

7. Рекомендации по проектированию и устройству столбчатых фундаментов в котлованах, полученных трамбованием просадочных грунтов. М.: НИИОСП им. Герсеванова, Сиб ЗНИИЭП 1970.



УДК 625.111

*Д-р техн. наук, профессор КУМАРИТОВ А. М.,  
канд. техн. наук, профессор КОРТИЕВ Л. И.,  
соискатель КОРТИЕВ А. Л.,  
аспирант КОРТИЕВ Р. А.*

### **ИНТЕРЕСНАЯ МЫСЛЬ РОССИИ В ПОИСКАХ ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ ЧЕРЕЗ ГЛАВНЫЙ КАВКАЗСКИЙ ХРЕБЕТ**

*В статье рассматривается роль и значение горных инженеров России в развитии дорожного строительства на Кавказе. Горная дорога – сложнейшее инженерное сооружение, которое является главным вопросом в развитии дорожного дела. Так как в начале 19 века в России еще не было учебного заведения, выпускающего инженеров путей сообщения, на строительство направлялись горные инженеры.*

**Ключевые слова:** *горные дороги, горные инженеры, строительство горных дорог, геологические и экономические изыскания горных дорог.*

Из исторических источников и других сведений видно, что массовые пересечения людьми Главного Кавказского хребта в VII веке связаны с военными целями.

Следующее массовое пересечение происходит во время царствования грузинского царя Давида-Строителя (1089–1125 гг.), когда он приглашает для укрепления своих войск племена, населяющие Северный Кавказ. Но дорогу, по которой можно было бы добраться до Грузии, контролировали осетины. «Давид открыл крепости дарьялские и все врата Осетии и Кавказа, и по этой безопасной дороге провел великое множество войска» [1].

С развитием русских отношений на Кавказе пересечение перевалов людскими потоками усиливается. Особую роль в актуальности перевальных дорог сыграло воссоединение Осетии с Россией в 1763 г. и организация военной крепости в местечке Владикавказ в 1784 г. Об этом 25 апреля 1784 г. командующий Кавказской линией сообщал генерал-фельдмаршалу князю Потемкину: «...При входе гор предписал я основать крепость на назначенном по обозрению моему месте под именем Владикавказ» [2].

Владикавказ становится торговым и культурным центром всего Северного Кавказа и связь его с Закавказьем происходит через Крестовый перевал по вьючной дороге.

В 1769 и в 1784 гг. по Крестовому перевалу проходят русские войска под командованием генерал-майора Тотлебена и полковника Бурнашева. Крестовый перевал на Военно-Грузинской дороге (Владикавказ – Тбилиси) расположен на высоте 2379 м.

В целях установления прочного контакта с Закавказьем назначаются ответственные лица Фохт, Грамберг, Кенсон, имевшие горное образование и



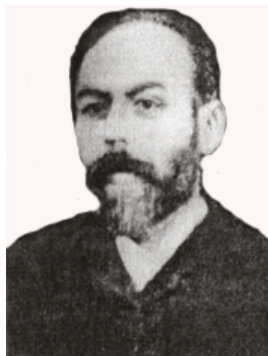
разбирающиеся во ведении горных работ: разрыхлении скальных пород и возведении насыпи для тогдашних арбных дорог.

В 1803 г. для нужд дороги было выделено 71028 руб. В том же году на реконструкцию Военно-Грузинской дороги были направлены группа отечественных горных инженеров (Томилов, Копилов, Моисеев, Туманов) и французский инженер-мостовик Гурландье. Это было началом развития проектирования дорог на горных территориях России. В результате поиска выгодных инженерных вариантов были созданы удобные профили дороги – с сочетанием расположения склонов, земляное полотно местами с русла реки было поднято на безопасное от размывов во время наводнений место; начинаются поиски методов водоотвода с верховых склонов; применяется метод порохового взрыва для разрыхления и разработки скальных грунтов; используются камне-деревянные и другие конструкции труб и мостов.

Основное место в решении проблем горных дорог и сохранения горных территорий, в частности Центральной части горной цепи Кавказа, принадлежит горным инженерам Ф. Д. Рыдзевскому, Г. Г. Цулукидзе, Н. В. Фильковичу и др.

**Рыдзевский Фердинанд Долатович** интересен в истории развития дорожного дела тем, что был строителем первого длинного тоннеля на Сурамском участке Закавказской железной дороги. Необходимость в сооружении этого тоннеля возникла в связи с развитием нефтяной промышленности в Закавказье и растущим спросом на вывоз бакинской нефти за рубеж.

Работы по пробивке тоннеля были начаты в конце 1886 года. Это была трудная и опасная работа. Большая высота хребта, в котором должен был пройти тоннель, его длина и скалистый грунт не допускали тех приемов работ, которые применялись при прорытии зарубежных тоннелей и требовали новых способов, еще не испытанных на практике. В основном применялись зарубежные (Швейцарские) методы постройки тоннелей, когда с обеих сторон горного хребта навстречу друг другу пробивались подземные ходы. Между тем 13 октября в торжественной обстановке, в присутствии министра путей сообщения и приглашенных лиц, состоялось соединение двух ходов тоннеля. Оси тоннеля сошлись с удивительной точностью [3].



После строительства Сурамского тоннеля Ф. Д. Рыдзевский проводит изыскания и проектирование Кавказской перевальной железной дороги (1890–1892 гг.) через Архотский перевал [4].

Рыдзевский Ферденанд Долатович родился в 1833 г., получил первое высшее горное образование. Но его тянуло к нелегкой профессии тоннельщика, что берет верх, и он поступает в Институт корпуса инженеров путей сообщения в Петербурге и заканчивает его в 1860 г. С 1860 по 1886 гг. прошел инженерную практику на развивающейся железнодорожной сети России, строил железнодорожные короткие тоннели на Лозов-Севастопольской железной дороге. В 53 лет он энергично взялся за сооружение столь сложного для того времени транспортного тоннеля. В следующем 1887 г. на строительстве тоннеля им были применены гидравлические буровые машины системы Брандта.

Деятельное участие в проблеме развития горных дорог принял Г. Г. Цулукидзе.



**Цулукидзе Григорий Георгиевич**, родился в 1836 г. Высшее образование получил в Петербурге, окончив в 1855 г. Институт горных инженеров. После института был направлен на работу на Алагирский горный завод. В последующем переехал в Тифлис, где проработал до конца своей жизни (1 ноября 1902 г.).

Г. Г. Цулукидзе объездил всю Грузию, Армению, Азербайджан, детально описал природные богатства Закавказья. Является одним из основателей горной и геологической наук в Грузии.

Г. Г. Цулукидзе по поручению известного в то время инженера Статковского, проводит инженерно-геологические изыскания Рокского направления железной дороги. Он подробно описывает горно-геологические условия предполагаемой железной дороги.

Переходя на характеристику самого перевала и прилегающей к дороге территории, он отмечает: «Перевал этот, возвышаясь до 9625 футов (2991 м) абс. выс., представляет весьма узкий хребет. Если принять оконечности тоннеля на высоте, одинаковой с тоннелем под Буслоачирским (Квенамтским) перевалом, то здесь пришлось бы пройти меньше 4-х верст. Из всего изложенного можно заключить, что направление описанного железного пути не встретило никаких особых затруднений, зависящих от геологического строения почвы, так как линия трахитовых извержений значительно отдалена от перевала. Кроме того, здесь есть выгоды, которые могут значительно уменьшить ценность его прохода. Поэтому всесторонние изыскания этой линии железной дороги от Гори через Рокский перевал по долине р. Нары-дон делаются необходимым» [4].

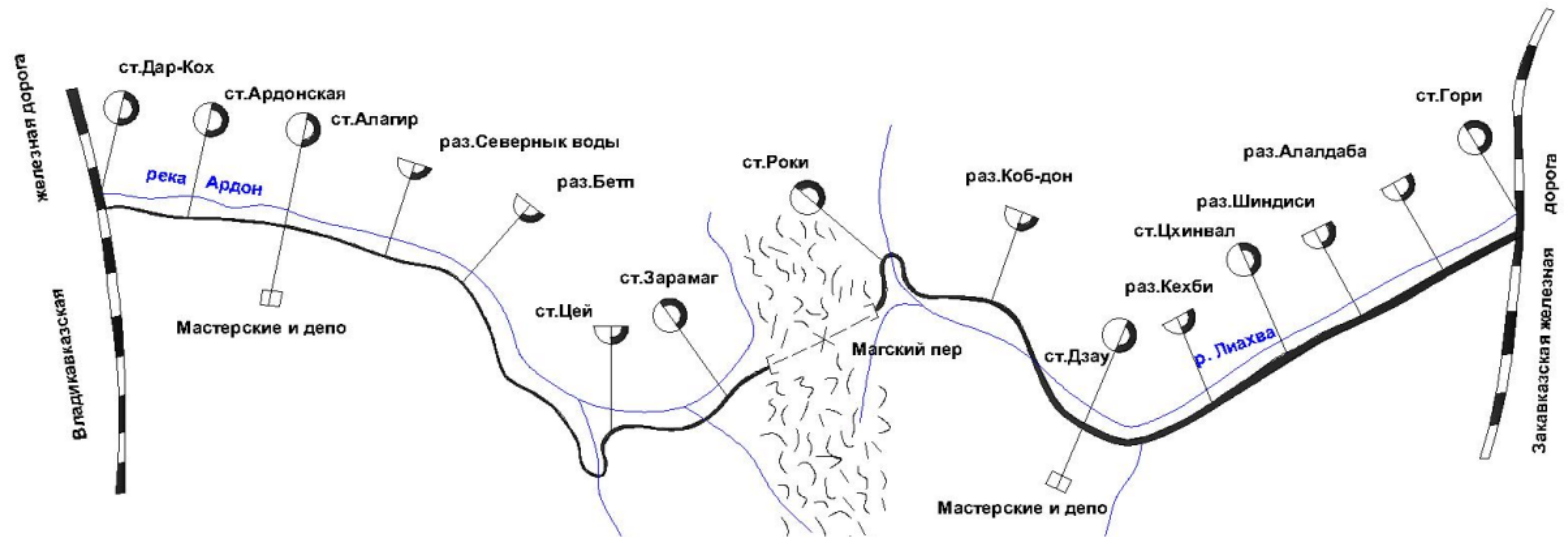
На основе исследований горного инженера Г. Г. Цулукидзе составляется проект Кавказской перевальной железной дороги «Даргкох – Гори» через Главный Кавказский хребет по Макскому перевалу (см. рисунок).

В период активной деятельности горных инженеров Кавказского горного управления Г. Г. Цулукидзе, С. Е. Симонович, А. И. Сорокин и др. ведется оживленная работа, развивается наука и практика в горной промышленности – по добыче нефти, марганца, угля, меди (60–80-е гг. 19 века) [8].

С идеями строительства горных дорог на Кавказе прочно связано имя горного инженера Н. В. Фильковича.

**Филькович Николай Владимирович** – отставной капитан, русско-подданный бельгиец, горный инженер, работавший в Алагирском ущелье в качестве коммерсанта, сбывающего руду в зарубежные страны. Позже становится директором-распорядителем общества горно-химической промышленности «Алагир».





План железной дороги по Максому перевалу, составленный на основе заключения Г. Г. Цулукидзе (1876 г.)

Н. В. Филькович являлся одним из активных инициаторов проложения железной дороги через Алагирское ущелье. Потраченная им энергия во благо этой идеи не поддается оценке. Издал несколько книг о целесообразности и выгоды железной дороги через Рокский (Магский) перевал. Придавал этой проблеме международное значение.

В конце 1896 года в Льеже (Бельгия) на французском языке издаются две его книги: "Проект постройки железной дороги через Рокский перевал Главного Кавказского хребта" и "Экономический очерк к проекту постройки "Центрально-Кавказской" железной дороги через Рокский или Магский перевалы Главного Кавказского хребта" [5].

Обе книги вскоре были изданы на английском, немецком и русском языках. Эта литература распространялась как в Европе, так и в Америке. Некоторые специалисты считали, что в условиях царской России планы Н. В. Фильковича неосуществимы или, по крайней мере, осуществимы в течение двух-трех десятилетий.

Параллельно с исследованием технических параметров дороги начиналось исследование и горно-геологических условий по прокладке дорог и на склонах прилегающей к трассе территории, что в сложных условиях Кавказа имело важное значение для становления развивавшейся сети дорог. Исследование, подробный анализ, выводы, изучение и научное обобщение геологических условий при проложении горной дороги на территориях со склоновыми явлениями – один из основных вопросов в оптимальном решении прокладки трассы дороги.

В развитии геологических исследований Кавказской перевальной железной дороги активное участие принимает академик Г. В. Абих.



**Герман Вильгельмович (иногда Васильевич) Абих** (нем. Otto Wilhelm Hermann von Abich, Отто Вильгельм Герман фон Абих; 11 декабря 1806, Берлин – 2 июля 1886, Грац) – немецкий геолог, естествоиспытатель и путешественник; один из основоположников геологического изучения Кавказа. Изучал ледники, геологическое строение и полезные ископаемые Кавказа и Ирана. Ему и его школе принадлежат заключения и выводы о сложности строительства КПЖД и прорытия тоннеля через ГКХ. Г. В. Абих и его ученики изучали высокое и низкое расположение

Кавказских перевальных тоннелей, при этом отечественный опыт сравнивался с зарубежной практикой их строительства и эксплуатации. Исследуя геологическое строение Кавказа в целях прокладки КПЖД, академик Г. В. Абих опасался встречи с подземными газами во время проходки тоннеля. Эти опасения были основаны на том, что в районах трассы имелось множество источников минеральных вод.

Прокладка тоннеля в толще Кавказских гор представляла проблему большой сложности. В процессе ее решения закладывались первые теоретические основы тоннелестроения, разрабатывались параметры этих подземных горных сооружений. Изучались и развивались понятия о соотношении высоты расположения и длины тоннеля, допустимых уклонах и радиусах кривых, методах и способах разработок горных пород. Изучались также и строитель-

ные материалы, их пригодность к применению в облицовочных и бетонных работах для устройства насыпей и покрытий.

Наряду с зарубежными горными железными дорогами в Закавказье уже эксплуатировалась железнодорожная линия Поти – Тифлис. Изучение и обобщение опыта ее работы имело важное значение для строительства и эксплуатации будущих железных дорог в сложных рельефных условиях страны, закладывало научно-теоретические основы железнодорожного строительства в горных условиях.

Ряд инженеров на основе практических наблюдений в процессе эксплуатации горной железной дороги предлагали оптимальные варианты устройства конструкций земляного полотна и искусственных сооружений, допускаемых величин уклонов, радиусов кривых и др. В ходе эксплуатации Закавказской железной дороги выявлялись: осадка насыпей, выпучивание выемок, воздействие на дороги оползней, селевых потоков, камнепадов, размывов и др. Против этих явлений отыскивались и предлагались разные мероприятия, такие, как осушение и отвод поверхностных и подземных вод с земляного полотна путем устройства кюветов и дренажей, галерей, селеспусков, подпорных стен, устройство прочных фундаментов на каменных трубах и др. [6]

### Выводы

1. Горные инженеры России, направляемые на строительство дорог на Кавказе, применяют и внедряют в практику строительства новые идеи в целях удобного устройства плана и профиля дорог; устройство конструкции «серпантин»; закрепление откосов земляного полотна; защиту дороги от склоновых явлений и, в частности, от лавинных обрушений путем устройства выемок на склоне на пути скольжения лавины.

2. Впервые горным инженером Грамбергом предложено прорытие «подземного хода» (тоннеля) под Крестовым перевалом на Военно-Грузинской дороге, в целях защиты дороги от снежных лавин. Это была первая идея в области будущего тоннелестроения на горных дорогах России.

3. Организованное в Тифлисе в середине XIX века Кавказское отделение Русского технического общества сосредоточило лучшие умы инженеров горной и транспортной отраслей на инженерно-технической мысли и на транспортной проблеме Кавказа, дало заметный импульс целенаправленному исследованию сети шоссейных и железных дорог. В развитии как дорожной, так и горной науки и техники Кавказскому отделению РТО принадлежит огромная роль

### ЛИТЕРАТУРА

1. *Кортиев Л. И.* Транскам. Владикавказ: Иростон, 2000, 334 с.
2. *Блиев М. М., Бзаров Р. С.* История Осетии с древнейших времен до конца XIX, Владикавказ: Ир, 2000, 351 с.
3. *Аргутинский-Долгоруков.* История сооружения Закавказской железной дороги за двадцать пять лет ее существования. Тифлис. 1896. С. 46.
4. *Цулукидзе Г. Г.* Инженерно-геологическое обследование Рокского перевала и выходов из него в ущельях рек Ляхва и Нары-дон// Зап. Кавказского отделения РТО. Т. 6. Тифлис, 1874.

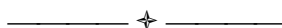
5. Филькович Н. В. Экономический очерк к проекту постройки Центральной Кавказской железной дороги через Рокский или Макский перевалы Главного Кавказского хребта. СПб, 1897.

6. Кортиев Л. И. Развитие транспортного комплекса Кавказа с оценкой воздействия их ландшафт. Владикавказ: СКГМИ, из-во «Терек», 2003, 242 с.

*Kumaritov A. M., Kortiyeu L. I.,  
Kortiyeu A. L., Kortiyeu R. A.*

**INTERESTING THOUGHTING OF RUSSIAN IN SEARCH  
OF COMMUNICATION THROUGH GREATER COUCASUS RANGE**

*Key words: upland roads, upland road building, preliminary geologic and economic feasibility studies for upland road building.*



УДК 504.55.054

*Канд. техн. наук, доцент ТЕЗИЕВ Т. М.,  
канд. юр. наук, доцент ХУГАЕВА Р. Г.*

### **ПРАВОВОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ВОПРОСОВ ОХРАНЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**

*Статья посвящена актуальным проблемам развития правового регулирования вопросов охраны окружающей среды. Возникшие в конце XX – начале XXI веков экологические проблемы наносят широкомасштабный убыток национальным, региональным и в целом мировым системам окружающей среды, формируя угрозу благополучию и самому существованию не только некоторых государств, но и всему человечеству. Поэтому в последнее время не случайно в научный оборот все активнее вводится термин «экологизация права», под которым понимается выдвижение экологической науки и экологического права в число приоритетных наук.*

**Ключевые слова:** *правовое регулирование, охрана окружающей среды, права человека на благоприятную окружающую среду, экологическое законодательство.*

Стремительное развитие научно-технического прогресса в XX веке дало человечеству немало благ, и в то же время, жизнь на Земле поставлена на грань экологической катастрофы. Повышение численности населения планеты, интенсификация добычи природных ресурсов во многих странах, неконтролируемые выбросы и сбросы загрязняющих веществ – все это приводит к коренным трансформациям в окружающей природной среде и отображается на самом существовании человечества. Оценка влияния на окружающую среду проводится в отношении планируемой хозяйственной и другой деятельности, которая может оказать прямое или косвенное влияние на окружающую среду, независимо от организационно-правовых форм собственности субъектов хозяйственной и другой деятельности [2;55].

В ст. 3 Федерального закона РФ от 10 января 2002 г. № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды» сформулированы основные принципы охраны окружающей среды, которые, как известно, представляют собой основные начала, положения, подходы к постановлению вопросов, к мероприятиям, содержанию, концепции, целям и задачам. Сформулированные в настоящем Законе нормы-принципы являются стержнем всей системы права в данной сфере. Они определяют суть охраны окружающей среды, основу ее правового регулирования и осуществления.

Данные принципы должны соблюдаться всеми субъектами, которые участвуют в отношениях по охране окружающей среды. Предусмотренные в Экологической доктрине организационно-правовые меры имеют следующие направления:

– сохранение и восстановление природных систем, их биологического разнообразия и способности к саморегуляции как необходимое условие существования человеческого общества;

– обеспечение рационального природопользования и равноправного доступа к природным ресурсам ныне живущих и будущих поколений людей;

– обеспечение благоприятного состояния окружающей среды как нужное условие качества жизни населения.

По трем направлениям реализуется правовое регулирование нормирования в сфере охраны окружающей среды:

1) определение нормативов качества окружающей среды;

2) определение нормативов допустимого воздействия на окружающую среду;

3) определение нормативов допустимого изъятия природных ресурсов.

Федеральный закон "Об охране окружающей среды" устанавливает главные направления в области охраны окружающей среды. Кроме того, Федеральными законами "Об охране атмосферного воздуха", "О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения", "Об отходах производства и потребления" и др. реализуется правовое регулирование вопросов экологического нормирования.

Сегодня официально признано, что в России существующая система нормирования воздействий на окружающую среду не отвечает запросам, предъявляемым к таким системам в странах с высоким уровнем социально-экономического развития, существенно проигрывает им по факторам прозрачности и эффективности и внутренних ресурсов для развития в современном виде не имеет. В Федеральном законе «Об охране окружающей среды» и в других аналогичных региональных законах содержатся статьи, относящиеся к охране окружающей среды в субъектах РФ.

В субъектах РФ вопросы конституционно-правового регулирования природопользования и охраны окружающей среды были предметом рассмотрения и изучения ряда научно-исследовательских работ. Однако острая актуальность научного исследования указанных вопросов до сих пор сохраняется. Совокупность правовых принципов и норм представляет собой экологическое право, которое регулируют общественные отношения:

- по охране окружающей среды от вредных влияний в процессе хозяйственной и другой деятельности;
- по рациональному потреблению природных ресурсов;
- по охране экологических прав и законных интересов физических и юридических лиц;
- по обеспечению экологической безопасности.

При этом деятельность органов государственной власти Российской Федерации, органов государственной власти субъектов Российской Федерации, органов местного самоуправления, общественных и иных некоммерческих объединений, юридических и физических лиц, направленную на сохранение и восстановление природной среды, рациональное использование и воспроизводство природных ресурсов, предотвращение отрицательного влияния хозяйственной и иной деятельности на окружающую среду и ликвидацию ее последствий, принято понимать под охраной окружающей среды.



В законе приоритетным принципом, бесспорно, наименован принцип соблюдения прав человека на благоприятную окружающую среду.

Охрана окружающей природной среды в соответствии с назначенными принципами выполняется, то есть руководящими идеями, которые лежат в основе природоохранительной деятельности и в нормах экологического законодательства предусмотрены [3; 27].

При осуществлении хозяйственной, управленческой и иной деятельности, оказывающей отрицательное воздействие на состояние окружающей природной среды, государственные органы, предприятия, организации и учреждения, а также граждане обязаны руководствоваться следующими **основными принципами** (ст. 3 Закона РСФСР «Об охране окружающей природной среды»):

- приоритетом охраны жизни и здоровья человека, обеспечения благоприятных экологических условий для жизни, труда и отдыха населения;

- научно обоснованным сочетанием экологических и экономических интересов общества, обеспечивающих реальные гарантии прав человека на здоровую и благоприятную для жизни окружающую природную среду;

- рациональным использованием природных ресурсов с учетом законов природы, потенциальных возможностей окружающей природной среды, необходимости воспроизводства природных ресурсов и недопущения необратимых последствий для окружающей природной среды и здоровья человека.

Не менее важной задачей, стоящей перед экологическим законодательством, является правовое обеспечение снижения негативного воздействия хозяйственной и иной деятельности на окружающую среду. Решение указанной задачи также до сих пор не найдено, о чем красноречиво свидетельствует стремительное ухудшение качества окружающей среды: деградация естественных экологических систем, изменение и (или) уничтожение генетического фонда растений, животных и других организмов, истощение природных ресурсов и иные негативные, часто необратимые процессы [4; 384].

К числу иных концептуально значимых задач эколого-правового регулирования следует отнести создание правовых условий для организации и развития системы экологического образования и воспитания, а также правовой основы для формирования экологической культуры; определение правовой основы государственной политики в области охраны окружающей среды, обеспечивающей сбалансированное решение социально-экономических задач, сохранение благоприятной окружающей среды, биологического разнообразия и природных ресурсов в целях удовлетворения потребностей нынешнего и будущих поколений, укрепления правопорядка в области охраны окружающей среды.

Исключительно важную роль в реализации основ природоохранного законодательства играют органы управления, контроля и надзора в области охраны окружающей природной среды России. Действующей структурой органов управления охраны окружающей природной среды предусматриваются две категории: органы общей и специальной компетенции.

Осуществляя регулирование отношений, складывающихся в области охраны окружающей среды, Закон об охране окружающей среды предусматривает необходимость создания федеральных программ в сфере экологичес-

кого развития Российской Федерации и целевых программ в области охраны окружающей среды субъектов Федерации; регулирует все виды предпринимательской деятельности, осуществляемой в целях охраны окружающей среды; закрепляет порядок экологического страхования, которое осуществляется в целях защиты имущественных интересов юридических и физических лиц на случай экологических рисков. В соответствии с Законом нормативы и нормативные документы в области охраны окружающей среды разрабатываются, утверждаются и вводятся в действие на основе современных достижений науки и техники, с учетом международных правил и стандартов в области охраны окружающей среды (ч. 3 ст. 19), а также с соблюдением устанавливаемых в законодательном порядке требований [1; 32].

В Законе об охране окружающей среды определяются и закрепляются такие виды нормативов, как:

а) общие нормативы качества окружающей среды, устанавливаемые для оценки состояния окружающей среды в целях сохранения естественных экологических систем, генетического фонда растений, животных и других организмов;

б) нормативы допустимого воздействия на окружающую среду;

в) нормативы допустимых выбросов и сбросов веществ и микроорганизмов;

г) нормативы допустимых физических воздействий на окружающую среду и другие нормативы в области охраны окружающей среды.

Социально-экономическое развитие страны в условиях рыночной экономики неразрывно связано с решением сложных проблем в области охраны окружающей среды и природопользования. Сейчас существуют экологические вопросы и связанные с ними проблемы, требующие безотлагательного решения. К ним относятся: преобладание добывающих и ресурсоемких отраслей в промышленности, которое приводит к деградации природной среды, истощению ее ресурсов; весьма невысокая эффективность применяемых организационно-правовых, экономических механизмов и отдельных мер; значительная доля теневой экономики в предпринимательстве и природопользовании.

Следует отметить, с одной стороны, низкий технико-технологический и организационный уровень производства, а с другой – высокую изношенность производственных фондов предприятий.

Итак, проведенный анализ показывает, что действующее экологическое законодательство решает не все поставленные перед ним задачи. В связи с этим актуальны попытки научного осмысления новой модели развития данной отрасли законодательства в современных условиях. В рамках указанной модели должно получить импульс поступательного развития следующее направление эколого-правового регулирования – создание правовых условий для повышения активности граждан в сфере реализации экологических прав и обязанностей [2; 22].

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Анохин А. М.* Проблемы правовой ответственности в сфере охраны окружающей среды и природопользования // Вестник экологического образования в России. 2004. № 2. С. 16.

2. Бринчук М. М. Экологическое право: Учебник. – 2-е изд., перераб. и доп. М.: Юристъ, 2003. 670 с.
3. Коробкин В. И., Передельский Л. В. Экология. 12-е изд., доп. и перераб. Ростов н/Д: Феникс, 2007. 602 с.
4. Тезиев Т. М. Возмещение экологического вреда по российскому праву // Материалы IV Международной заочной научно-практической конференции: Образование, охрана труда и здоровье. 25 апреля Владикавказ, 2014. С. 382–389.
5. Шемшученко Ю. С. Правовые проблемы экологии. Киев: Наук. думка. 1989. 231 с.

*Teziev T. M., Khugaeva R. G.*

### **LEGAL REGULATION OF ENVIRONMENTAL ISSUES**

*The article is devoted to actual problems of legal regulation of the legal regulation of environmental issues. Emerged in the late XX and early XXI century environmental problems cause widespread damage to national, regional and global systems in general environment, endangering the well-being and the very existence of not only individual states, but to all mankind. It is no accident recently in the scientific revolution is increasingly introduced the term «greening of law», which refers to promotion of environmental science and environmental law a priority of Sciences.*

**Key words:** *legal regulation, environmental protection, human rights to a healthy environment, environmental legislation.*



УДК 371.3

*Ст. преподаватель ЗАКАЕВА Б. К.,  
ст. преподаватель ОГНЕРУБОВА Т. А.*

### **СИСТЕМНОСТЬ УПРАЖНЕНИЙ ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ СТУДЕНТОВ УСТНОЙ РЕЧИ НА ИНОСТРАННОМ ЯЗЫКЕ**

*В статье рассматривается использование различных типов упражнений для обучения говорению на иностранном языке. Особое внимание уделяется упражнениям, доказавшим свою состоятельность и результативность при обучении устной речи. В работе также обсуждается эффективность упражнений, предназначенных для развития и формирования языковой компетенции в иноязычной форме. Освещается точка зрения известных методистов в области преподавания иностранных языков.*

**Ключевые слова:** *речевые навыки, упражнение, иностранный язык, общение в реальной ситуации.*

Эффективное обучение устной речи является важной методической проблемой при изучении иностранных языков. Можно констатировать определенные достижения в отборе материала, его первичном освоении и обучении оперированию базисными моделями на первоначальном этапе обучения. Для обучения какой-либо деятельности, включая иноязычную речь, необходима системность заданий. Проблема системы и типологии упражнений снова становится в центре внимания методистов. Накоплен огромный опыт разработки и практического применения различных приемов и средств, но весь этот комплекс нуждается в теоретическом осмыслении.

Как определить понятие «система упражнений»? Это ряд взаимосвязанных учебных действий в порядке усложнения задач при последовательном формировании навыков и их характера. Система упражнений и их последовательность зависят от учебных условий и этапа обучения.

Упражнения для развития устной речи рассматриваются по двум направлениям, в зависимости от:

- 1) типа речевой деятельности (слушание, говорение)
- 2) стадии формирования сложных речевых навыков говорить и слушать.

Первое направление характеризуется двумя подсистемными упражнениями: рецептивными (обучающие аудированию) и рецептивно-продуктивными (обучающие говорению). Коммуникативный характер указанных процессов и методические наработки не дают возможности считать аудитивные упражнения рецептивно-продуктивными. Слушанию практически не сопутствует одновременное проговаривание вслух прослушиваемого. Наоборот, для упражнений в говорении характерен рецептивный компонент: обучающийся слышит воспроизводимую им речь. Его речь могут слышать и другие, как минимум преподаватель. По своей природе упражнения в говорении «ответны» на иную речь. Результату речи обычно предшествует восприятие

формации на слух или в процессе чтения, в момент речи или ранее. Поэтому, подсистема упражнений, формирующая навыки аудирования, является комплексной и не должна рассматриваться изолированно от подсистемы упражнений, связанных с процессом говорения. С помощью последних, как известно, можно, хотя и с оговорками, сформировать навыки восприятия речи на слух; с помощью же одних только аудитивных упражнений обучить говорению невозможно. Одним из предметов, не прекращающихся дискуссий среди методистов, является вопрос о типологии упражнений для развития навыков говорения.

Владение иноязычной речью подразумевает обладание некоторым лексическим запасом и комплексом произносительных, структурных и грамматических компетенций на определенном уровне. Зачастую учащиеся, приобретая навыки оперирования учебным материалом, оказываются совершенно беспомощными при необходимости выразить свои мысли в реальной ситуации. Из этого следует, что нужен дополнительный арсенал средств, способствующих свободному владению иноязычной речью. Исходя из этого, качественно разными дидактическими целями характеризуются и типы упражнений, которые направлены на формирование речевых умений.

Система речевых упражнений постоянно совершенствуется. Известный ученый Скалкин В. Л. делит все упражнения на два вида. К одному относятся подготовительные, предречевые, тренировочные, дриллы и т. д. [1] Назначение их – направленная активизация языкового материала, способствующая уверенному использованию в речи фонетических, лексических и грамматических аспектов языка. Суть данного типа упражнений состоит в неоднократном и вариативном использовании языковых штампов, соответствующих заданной теме.

Ко второму типу относятся: речевые, коммуникативные, ситуативные, синтетические, творческие упражнения. Их цель – приобретение навыков спонтанной речи для выполнения коммуникативных и содержательных задач в условиях речевой практики. Результат такой активизации – языковая компетентность, готовность к общению в реальных условиях. Задача данного типа заданий – развитие и формирование языковой компетенции в иноязыковой форме. Все эти выполняемые учебные задания можно охарактеризовать как движение от упражнений, направленных на формирование языковой формы высказывания, к упражнениям, сосредоточенным на содержании высказывания [2]. Этим вопросам посвящены и работы ученых С. К. Фоломкиной и С. Ф. Шатилова, изучающих проблемы методики преподавания иностранных языков. Хотя между методистами и существуют разногласия относительно терминов, принято считать, что упражнения первого типа называются тренировочными, а второго типа – коммуникативными [3]. Один из ведущих методистов в области преподавания иностранных языков Б. А. Липидус предложил идею комбинированных упражнений. Суть их в том, что студенты не только вовлекаются в активизацию конкретного языкового материала, но и в сам процесс воспроизведения связной речи. Такие формы работы, по мнению автора, стирают грань между дриллами и упражнениями в речи, являясь и тем и другим одновременно [4]. С этим утверждением не все ученые-методисты согласны. Некоторые считают, что упражнение должно решать одну задачу, содержать трудности одного плана, привлекать внима-

ние учащихся только к одному объекту. Система учебных действий представляется в виде последовательной серии коммуникативных упражнений, различающихся по структуре, способу выполнения [5]. Такого рода упражнения, называемые условно-коммуникативными, уже на ранних этапах позволяют внести элемент коммуникативности в активизацию языкового материала. Инструкции к упражнениям помогают учащимся четко определить, для чего они делают те или иные задания в своих высказываниях. Упражнения такого рода были предложены российским лингвистом, специалистом в области методики иноязычного образования Е. И. Пассовым.

Условно-коммуникативный подход, как и любой другой, не лишен недостатков. Прежде всего, характер инструкций вряд ли делает упражнения коммуникативными, и внимание учащихся сосредоточено не столько на содержании высказывания, сколько на иноязычной форме. Желаемая степень коммуникативности не достигается из-за того, что такие упражнения носят тренировочный характер, тренаж же является полной диаметральной противоположностью коммуникативности. Внешняя коммуникативность упражнений создает иллюзию комплектности системы и отвлекает внимание преподавателя от собственно речевых (коммуникативных) упражнений.

Существуют и другие направления в разработке систем упражнений. Так, в двухкомпонентную систему предлагается внести третий промежуточный тип упражнений, называемый тренировочно-речевым. При отборе этого типа упражнений следует руководствоваться определенными критериями и учитывать, что они должны:

- носить тренировочный характер, что подразумевает частую повторяемость одних и тех же языковых структур и речевых образцов;
- быть в большинстве своем устными;
- иметь обучающий характер и избегать заданий, предлагающих выбор между правильным и неправильным вариантом ответа;
- быть направлены на отработку какого-либо одного нового языкового явления;
- обеспечить предложение в качестве минимальной единицы речи. Все языковые элементы должны затренировываться в пределах цельного реального высказывания;
- ставить задачи с однотипным или безальтернативным решением;
- быть одноязычными, особенно на первых этапах активизации.

Переводные упражнения не отвергаются, а преобразуются в такие, когда студенты вербализуют целые смысловые куски, при этом не переводят каждое слово;

- предполагать широкое использование современных технологий и самостоятельных форм работы.

Коммуникативные же упражнения должны:

- способствовать проявлению личного отношения к событию или явлению;
- быть коммуникативным и по содержанию и по форме, по материалу и по процедуре выполнения;
- базироваться в основном на знакомом языковом материале;
- выполняться в виде типичного устного общения (диалога или монолога, контактного или дистанционного);

– помогать формированию разных видов речевой деятельности, отличающихся по:

а) длительности (реплика, фрагментарное высказывание, монологическое единство и др.,

б) уровню подготовленности, спонтанности,

в) инициативности,

г) эмоциональным характеристикам,

д) характеру высказывания (описание, рассуждение, рассказ),

е) цели высказывания (повеление, совет);

– стимулировать участие в живом общении.

Упражнения, соответствующие упомянутым характеристикам, должны опираться на дидактические принципы, побуждающие к высказыванию своего мнения, отношения, точки зрения.

В заключении хочется подчеркнуть, что одним из качественных показателей системы упражнений является их последовательность. Упражнения следует располагать с учетом и по мере нарастания сложности их заданий. Каждая следующая группа заданий должна базироваться на компетенциях, приобретенных и полученных благодаря выполненным ранее упражнениям. За критерий, определяющий последовательность упражнений, следует принять нарастание сложности операций с учебным языковым материалом. Считается, что именно такого рода упражнения и являются наиболее эффективными.

*Zakaeva B. K., Ognerubova T. A.*

### **SEQUENCE OF EXERCISES FOR TEACHING STUDENTS AN ORAL SPEECH IN A FOREIGN LANGUAGE**

*The authors comment on the different types of exercises in the process of a foreign language oral speech teaching. Special attention is paid to the types of the exercises that proved to be successful and rather effective for oral speech when teaching foreign language. The effectiveness of the exercises for the formation and realization of language competence is also discussed in the article. The authors also highlight the prominent scientists points of view on the problem.*

*Key words: speaking skills, active method, interactive method, lecture, traditional method.*

#### **References**

1. *Skalkin V. L.* The structure of the oral-lingual of communications and questions of training of oral speech in a foreign language // the General technique of training in foreign languages. M., 1991.
2. *Folomkina S. K.* The problem of teaching high school students reading in a foreign language. Minsk: Vysshaya Shkola, 2015.
3. *Shatilov S. F.* Methods of teaching the *German language* in secondary school. Moscow: Prosveshchenie Publ., 1986.
4. *Lapidus B. A.* Intensification of foreign language oral speech teaching process (techniques)]. M.: Visshayashkola, 1970.
5. *Passov E. I.* Communicative method of teaching oral practise in foreign language classroom. Moscow: Prosveshchenie, 1985.

## ТРАДИЦИОННЫЕ И ИННОВАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ОБУЧЕНИЯ СТУДЕНТОВ ИНОСТРАННЫМ ЯЗЫКАМ

*В статье рассматривается использование различных методов при обучении иностранным языкам. Особое внимание уделяется инновационным методам, доказавшим свою состоятельность и эффективность. Мотивация и вовлечение студентов в активную деятельность во время занятий является важной задачей преподавателя иностранного языка.*

**Ключевые слова:** методика, активный метод, интерактивный метод, лекция, традиционный метод.

В XXI веке в условиях глобализации бизнеса и научно-технического прогресса существует потребность в специалистах, владеющих помимо родного хотя бы, как минимум одним из языков межнационального общения. С учетом этого, к обучению иностранным языкам предъявляются особые требования, которые обусловлены динамикой развития жизни и деятельностью людей.

Подходы к обучению, необходимые на современном этапе, следует ориентировать на элементы новизны в данном процессе. Это обуславливается особенностями сегодняшнего бытия, разнообразием появляющихся современных интересных технологий, используемых в процессе ориентированного обучения. Процесс обучения должен осуществляться согласно потребностям человека, общества и государства в приобретении социально полезных знаний [1].

Главная цель обучения любому языку – это развитие коммуникативных компетенций. В техническом вузе основная цель – достижение уровня, достаточного для практического использования иностранного языка в будущей профессиональной деятельности, и задача преподавателя заключается в формировании у студентов необходимых знаний для этого. Правильный выбор методов обучения позволяет каждому студенту продемонстрировать свою креативность, навыки, полученные знания и умения. Цель данной статьи – дать краткую характеристику традиционных и инновационных методов обучения.

Для начала определимся со значением понятия «метод обучения». Слово «метод» имеет свои корни в древнегреческом языке, где *μέθοδος* означает «путь». «Метод обучения» – это описание путей обмена информацией между обучающим и обучаемым при подаче одним и усвоения другим определенных умений, навыков и знаний.

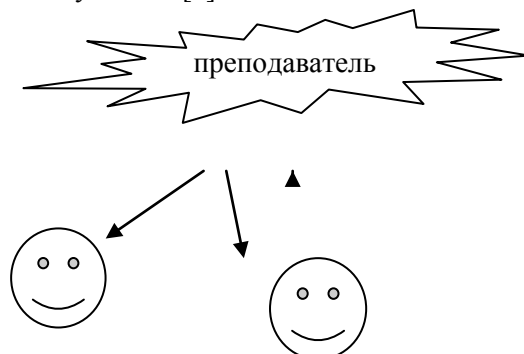
В поисках «методов обучения» можно наткнуться на обилие описаний видов деятельности, называемых методами, технологиями или стратегиями. Все они призваны помогать в процессе обучения.

Чем же характеризуются и отличаются эти методы?



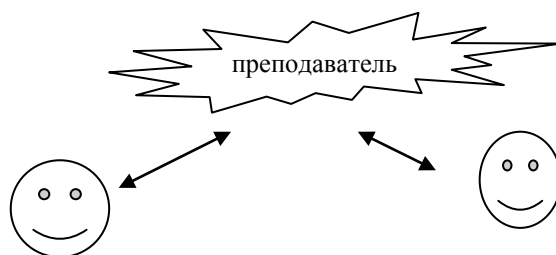
### ***Пассивный метод: лекция***

В традиционной на сегодняшний день организации обучения, как основной способ, все еще используется пассивный метод передачи знаний лекция, т. е. используется форма односторонней связи со студентами. Идея ее заключается в том, что преподаватель подает информацию без привлечения к обсуждению и участию студентов [2].



### ***Активный метод***

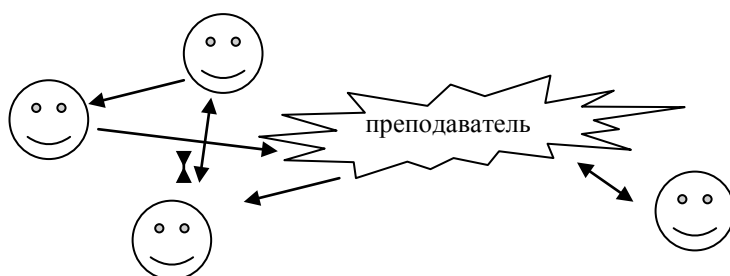
Это метод, при котором происходит взаимодействие преподавателя со студентами.



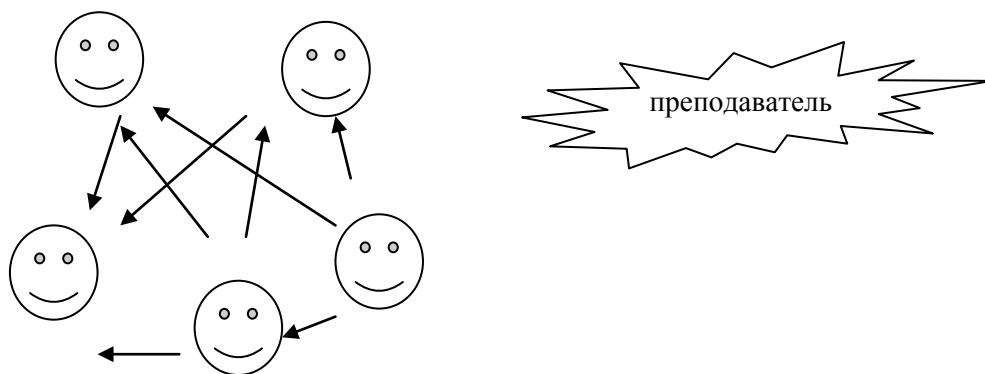
### ***Интерактивный метод***

Форма многосторонней коммуникации – интерактивный метод, предполагающий взаимодействие учащихся между собой, а не только с преподавателем [3]. В основе этого метода лежит принцип взаимодействия, при котором:

- а) в центре действия – преподаватель: интерактивная лекция



б) в центре действия группа: групповая работа, преподаватель – сторонний наблюдатель



Сегодня основные приоритеты в обучении связаны с применением новых активных и интерактивных методов. Что же означает слово «интерактивный»? В переводе с английского «interact» означает «взаимодействовать, влиять друг на друга». «Inter» – «взаимный», «act», соответственно, – «действовать».

Занятие можно считать активным или интерактивным, если преподаватель во время занятия взаимодействует с аудиторией и вовлекает студентов в процесс обучения посредством активного использования полученных знаний. При этом, имеется в виду как активное взаимодействие студентов друг с другом и с преподавателем, так и с учебным материалом в процессе чтения, формулирования вопросов и ответов, и т. д.

Суть интерактивного метода обучения состоит в том, что все студенты активно участвуя в процессе общения, могут использовать полученные знания, говорить то, что они знают и думают. Интерактивные методы дают возможность моделировать реальные жизненные ситуации, осваивать знания не только посредством получения информации, но и через их активное использование. Процесс взаимодействия обучающихся дает большие возможности для лучшего усвоения учебного материала потому, что активизируется даже пассивный лексико-грамматический материал, происходит обмен знаниями, планами и идеями. Причем происходить это должно в атмосфере доброжелательности и взаимной поддержки [4].

Занятия могут проводиться в разной форме, например, ответно-вопросной, где вопросы может задавать как учитель, так и студенты. Причем, чтоб студенты чувствовали себя комфортно, не надо концентрировать внимание на незначительных ошибках. Еще одной продуктивной формой работы является дискуссия. Чтобы процесс обсуждения проходил активнее, следует заранее предложить студентам примерный перечень вопросов для обсуждения. Преподаватель должен разрабатывать содержательные вопросы, анализировать ответы студентов, незаметно направлять и корректировать направление обсуждения или беседы. Не следует игнорировать мнения студентов или навязывать свое, если в процессе обсуждения они высказывают несогласие или свою личную точку зрения. Именно такие высказывания и делают дискуссию живой, интересной и динамичной. Кроме того, следует объяснять студентам, что не следует бояться делать ошибки в процессе работы, так как

именно во время спонтанной беседы студенты начинают мыслить на иностранном языке. А это является одной из наших основных целей. Выбирать задания следует те, которые могут вызвать живой интерес при обсуждении, т. е. являются жизненными и полезными. Желательно, чтобы вопросы и проблемы не имели однозначных, односложных решений и максимально служили целям обучения. В процессе подготовки и при проведении интерактивных занятий одинаково важны и преподаватель, и студенты. Преподаватель может выполнять разные функции, например, организатора процесса обучения, лидера группы, консультанта, эксперта или равноправного участника.

Еще в прошлом веке Уильям Глассер, известный американский психолог, автор популярной книги «Школа без неудачников» утверждал, что из прочитанного запоминается 10 %, 20 % – из услышанного, 30 % – из увиденного, 50 % – из того, что одновременно видим и слышим, 70 % – из обсуждаемого с другими, 80 % – из получаемого через призму личного опыта и 95 % – из того, чему учим других [5]. Из этого можно сделать вывод, что наиболее ценным для человека является именно опыт, который получен не через пассивное получение информации, а через нашу активную деятельность. Поэтому использование деятельностного подхода и (интер)активных инновационных методов обучения и становится основным при переходе на обучение в рамках новых Федеральных Государственных Образовательных Стандартов.

К интерактивным методам, используемым преподавателями нашей кафедры при обучении иностранным языкам, относятся: эвристическая беседа, дискуссия, «мозговой штурм», тренинги, «деловые» и ролевые игры, групповая работа с иллюстративным материалом, кейс-метод, метод проектов, обсуждение видеофильмов и т. д.

Любое (интер)активное занятие требует от студентов не простого элементарного демонстрирования знаний, а проявления мыслительных способностей, креативности и индивидуальности. Задания должны разрабатываться так, чтобы они были приближены к жизненным ситуациям, мотивировали на поиск своего собственного «правильного» решения, опираясь на личный жизненный опыт и опыт своих знакомых. Это позволяет создать основу для сотрудничества, сообучения, продуктивного общения всех участников образовательного процесса, включая преподавателя [6].

Директор Академии усовершенствования методов преподавания Университета Южной Флориды Кевин Йи, основоположник интерактивных методов обучения, считает их наиболее эффективными. Он разработал большую коллекцию учебных стратегий, которые нацелены на активное участие студентов в учебном процессе. Большинство из них направлено на естественное усвоение языка, а не на зубрежку.

Несомненно, подготовка к проведению занятий в интерактивной форме более затратна по времени и усилиям для преподавателя. Но, вместе с этим, большинство преподавателей отмечают, что активное обучение является ключом к более качественному образованию. Студенты, зачастую сетующие на то, что в контексте классического образовательного процесса они не могут использовать свои знания на практике и все затраченные усилия бывают напрасными, положительно оценивают роль интерактивных методов обучения. Такие методы более привлекательны для студентов, т. к. помогают в нужденной беседе использовать свои знания, активизировать пассивный лек-

сический запас и т. д. В результате опросов студентов мы выявили, что особый интерес для них представляют моделируемые ситуации, связанные с будущей профессией [7].

Наряду с хвалебными одами в адрес интерактивных методов следует учитывать, что не существует универсального метода обучения, лишенного недостатков. Так называемая традиционная методика преподавания иностранных языков сосредоточена больше на изучении грамматики и других аспектов языка изолированно, нежели на процессе общения. Содержание обучения часто ограничивается заучиванием грамматических правил, чтением и переводом текстов. Поскольку значительное внимание уделяется заучиванию разных языковых правил, а не их практическому использованию, возможности для общения и практического использования приобретаемых знаний у студентов ограничены.

Интерактивные же методы обучения делают акцент на целенаправленное использование знаний для развития навыков общения и практического использования языковых навыков, имитируя (моделируя) различные жизненные ситуации. Но вместе с этим нельзя полностью исключать изучение грамматических правил, выполнение упражнений и т. д. При неоспоримом преимуществе инновационных технологий и методов нельзя допускать полного вытеснения традиционных методов, позволяющих получить хорошие теоретические знания.

В заключение хочется подчеркнуть, что современные подходы к обучению позволяют делать занятия более интересными и продуктивными, вовлекая самих студентов в процесс обучения и, таким образом, способствуют развитию у них коммуникативных навыков. Используя интерактивные и активные методы, преподавателю легче удерживать внимание обучающихся, вовлекать их во взаимодействие, что, в свою очередь, увеличивает их мотивацию. Однако о стопроцентном преимуществе новых методик можно будет говорить только по прошествии времени, когда мы уже получим определенные результаты.

В своей статье мы попытались кратко охарактеризовать существующие методы обучения, разумное использование которых может помочь преподавателю достичь значительных результатов в обучении студентов иностранным языкам.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Материалы Второй летней Всероссийской конференции 2014 года "Актуальные проблемы теории и практики образования". Научград, 2015.
2. *Обскоков А. В.* К проблеме организации интерактивного обучения иностранному языку в вузе // Вестник Томского государственного педагогического университета. 2012. Вып. № 11 (126).
3. *Двуличанская Н. Н.* Интерактивные методы обучения как средство формирования ключевых компетенций // Наука и образование: электронное научно-техническое издание. 2011. № 4.
4. *Курьшева И. В.* Классификация интерактивных методов обучения в контексте самореализации личности учащихся // Известия Российского государственного педагогического университета им. А. И. Герцена. 2009. № 112.

5. Уильям Глассер. Школы без неудачников. М.: Прогресс, 1991.
6. Сурин Ю. и др. Ситуационный анализ или Анатомия кейс-метода. Киев: Центр инноваций и развития, 2002.
7. Casebeer L., Centor R. M., Kristofco R. E. Learning in large and small groups. In: The Continuing Professional Development of Physicians: From Research to Practice. Davis D, Barnes BE, Fox R (eds). Chicago: American Medical Association, 2003.

*Zakaeva B. K., Bratchik A. B.*

### **TRADITIONAL AND INNOVATIVE METHODS OF TEACHING FOREIGN LANGUAGES**

*The authors comment on the various methods in the process of foreign language teaching. Special attention is paid to innovative methods that proved to be successful, when teaching foreign language. Motivating and involving students to participate in classroom practices or activities is an important task for foreign language teachers. It is underlined that using innovative interactive and active methods teachers involve students in different classroom activities.*

*Key words: method, active method, interactive method, lecture, traditional method.*

#### **References**

1. All-Russian 2014 Second Summer Conference Materials. Theory and practice of education actual problems. Naukograd, 2015.
2. Obskokov A. V. The Problem of Interactive Study of Teaching Foreign Language at High School. 2012. № 11 (126).
3. Dvulichanskaya N. N. [Interactive teaching methods as a means of forming of key competencies](#). Electronic journal SCIENCE & EDUCATION. № 4. 2011.
4. Kuryshева I. V. Classification of interactive methods of training in the context of student's self-actualisation. Izvestia: Herzen University Journal of Humanities & Science. 2009. № 112.
5. William Glasser. Schools Without Failure. Moscow. Progress. 1991.
6. Surin Y. & others. Situational Analysis or Anatomy of Case-method. Kiev Innovation and Development Center. 2012.
7. Casebeer L., Centor R. M., Kristofco R. E. Learning in large and small groups. In: The Continuing Professional Development of Physicians: From Research to Practice. Davis D, Barnes BE, Fox R (eds). Chicago: American Medical Association. 2003.



*Д-р пед. наук, профессор КОКАЕВА И. Ю.,  
Канд. техн. наук, доцент САХАНСКИЙ Ю. В.*

## **СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К ФОРМИРОВАНИЮ КУЛЬТУРЫ БЕЗОПАСНОГО ПОВЕДЕНИЯ СТУДЕНЧЕСКОЙ МОЛОДЕЖИ В УСЛОВИЯХ ГОРНЫХ ТЕРРИТОРИЙ**

*В статье рассмотрены современные способы формирования культуры безопасного поведения в процессе профессиональной подготовки студентов направления подготовки 050100 "Педагогическое образование" в условиях республики Северная Осетия-Алания.*

**Ключевые слова:** *население горных территорий, обучение, безопасность жизнедеятельности, педагогические компетенции, инновационные методы обучения.*

Глобальные климатические изменения, увеличение частоты проявления разрушительных сил природы, числа промышленных аварий и техногенных катастроф, опасных ситуаций социального характера создают перед человечеством проблемы, связанные с угрозой для жизни. Вызовы времени требуют реализации нового этапа формирования культуры безопасного поведения людей, проживающих в условиях горных территорий. Обеспечение безопасности жизнедеятельности людей является сегодня глобальной общечеловеческой проблемой.

Решение этой проблемы возможно за счет подготовки компетентных педагогических кадров, которые будут закладывать основы безопасной жизнедеятельности в дошкольных и общеобразовательных организациях. Сегодня, как никогда ранее, необходимо заложить в систему подготовки будущих учителей компетенции, которые необходимы в условиях чрезвычайных ситуаций.

Федеральный Закон «О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера» [1, с. 15] обязывает органы государственной власти обучать население способам защиты и действиям в этих условиях. Эффективность системы обучения определяется степенью ее соответствия требованиям современного общества, они диктуют необходимость вооружения учащихся знаниями, высоким уровнем готовности к безопасной жизнедеятельности.

Известно, что 70 % территории Северной Осетии занимают горы и предгорья. Непосредственно в горной части республики проживает не более 10 тысяч человек [2, с. 36], но с каждым годом увеличивается число жителей республики, которые в качестве туристов или дачников с удовольствием проводят свое свободное время в горах.

Вполне очевидна необходимость формирования навыков культуры безопасного поведения в горной местности взрослой и особенной детской популяции населения.

Формирование культуры безопасного поведения в профессиональной подготовке студентов РСО-Алания, направления подготовки 050100 – педагогическое образование [3, с. 11], обусловлено региональными природными

особенностями республики и спецификой педагогической деятельности. Компетентность безопасной жизнедеятельности в ходе образовательного процесса студентов является ключевым моментом в формировании базовой подготовки будущих учителей и воспитателей.

В процессе изучения таких дисциплин как «Безопасность жизнедеятельности», «Возрастная анатомия и физиология», «Основы медицинских знаний и здорового образа жизни», «Основы экологической культуры», мы расширяем знания студентов о безопасной жизнедеятельности, создаем условия для развития экологического мышления, приобретаем личную ответственность за сохранение своей жизни и жизни воспитанников, формируем навыки осмысленного поведения в чрезвычайных обстоятельствах.

Культура безопасного поведения рассматривается нами как показатель профессиональной подготовки студентов. Педагог должен не только сам владеть навыками разумного поведения в повседневной жизни в различных чрезвычайных ситуациях, но и прививать эти навыки своим учащимся, знакомить их с основными методами защиты от возможных стихийных бедствий, катастроф, аварий.

С целью определения уровня культуры безопасного поведения студентов – будущих учителей (в том числе и правилам поведения в горной местности) в Северо-Осетинском государственном педагогическом институте было организовано анкетирование. В нем приняли участие 126 первокурсников и 12 третьекурсников – участников спасательного отряда подразделения Всероссийского студенческого корпуса спасателей Россоюзспаса, который три года функционирует на базе института. Ребята этого отряда не только хорошо рекомендовали себя на практических занятиях при изучении «Безопасности жизнедеятельности», но прошли подготовку по специальной программе «Спасатель-доброволец» в Учебно-методическом центре Главного управления МЧС России по РСО-Алания.

Результаты анкетирования показали, что студенты спасательного отряда имеют высокий уровень культуры безопасного поведения в горной местности (готовность применять полученные знания в повседневной жизни, способность передавать полученные знания, умения и навыки школьникам во время прохождения педагогической практики). Студенты-первокурсники, которые изучали «Основы безопасности жизнедеятельности» в рамках школьной программы, продемонстрировали на 42 % низкий уровень культуры безопасного поведения и на 48 % – средний. Из чего следует, что выпускники получают в школе только теоретические знания, а практических навыков и умений им явно не хватает.

Поэтому при разработке занятий по «Безопасности жизнедеятельности» мы уделяем большое значение соответствию занятий личным интересам студентов, практической ориентированности занятий; практике проведения выездных занятий на базе МЧС и Россоюзспаса РСО-Алания; осмысленной ответственности будущего педагога за безопасность учащихся, готовности применять полученные знания и навыки в повседневной жизни.

Компетентный подход современного образования предполагает интеграцию внеучебной деятельности в учебную, и согласованных усилий многих субъектов: МЧС, учреждений культуры и спорта, общественных объединений, включая и детско-юношеские движения и организации. Необходимо создание

системы непрерывного образования и воспитания в области безопасности жизнедеятельности: дошкольной, школьной, вузовской и послевузовской.

Культура безопасного поведения представляет собой способы и результаты разумной жизнедеятельности человека в области обеспечения охраны здоровья. Это и здоровый образ жизни, и правильные стереотипы поведения в экстремальных ситуациях, и стойкое неприятие вредных привычек (алкоголь, наркотики, табакокурение, компьютерная зависимость), и бережное отношение к окружающей среде, и т. д.

Воспитание культуры безопасной жизнедеятельности предполагает приобщение детей и подростков к соблюдению правил безопасности, приобретению ими знаний и навыков действий в случае возникновения чрезвычайных ситуаций.

Формирование культуры безопасной жизнедеятельности в современных условиях осуществляется при проведении уроков, бесед, через организацию творческих мероприятий, кружков, игр, КВН, агитбригад, соревнований и других форм. Сегодня наиболее яркой формой работы с детьми и подростками стали спортивные соревнования «Школа безопасности» и полевые лагеря «Юный спасатель (пожарный)».

Формируя культуру безопасного поведения студентов, необходимо в процессе профессиональной подготовки использовать активные методы проведения занятий в сочетании с внеаудиторной работой.

Активное обучение – это, прежде всего, диалоговое обучение, в ходе которого осуществляется взаимодействие преподавателя и обучаемого. Особенности этого взаимодействия состоят в следующем:

- пребывание субъектов образования в одном смысловом пространстве;
- совместное погружение в проблемное поле решаемой задачи, т. е. включение в единое творческое пространство;
- согласованность в выборе средств и методов реализации решения задачи;
- совместное вхождение в близкое эмоциональное состояние, переживание созвучных чувств, сопутствующих принятию и осуществлению решения задач образовательного процесса [4, с. 6].

Суть активного обучения состоит в том, чтобы в ходе обучения практически все студенты оказывались вовлеченными в процесс познания, имели возможность понимать и рефлексировать по поводу того, что они знают и думают. Совместная деятельность студентов в процессе познания, освоения учебного материала означает, что каждый вносит свой особый индивидуальный вклад, идет обмен знаниями, идеями, способами деятельности. Причем происходит это в атмосфере доброжелательности и взаимной поддержки, что позволяет не только получать новое знание, но и развивает саму познавательную деятельность, переводит ее на более высокие формы кооперации и сотрудничества [5, с. 47].

К активным методам относят имитационные и неимитационные формы проведения занятий. Имитационные методы делятся на *игровые* и *неигровые* в зависимости от принимаемых студентами условий, выполняемых ими ролей, взаимоотношений между ролями, устанавливаемых правил, наличия элементов состязательности при выполнении заданий.



*К игровым имитационным методам* относятся ролевая игра, деловая игра, бридж-игра, игровое проектирование. Особенность этих методов заключается в том, что обучение студентов осуществляется посредством моделирования условий, близких к реальным, с обязательным динамическим развитием решаемой ситуации, задачи или проблемы. Игровые методы позволяют активизировать мышление студентов, повысить их самостоятельность, внести дух творчества, подготовить к профессиональной практической деятельности.

*К неигровым активным методам относятся:* анализ конкретных ситуаций, имитационные упражнения, тренинг.

Все способы активизации познавательной деятельности на лекционных и семинарских занятиях относятся к неимитационным (*лекция – визуализация, лекция с заранее запланированными ошибками, лекция – пресс-конференция, лекция с разбором конкретных ситуаций, метод «круглого стола», «мозговой штурм» («мозговая атака»), просмотр и обсуждение видеофильмов, проектная деятельность учащихся на основе ИКТ и др.*)

Активные методы обучения пробуждают у первокурсников интерес, позволяют усвоить теоретический материал по «Безопасности жизнедеятельности», формируют жизненно важные навыки безопасного поведения человека в опасных и чрезвычайных ситуациях природного, техногенного и социального характера, способствуют изменению поведения.

Активное использование на занятиях по «Безопасности жизнедеятельности» имитационных методов (игровых и неигровых), в зависимости от принимаемых студентами условий, выполняемых ими ролей, взаимоотношений между ролями, устанавливаемых правил, наличия элементов состязательности при выполнении заданий формирует необходимые компетенции. Преподаватель не даёт готовых знаний, но побуждает обучаемых к самостоятельному поиску. По сравнению с традиционными формами ведения занятий, в активном обучении меняется взаимодействие преподавателя и обучаемого: активность педагога уступает место активности обучаемых, а задачей педагога становится создание условий для проявления их инициативы.

Для проведения практических занятий и формирования навыков безопасного поведения мы используем такие методы обучения, которые мотивируют студентов на качественное усвоение дисциплины. Активные формы обучения дают студентам возможность «прожить» профессионально тот опыт, который впоследствии они смогут реализовать в жизни, настраивают на формирование компетенций, позволяющих им самостоятельно создавать в учебно-воспитательном процессе безопасные для себя и окружающих условия.

Изменение акцентов при моделировании безопасной образовательной среды предполагает новые формы организации образовательного процесса, новые способы осуществления педагогической деятельности. Поэтому для изучения дисциплины «Безопасность жизнедеятельности» мы активно используем не только аудиторные занятия, но и выездные.

*Коллективно-групповые занятия* с представителями Северо-Осетинского республиканского отделения общероссийской общественной организации «Российский Красный Крест». Сотрудники организации на манекенах демонстрируют студентам правила оказания первой помощи при обмороках, ожогах, переломах конечностей и т. д. Студенты без затруднений и страха справляются с демонстрацией искусственного дыхания, наложения шин.

*Ролевые игры, игра-соревнование* проводятся при изучении различных тем дисциплины «Безопасность жизнедеятельности». Например, при изучении средств индивидуальной защиты, студенты делятся на группы и соревнуются не только в обсуждении теоретических вопросов, но и в том, кто быстрее наденет защитный костюм «Л-1».

*Ознакомительно-выездные занятия в подразделение МЧС.* Эти занятия проводятся на базе Северо-Осетинского поисково-спасательного отряда. Своими практическими знаниями делятся со студентами спасатели международного класса, среди которых немало заслуженных профессионалов, оказавших большую помощь в реальных чрезвычайных ситуациях.

В рамках выездных занятий студентов познакомили и с помощниками спасателей, специально обученными лабрадорами, которые работают в лавиноопасных зонах и очагах.

Не по книжкам, а воочию, студенты знакомятся с современной специализированной техникой, которая приходит на помощь людям при авариях, техногенных, природных катастрофах, может быть использована для проведения поисково-спасательных работ. Специалисты не только рассказали о возможностях гусеничных машин, рафтов и катамаранов, но дали возможность девушкам и парням посидеть на вездеходе, способном преодолевать заболоченные и заснеженные территории, выполнять задачу в водной стихии.

Не менее интересным стало выездное занятие с членами водолазной службы Северо-Осетинского поисково-спасательного отряда. Специалисты познакомили студентов с водолазным снаряжением и оборудованием, показали гидрокombineзоны, жилеты-компенсаторы, акваланги, ласты. Водолазы рассказали об особенностях своей работы, поделились знаниями по оказанию помощи на воде.

Лучшие студенты становятся членами поисково-спасательного отряда, выезжают в горные ущелья для совершенствования своих навыков. На практике убеждаются, что для того, чтобы оказать помощь, молодому человеку нужны не только хорошие знания, но и сильный дух, физическая выносливость, следовательно, эти качества тоже нужно формировать!

Со всеми тонкостями спасения в горах студенты познакомились на базе МЧС в высокогорном посёлке Цей во время двухдневных выездных занятий.

Хорошо подготовленные физически и освоившие теоретический материал студенты во второй учебный день занятий были допущены для переправы по трассе – троллея. Все с волнением наблюдали как ребята, грамотно владея карабином и транспортировочной «косынкой», осторожно спускались по двадцатиметровой трассе, берущей начало на высоте 8 метров, поднимались по верёвкам – жумарам (специальные приспособления, позволяющие подниматься по горному рельефу).

Занятия в учебно-тренировочном центре, оснащённом учебными манекенами, комнатой психологической разгрузки, мультимедийным классом, навсегда запомнятся студентам.

Факультативные занятия по специальной подготовке к действиям в чрезвычайных ситуациях проводятся альпинистами во внеурочное время (по договору с Институтом). На этих занятиях студенты научились вязать из верёвок основные узлы, применяемые в горах («проводник», «восьмёрка», «контрольный», «встречный» и др.). Специалисты рассказали и показали как пра-

вильно и быстро «одеть» защитную систему, завязать её страховочной верёвкой, правильно вдеть и замуфтовать карабин, использовать каску в различных чрезвычайных ситуациях.

Знания, которые получали студенты, создавались «вживую», были привязаны к конкретным реальным ситуациям и выступали как «живое знание» а профессиональная компетентность педагога формировалась в результате переживания технологии конкретной ситуации. Использование активных форм и методов обучения при изучении безопасного поведения позволяет развивать субъективность студентов, они проявляют стремление к самореализации, увлеченность и заинтересованность будущей профессией, у них происходит рефлексия ценностного смысла собственной деятельности. Происходят изменения в организации общения у студентов, что проявляется в искреннем и открытом поведении, в независимости высказываемых суждений, в самостоятельности продуцируемых оценок, в инициативности и способности вести других за собой.

Перечисленные формы и методы проведения практических занятий, по нашему глубокому убеждению, не только формируют навыки оказания помощи, развивают культуру безопасного поведения, но и развивают креативные качества учителя-мастера, дают возможность осознанно изучать учебный материал.

Рассматривая вопросы воспитания культуры безопасной жизнедеятельности и процесса подготовки к безопасной жизнедеятельности, мы пришли к выводу, что формирование культуры безопасного поведения включает рост, становление, интеграцию в жизнедеятельности личностных качеств и способностей, знаний, умений, обеспечивающих безопасную жизнедеятельность. При этом происходит активное качественное преобразование внутреннего мира личности, которое приводит к возможности безопасной самореализации молодого человека в любом виде деятельности. Известно, что личность человека формируется и развивается под влиянием различных факторов, объективных и субъективных, природных и общественных, внутренних и внешних, независимых и зависимых от воли и сознания людей, действующих стихийно или согласно определенным целям. При этом современный человек должен выступать как субъект своей собственной безопасности.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Федеральный Закон «О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера».
2. *Тавасиев В. Х.* Половозрастной состав населения Северной Осетии в XX веке // Вестник университета (Государственный университет управления). 2013. № 18. С. 273–283.
3. Федеральный государственный образовательный стандарт высшего образования по направлению подготовки 44.03.05 – Педагогическое образование (с двумя профилями образования) (уровень бакалавриата). 2013. № 23. Ст. 2923.
4. *Кокаева И. Ю.* Использование активных форм и методов обучения в процессе освоения студентами педагогического направления дисциплины

«Безопасность жизнедеятельности»// European Social Science Journal (Европейский журнал социальных наук). 2014. № 9. Том 3. С. 125–130.

5. Панфилова А. П. Инновационные педагогические технологии: активное обучение: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений. М.: Издательский центр Академия, 2009. С. 25.

6. Закон 273-ФЗ "Об образовании в РФ" (2015 новый) "Справочная система «Консультант+».

7. Кокаева И. Ю. Формирование здорового образа жизни младших школьников и безопасности жизнедеятельности в процессе изучения «Окружающего мира» // Материалы межрег. научно-практ. конф. «Актуальные проблемы безопасности жизнедеятельности: интеграция науки и практики». Ставрополь. 2005.

8. Об обеспечении безопасности в образовательном учреждении: Письмо Минобрнауки РФ от 30.08.2005, № 03-1572.

9. Сопко Г. И. Пазыркина М. В. Педагогические технологии обеспечения безопасности здоровья // Начальная школа плюс: до и после. 2012. № 7.

10. ФГОС по направлению подготовки 050100 – Педагогическое образование // [standart.edu.ru](http://standart.edu.ru).

*Kokaeva I., Sahansky Y.*

#### **NEW APPROACHES TO SAFETY CULTURE BEHAVIOR OF STUDENTS IN THE MOUNTAIN AREAS**

*The article deals with modern ways of building a culture of safe behavior in the process of training students training direction 050100 Teacher Education in the Republic of North Ossetia-Alania.*

**Key words:** *the population of mountain areas, training, life safety, pedagogical competence, innovative teaching methods.*



УДК 378

*Ст. преподаватель УМАХАНОВА И.М.*

#### **ДУХОВНО-ПРАВСТВЕННОЕ ВОСПИТАНИЕ СОВРЕМЕННОЙ МОЛОДЕЖИ**

*Рассмотрены пути духовно-нравственного воспитания молодежи.*

**Ключевые слова:** *духовные ценности, либеральный стандарт, система идеологии, духовно-нравственное развитие.*

В период преобразований в обществе терпят крушение прежние ценности, идет поиск новых ориентиров. Актуальными становятся проблемы сохранения основных духовных ценностей и формирования новых представлений об обществе, человеке, природе. Происшедшие у нас процессы преобразования общества сопровождаются изменением и общественного сознания.

Деформировались понятия о культуре, образе жизни, искусстве, образовании, чему немало способствовали и средства массовой информации, по всем каналам внедрявшие в сознание растущего человека новые и отнюдь не безупречные образцы поведения в условиях рыночных отношений.

Сложившаяся в стране ситуация привела к тому, что в системе воспитания недостаточно учитываются истинные духовные ориентиры в воспитании человека. Возросла исключительно западная ориентация образа жизни. В некоторой степени это способствует тому, что у определенной части современной молодежи формируется потребительский взгляд на жизнь, что, естественно, сказывается на духовном обнищании сознания этой части молодежи.

Отрицательные последствия быстрого вхождения России в рынок, крах тоталитарного общества и его нравственных ценностей активизировали в молодежной среде такие негативные социальные явления как эгоцентризм, групповой эгоизм, моральная ущербность, комплекс социальной неполноценности, идет резкое падение шкалы нравственных ценностей.

В последние десятилетия всему мировому сообществу, включая Россию, в качестве образца устройства государства и человека предлагается либеральный стандарт, сущность которого заключается в приоритете земных интересов над нравственными. Этот стандарт во многом определяет сегодня российскую образовательную политику. Традиционные основы воспитания и образования подменяются западными:

- педагогика, уважение старших и совместного труда – развитием эгоистических личностей;
- целомудрие, воздержание, самоограничение – вседозволенностью и удовлетворением своих потребностей;
- любовь и самопожертвование – западной психологией самоутверждения;
- интерес к отечественной культуре – исключительным интересом к иностранным языкам и иностранным традициям.

Нетрадиционная для отечественной образовательной системы идеология, основанная на принципе толерантности ко всему и во всем, изменяет традиционный смысл понятий «духовность», «нравственность», «добродетель», предполагает возможность существования образования отдельно от воспитания. Опыт показал: попытки формирования нравственных чувств, нравственной позиции на основе либеральных ценностей не приводят к успеху.

В современных условиях главным средством воспитания духовного, нравственного, интеллектуального потенциала народа является возрождение системы духовно-нравственного воспитания. Под духовно-нравственным воспитанием понимается процесс содействия духовно-нравственному становлению человека, формированию у него:

- нравственных чувств (совести, долга, веры, ответственности, гражданственности, патриотизма);
- нравственного облика (терпения, милосердия);
- нравственной позиции (способности различия добра и зла, готовности к преодолению жизненных испытаний);
- нравственного поведения (готовности служения Отечеству, проявления доброй воли).

Для решения обозначенной проблемы необходим комплексный системный подход. Системность подхода определяется выделением приоритетных

аспектов деятельности, связанных единой целью, общими формами организации и управления.

Содержательный аспект направлен на воссоздание и акцентирование различными средствами национально-культурного компонента в идеологии, образовании, искусстве, науке.

Институциональный аспект предлагает одновременное включение духовно-нравственной компоненты в воспитательную деятельность всех социальных институтов: семьи, разных уровней системы образования, государственных учреждений и общественных организаций. Следует выделить приоритетную возможность включения духовно-нравственной компоненты в семейное воспитание. Проблему преодоления духовно-нравственного кризиса общества невозможно решить без осуществления комплексного культурно-просветительного влияния на семью. Семья является основой формирования системы жизненных ценностей и отношений ребенка, используемой им затем в качестве инструмента освоения социальной среды.

Важным инструментом духовно-нравственного воспитания молодежи является формирование культуры мышления, творческих способностей на основе глубокого понимания истории культуры и цивилизации всего культурного наследия.

Духовность и нравственность как производные от внутренних устремлений и личных усилий не могут быть сформированы снаружи. Они произрастают изнутри, соединяя человека с его бытийными истоками, давая ему жизненную опору, открывая ориентиры для выхода за индивидуальные пределы. Педагогически могут быть созданы лишь стимулы, рождающие личностные стремления к самовоспитанию, нравственному совершенствованию и духовному развитию.

Пути духовно-нравственного развития молодежи являются:

- повышение трудовой и общественно-политической активности;
- развитие творческой инициативы молодых людей;
- интенсивное усвоение всех ценностей духовной культуры человечества в целом и собственного этноса;
- расширение сфер познавательной, художественно-эстетической, правовой деятельности молодых людей;
- гармонизация потребностей и запросов молодежи;
- постоянное совершенствование принципов, методов, форм нравственного воспитания молодежи;
- оздоровление семейно-бытовых отношений.

Формирование у молодых людей нравственной культуры требует духовной активности не только от педагогов, но и от самих объектов воспитания.

Подлинная нравственная культура достигается молодым человеком не механическим путем усвоения отдельных правил, норм, требований, запретов, а при условии активизации интеллекта, сознания. Надо уметь видеть в другом человеке личность, ценить его достоинство, хранить в себе человеческую сущность. Речь идет о совести, с которой связывается представление о главном моральном законе, вне которого не существует нравственной культуры личности.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Педагогика: учеб. пособие / под редакцией П. И. Пидкасистого. М.: ЮРАЙТ, 2012.
2. Педагогическая психология: учебник / Е. И. Исаев. М.: ЮРАЙТ, 2012.
3. Актуальные проблемы гуманитарных и социально-экономических наук // Тезисы докладов и выступлений Владикавказской ежегодной межвузовской научно-теоретической конференции. Владикавказ: СКГМИ(ГТУ), Терек, 2004.



УДК 656. 13

*Канд. техн. наук, профессор ЦОРИЕВ С. О.*

### **ПОВЫШЕНИЕ ПСИХОЛОГИЧЕСКОЙ НАДЕЖНОСТИ ВОДИТЕЛЯ И ДРУГИЕ МЕРЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ УЧАСТНИКОВ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ**

*В статье рассматриваются вопросы, связанные с бурным ростом числа автомашин и возникающими в этой связи проблемами обеспечения безопасности дорожного движения на дорогах РСО-Алания. Предлагаются такие мероприятия по обеспечению безопасности участников дорожного движения, как:*

- *психологическая подготовка будущих водителей (детей в детских садах, школьников в школах) в духе уважения к правилам дорожного движения;*
- *внедрение в общественное сознание граждан понимания, что проблема обеспечения безопасности участников дорожного движения является важнейшим гражданским долгом каждого взрослого человека;*
- *воспитание не только водителей безрельсовых транспортных средств, но и водителей трамваев в духе уважения к другим участникам дорожного движения;*
- *пропаганда культуры и безопасности дорожного движения в средствах массовой информации;*
- *уменьшение ширины бульваров или их полный снос на улицах города Владикавказа;*
- *устройство разделительных полос небольшой ширины, выделенных конструктивно.*

**Ключевые слова:** *безопасность движения, надежность водителя, психологическая подготовка водителя, разделительная полоса, полоса движения, пропускная способность улиц.*

По сведениям Управления ГИБДД РСО-Алания, за последние пять лет количество автомобилей в республике увеличилось более чем на пять тысяч и составляет 258030 единиц. Наша республика является одним из лидеров в стране по количеству транспорта на душу населения: на 1000 человек в республике приходится 340 автомашин, то есть каждый третий житель республики имеет автомашину.

Стремление каждого человека к улучшению качества своей жизни является его естественным желанием. Поэтому все больше и больше жителей республики покупают себе автомобили. Покупка автомашины приводит не только к улучшению качества жизни граждан, но, к сожалению, и к перегрузке улиц городов и загородных дорог транспортными средствами, и, как следствие, к большому количеству дорожно-транспортных происшествий (ДТП).

Так уж устроен человек, что он всегда верит, что именно с ним на дороге ничего не может случиться, поэтому некоторые водители часто сознательно нарушают правила дорожного движения (ПДД), из-за которых потом случаются аварии, в которых погибают люди. Трагедии на дорогах РСО-Алания, которые произошли в октябре 2015 г., свидетельствуют об этом. И виной всему является не только проблема перегруженности дорог из-за малой ширины их проезжих частей, с которой в ближайшее время не удастся справиться, но и недостаточная психологическая подготовленность водителей (недостаточная воспитанность водителя, отсутствие культуры вождения автомобиля).

Сложно соблюдать ПДД и не погибнуть в аварии, если на федеральной дороге на протяжении нескольких километров невозможно осуществить обгон впереди идущего грузового транспортного средства только потому, что для проезда в данном направлении на дороге имеется только одна полоса движения. Расширение проезжих частей дорог должно опережать рост числа автотранспортных средств.

Исключить лобовые столкновения автомобилей на дороге можно, если на ней имеется разделительная полоса, однако для расширения проезжих частей дорог с обустройством разделительных полос требуются значительные денежные средства, которых всегда не хватает у государства.

На наш взгляд, имеется и иной путь решения проблемы. Это психологическая подготовка будущих водителей. Воздействие на психологию человека, внедрение в его сознание понимания самого серьезного отношения к соблюдению ПДД, являются повседневной задачей всех взрослых людей: родителей, преподавателей, организаторов дорожного движения, старшего поколения. Это – задача на все времена. Нам надо уберечь детей и молодежь от гибели. Психологическая подготовка водителя как главного элемента повышения надежности должна стать в автошколах основной учебной дисциплиной. Не изучением материальной части автомашин надо заниматься, а психологической подготовкой учеников. Однако психологической подготовкой детей как будущих пешеходов и водителей надо заниматься уже в детских садах, а затем продолжать в школе. То, что усвоит ребенок в детстве, оставляет глубокий след в сознании человека навсегда. Известный литературный критик, публицист и мыслитель В. Г. Белинский говорил, что «воспитание – великое дело: им решается участь человека». Невозможно не согласиться с этим. Учить математику, физику и химию, конечно, нужно, но главное самой жизни для человека нет ничего, поэтому надо научить детей и подростков, прежде всего, умению сохранять свою жизнь.

Следует заметить, что количество ДТП в республике в абсолютных цифрах за 12 месяцев 2014 г. несколько снизилось по сравнению с 2013 годом (796 против 833), однако их число осталось высоким. При этом в результате ДТП в 2014 г. погибли 143 человека (на 12 человек больше, чем в 2013 г.) и ранено 1099. Для нашей маленькой республики это чрезвычайно много. Из



них в г. Владикавказе совершено 330 ДТП (41 %), в результате которых погибли 26 (18 %) и 408 ранены (37 %). На сельские районы приходится 446 ДТП, 117 погибших и 691 раненых.

В эту статистику не вошли 396 ДТП на автомобильных дорогах федерального и регионального значения, в которых погибли 102 человека и ранены 615 человек.

Подавляющее большинство летальных исходов при ДТП пришлось на загородные дороги, где водители часто совершают лобовые столкновения, в которых уцелеть практически невозможно. Текущий 2015 год, к сожалению, оказывается не намного лучше предыдущих лет. За девять месяцев текущего года на территории республики произошло 512 дорожно-транспортных происшествий (в прошлом году – 579), в результате которых 78 человек погибли (в прошлом году – 101), 745 человек получили ранения различной степени тяжести (в прошлом году – 793). Некоторое снижение показателей можно объяснить улучшением состояния дорог и организацией дорожного движения.

Настораживает сравнительная статистика ДТП. Например в 2013 г., согласно официальной статистике по Российской Федерации, в РСО-Алания количество ДТП составило 833, тогда как в Республике Ингушетия – 205, в Чеченской республике – 465. У нас погибших – 131, в Ингушетии – 70, в Чечне – 169. У нас ранено 1169 человек, в Ингушетии – 361, в Чечне – 750. Из приведенных данных видно, что в РСО-Алания число ДТП почти в 4 раза больше, чем в Ингушетии, и приблизительно в 2 раза больше, чем в Чеченской республике. При этом мы не должны забывать, что в Чеченской республике численность населения в два раза превышает численность населения нашей республики. Выходит, что наши граждане в возрасте от 20 до 40 лет (которые в основном и управляют автомашинами) имеют более отчаянные головы (безрассудные головы), чем в соседних республиках. Известно, что рассудительность никогда еще никому не помешала.

Следовательно, необходимо решительно заняться психологической подготовкой и детей, и молодых людей, которые рано или поздно все станут участниками дорожного движения. При этом такой подготовкой, как уже сказано, надо начинать заниматься с детского садика, приучая ребенка уважать правила дорожного движения ради сохранения собственной жизни и жизни окружающих его людей. Может быть, таким образом удастся воспитать в них рассудительность и психологическую устойчивость к быстроизменяющимся дорожным ситуациям.

В психологической подготовке нуждаются не только водители безрельсового транспорта, но и водители трамваев, которые часто сознательно совершают аварии, полагая, что на трамвайных путях автомобилям нечего делать, что трамвайные пути предназначены только для трамваев. При этом себя виновными никогда не признают. Никак не могут некоторые из них запомнить, что водителям автомобилей Правилами дорожного движения разрешается движение по трамвайным путям. Более того, Правила обязывают совершать левый поворот и разворот только с трамвайных линий, если нет на крайней левой полосе движения в данном направлении и иных указателей для выполнения этих маневров. Следовательно, водители автомобилей обязаны на перекрестках и вблизи перекрестков стоять на трамвайных путях, пока не проедет встречный транспорт и не появится у них возможность завершить

маневр. В этой ситуации вызывает удивление поведение водителей трамваев, которые громко и долго сигнализируют водителям автомашин, категорически требуя немедленно освободить путь трамваю. Однако в такой ситуации водители автомашин, выполняющие требования Правил дорожного движения, обязаны стоять и ждать момента, когда появится у них возможность покинуть перекресток и освободить путь трамваю. Похоже, что водители трамваев Правила дорожного движения не изучали. Пункт 8.5 ПДД РФ прямо предписывает, что «при наличии слева трамвайных путей попутного направления, расположенных на одном уровне с проезжей частью, поворот налево и разворот должны выполняться с них, если знаками 5.15.1 или 5.15.2 либо разметкой 1.18 не предписан иной порядок движения. При этом не должно создаваться помех трамваю».

По всему видно, что два предложения этого пункта в определенной степени противоречат друг другу, однако к ним надо привыкнуть. Водители трамваев в г. Владикавказе запомнили только последнее предложение этого пункта. Конечно, если столкнутся трамвай и автомобиль вне перекрестка, то в соответствии с п. 8.8 Правил – водитель трамвая всегда прав, а на перекрестке – не всегда прав. И это надо объяснять водителям трамваев.

Внимательный человек не может не заметить, что на улицах г. Владикавказа появилось много крайне необходимых дорожных знаков. Совершенно недавно установлены дорожные знаки на улицах Кесаева, Ардонская, Калоева и др., которых раньше в этих местах не было. Нанесена горизонтальная дорожная разметка там, где раньше не было разметки, появились новые светофоры. Видно, что соответствующие службы города работают. Однако должен заметить, что про вертикальную дорожную разметку почему-то позабыли. Нам представляется, что на многих улицах и проспектах на бордюрные камни, которые отделяют проезжую часть от разделительной полосы, необходимо нанести вертикальную разметку. Хотя бы вблизи перекрестков. На бордюры наезжают автомашины, сбивают и даже сдвигают их с места, потому что их не видно вечером и ночью. При этом страдают и водители, и пассажиры.

Безусловно, светофоры, дорожная разметка и дорожные знаки дисциплинируют и водителей, и пешеходов, вносят определенный порядок в очередность движения и тех, и других. Светофоры – это благо для всех участников дорожного движения. Но особенно радуют водителей разделительные полосы на некоторых улицах. Они спасают автомашины от лобовых столкновений и создают небольшие островки безопасности для пешеходов. За проведенные работы по организации дорожного движения первый заместитель Главы АМС г. Владикавказ Тамаев М. М. заслуживает благодарности. Однако, выполняя эти работы, почему то заказчик работ не думает восстанавливать прежнюю ширину проезжей части, в особенности – вблизи перекрестков. Полагаем, что если было у перекрестка 4 полосы движения в одном направлении, то столько же их должно остаться после устройства разделительной полосы. Нельзя одно качество дороги улучшать за счет ухудшения другого качества дороги. В этой связи считаем необходимым обязательно делать местное уширение у перекрестков на длине хотя бы 50 метров и тем самым восстанавливать количество полос движения вблизи перекрестков. Это избавит водителей от транспортных пробок.

Конечно, в перспективе необходимо будет расширять проезжие части дорог, как в городах, так и на загородных дорогах. Если не принимать срочных мер по расширению улиц г. Владикавказа, то проблема аварийности на улицах будет только возрастать, так как следует в ближайшие годы ожидать увеличения количества транспортных средств в РСО-Алания как минимум в два раза. Все мероприятия по организации дорожного движения с целью снижения количества ДТП не будут достаточно эффективными, если мы не научимся расширять проезжие части городских улиц и загородных дорог, если не научимся думать о расширении улиц города Владикавказа при строительстве новых домов. Решение этого вопроса целиком зависит от работников Управления муниципальным имуществом, земельными ресурсами, архитектуры и градостроительства (УМИЗРАГ) Администрации местного самоуправления города Владикавказа. Мы полагаем, что необходимо осуществление нижеперечисленных мер:

1. Во-первых, увеличить пропускную способность улиц за счет уменьшения ширины бульваров или их полного сноса. Устройство вместо бульваров разделительных полос небольшой ширины, выделенных конструктивно (приподнятых над проезжей частью, как на проспектах Коста и Доватора), даст возможность значительно расширить проезжие части улиц. Времена изменились: люди приобрели автомашины и по бульварам давно уже не гуляют. Возникает вопрос, зачем бульвары, когда по ним никто не ходит, когда от узости проезжих частей улиц страдают все: и водители, и пассажиры. У нас в городе имеется много улиц с такими неиспользуемыми бульварами. Это улицы Тамаева, Миллера, Титова, Калинина, З. Космодемьянской и др. В случае сноса бульвара на улице появятся дополнительные полосы движения, что приведет к значительному увеличению пропускной способности. Не сегодня, так завтра это все равно надо будет делать. Так лучше сделать раньше, чтобы люди не страдали и не совершали ДТП.

2. Во-вторых, считаем необходимым, пока возможно, срочно расширить на 6 метров проезжую часть улицы Калоева на участке от улицы Калинина до улицы Х. Мамсурова. Это даст возможность разгрузить перекресток у Чулочной фабрики, направив часть транспорта с ул. Калинина направо, на улицу Калоева, с последующим выездом на улицу Х. Мамсурова. На этом участке улицы тогда можно будет организовать двустороннее движение.

3. В-третьих, необходимо благоустроить трамвайные пути на участке, где три полосы движения на Чапаевском мосту при движении от ул. Кесаева до ул. Зортова переходят в две полосы движения с таким расчетом, чтобы можно было использовать трамвайные пути попутного направления в качестве дополнительной полосы движения безрельсовых транспортных средств, то есть так, как это сделано на ул. Маркова. Это позволит устранить пробки на этом участке.

4. В-четвертых, необходимо ежедневно вести в средствах массовой информации пропаганду культуры и безопасности дорожного движения. Для этого необходимо создать на республиканском телевидении специальные программы, посвященные этой проблеме, и подготавливать телепередачи на высоком профессиональном уровне. В работе основной акцент должен быть сделан на пропаганде идеи заинтересованности каждого взрослого человека в решении данной проблемы, необходимости разумного и ответственного

поведения на дорогах, внимания и уважения всех участников дорожного движения друг к другу. Количество телевизионных передач должно быть достаточным и они должны учитывать возраст телезрителей.

## ЛИТЕРАТУРА

1. <http://www.gibdd.ru/r/15/news/1830223/>
2. <http://rso-a.ru/index.php/pravitelstvo-respubliki-4/3410-o-perevozkakh-detej-dorozhnoj-razmetke-i-avarijnosti-na-dorogakh.html>
3. [1.http://www.1gai.ru/511678-statistika-dtp-v-rossii-za-yanvar-dekabr-2013-goda-1str.html](http://www.1gai.ru/511678-statistika-dtp-v-rossii-za-yanvar-dekabr-2013-goda-1str.html)
4. [2.http://www.vashamashina.ru/statistics\\_traffic\\_accident.html](http://www.vashamashina.ru/statistics_traffic_accident.html)
5. <http://rso-a.ru/index.php/pravitelstvo-respubliki-4/3686-v-severnoj-osetii-umenshaetsya-kolichestvo-dtp-s-uchastiem-detej.html>

UDC 656.13

*Tsoriev S. O., PhD. tehn., professor*

### **ABSTRACT OF THE ARTICLE "INCREASE THE PSYCHOLOGICAL SAFETY OF THE DRIVER AND OTHER MEASURES TO ENSURE THE SAFETY OF ROAD USERS"**

*This article discusses issues related to the rapid growth of the number of vehicles and the consequent problems of road safety on the road in North Ossetia-Alania. Televisions are measures to ensure the safety of road users, such as:*

- Psychological training of future drivers (children in kindergartens, pupils in schools) to respect the rules of the road;*
- The introduction into the public consciousness of the citizens understand that the problem of the safety of road users is an important civic duty of every adult person;*
- Education is not only the drivers trackless vehicles and tram drivers in the spirit of respect for other road users;*
- Promotion of culture and road safety in the media;*
- Reduction of the width of the boulevards or the complete demolition of the streets of the city of Vladikavkaz;*
- Dividing strips of small width allocated constructively.*

**Key words:** *road safety, the reliability of the driver, the driver's psychological preparation, dividing line, lane, the capacity of the streets.*



## СОДЕРЖАНИЕ

### Информационные технологии

<i>Волошин С. Б., Бурдунова С. Э., Хуриев Г. Ф.</i> Перспективы использования технологий дополненной реальности в обучении специалистов в отраслях с высокой степенью риска .....	3
<i>Дедегкаев А. Г., Степанов А. Л.</i> Ориентированная для САПР универсальная математическая модель вихретокового контроля цилиндрических проводящих сред. Постановка задачи построения математической модели.....	9
<i>Ковалева М. А., Волошин С. Б.</i> Единое электронное образовательное пространство Северо-Кавказского региона как фактор устойчивого развития горных территорий.....	16
<i>Степанов А. Л., Дедегкаев А. Г.</i> Математическая модель вихретокового преобразователя. ЭДС измерительных обмоток .....	22
<i>Степанов А. Л., Дорош Н. В., Соин А. М.</i> Нормировка параметров машинного анализа ММ ВТП.....	32

### Геология и горное дело

<i>Голик В. И., Тезиев Т. М.</i> Технологические и социальные аспекты истории Садона .....	44
<i>Колесникова А. М.</i> Дополнительные данные по вопросам геотектоники и сейсмичности Шаухох-Дарьяльского поднятия.....	52
<i>Клыков Ю. Г., Тавасиева Е. Б.</i> Некоторые положения теории разделения твердых тел при дезинтеграции .....	57
<i>Лолаев А. Б., Арутюнова А. В., Бадоев А. С., Дзебоев С. О.</i> Изучение физико-химических свойств лежалых хвостов Тырнаузского горно-металлургического комбината (Кабардино-Балкарская Республика) методами выделения мономинеральных фракций.....	64

### Металлургия и обогащение

<i>Герасименко Т. Е., Мешков Е. И., Томилина А. А.</i> Математическая модель выхода летучих веществ из углеродных материалов в квазистатических условиях термообработки.....	72
<i>Евдокимов С. И., Максимов Р. Н., Евдокимов В. С.</i> Введение в хозяйственный оборот малообъемных техногенных свинцово-цинковых георесурсов .....	80

### Промышленная электроника и электронные приборы

<i>Дзулаев Т. Б., Кабышев О. А., Кабышев А. М.</i> Разработка автономного инвертора напряжения .....	91
<i>Гончаров И. Н., Малдзигати А. И., Кодзасова Т. Л.</i> Исследование и анализ методов увеличения яркости электролюминесцентных панелей.....	98
<i>Проскурин А. Е., Перепелицын В. В.</i> Оценка оптимального числа имитационных опытов для канального умножителя.....	104

## Электротехника

<i>Петров Ю. С., Масков Ю. П., Берко И. А.</i> Аналитическое описание полей блуждающих токов на горных предприятиях .....	108
<i>Петров Ю. С., Масков С. П., Галкина О. Ю.</i> Матричный анализ электрических цепей с взаимной индуктивностью .....	
<i>Рогачев Л. В., Соин А. М.</i> Преобразование магнитно-связанных электрических цепей .....	113
<i>Саханский Ю. В., Гугкаева Е. В., Саханская И. В.</i> Контроль параметров системы инициирования зарядов – основа безотказности взрывных работ .....	121

## Экономика

<i>Джагаева М. С., Рубановская С. Г., Гуриева М. Т.</i> Анализ состояния жилищной сферы муниципального образования г. Владикавказа в современных условиях .....	127
<i>Джагаева М. С., Рубановская С. Г., Валиева З. Р.</i> Бенчмаркинг в ЖКХ г. Владикавказа.....	136
<i>Тегетаева М. Р., Рубановская С. Г., Джагаева М. С.</i> Система государственной поддержки малого и среднего предпринимательства в РСО-Алания.....	140

## Экология

<i>Алиханов В. А., Худоян М. В.</i> Экологический аспект при обучении химии студентов-горняков.....	144
<i>Зорина И. Ю., Хадиков М. К., Берко А. А.</i> Особенности экологии автономных комплексов использования возобновляемой энергии.....	151
<i>Цгоев Т. Ф., Теблов Р. А.</i> Деформация горных экосистем при добыче полезных ископаемых на примере РСО-Алания .....	161

## Строительство

<i>Авсарагов А. Б., Хабалов Т. И., Барсегян Г. Р.</i> Предел микротекучести сталей – точка дисбаланса текущего равновесия-компромиса.....	169
<i>Кулов Р. П., Кулова Х. Р., Кулов А. Р.</i> Мост для сейсмически опасных регионов .....	175
<i>Фардзинов Г. Г.</i> Вопросы модернизации конструктивных схем в зданиях гражданского и промышленного производства .....	177

## Автомобильные дороги

<i>Кумаритов А. М., Кортиев Л. И., Кортиев А. Л., Кортиев Р. А.</i> Интересная мысль России в поисках путей сообщения через Главный Кавказский хребет .....	192
---	-----

## Юридические науки

<i>Тезиев Т. М., Хугаева Р. Г.</i> Правовое регулирование вопросов охраны окружающей среды.....	199
---	-----

## Разное

<i>Закаева Б. К., Огнерубова Т. А.</i> Системность упражнений для обучения студентов устной речи на иностранном языке .....	204
<i>Закаева Б. К., Братчик А. Б.</i> Традиционные и инновационные методы обучения студентов иностранным языкам.....	208
<i>Кокаева И. Ю., Саханский Ю. В.</i> Современные подходы к формированию культуры безопасного поведения студенческой молодежи в условиях горных территорий .....	214
<i>Умаханова И. М.</i> Духовно-нравственное воспитание современной молодежи .....	220
<i>Цориев С. О.</i> Повышение психологической надежности водителя и другие меры обеспечения безопасности участников дорожного движения .....	223

Научное издание

Труды  
Северо-Кавказского  
горно-металлургического института  
(государственного технологического университета)

Выпуск двадцать второй

Редактор:  
*Иванченко Н. К.*

Компьютерная верстка:  
*Цишук Т. С.*

---

Подписано в печать 21.12.2015. Формат бумаги 70x108 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага "Снегурочка".  
Гарнитура «Таймс». Печать на ризографе. Усл. п.л. 20,2. Тираж 100 экз. Заказ № 17.  
Северо-Кавказский горно-металлургический институт  
(государственный технологический университет). Изд-во «Терек».  
Отпечатано в отделе оперативной полиграфии СКГМИ (ГТУ).  
362021. Владикавказ, ул. Николаева, 44.