

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

**Научно-исследовательский центр  
«МашиноСтроение»**



Тихоокеанский государственный университет

Нижегородский государственный технический университет  
им. Р.Е. Алексеева

Волгоградский государственный технический университет

Тверской государственный технический университет

Казахский национальный исследовательский технический университет  
им. К.И. Сатпаева

Казанский государственный энергетический университет

**ISSN 2618-8953**

# **МОДЕРНИЗАЦИЯ И ИННОВАЦИОННОЕ РАЗВИТИЕ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА**

**Материалы международной  
научно-практической конференции**

**№7**

Санкт-Петербург, 2024

УДК 620.9 : 001.8

ББК 30.6

М74

**М74 Модернизация и инновационное развитие топливно-энергетического комплекса:** Материалы международной научно-практической конференции. – Санкт-Петербург: НИЦ МС, 2024. – № 7. – 60 с. – DOI: 10.26160/2618-8953-2024-7.

Представлены материалы VII международной научно-практической конференции «Модернизация и инновационное развитие топливно-энергетического комплекса». Направления работы конференции: 1) Фундаментальные принципы и подходы к исследованию объектов и процессов ТЭК; 2) Машины и механизмы ТЭК; 3) Добыча и переработка природных ресурсов; 4) Ресурсосберегающие технологии; 5) Транспортировка и хранение энергоресурсов; 6) Угольная промышленность; 7) Нефтегазовая отрасль; 8) Электроэнергетика; 9) Общие проблемы топливной промышленности; 10) Результаты инновационной деятельности в области энергоэффективности.

Материалы могут быть полезными для научных и инженерно-технических работников, докторантов, аспирантов и студентов, занятых исследованием процессов, оборудования, машин, агрегатов и комплексов в отраслях добычи, переработки и транспортировки различных энергоресурсов, а также в смежных промышленных отраслях.

Учредитель: *Жукова Елена Валерьевна.*

Ответственный редактор:

*Жуков Иван Алексеевич* – директор НИЦ «МашиноСтроение», заведующий кафедрой машиностроения Санкт-Петербургского горного университета, д.т.н., доцент.

Редакционная коллегия:

*Мешалкин Валерий Павлович* – академик РАН, директор Международного института логистики ресурсосбережения и технологической инноватики (НОЦ), РХТУ им Д.И. Менделеева, д.т.н., профессор;

*Зверева Эльвира Рафиковна* – профессор кафедры технологии воды и топлива КГЭУ, д.т.н., доцент;

*Исаев Сергей Петрович* – профессор кафедры технологии лесопользования и ландшафтного строительства ТОГУ, д.т.н., профессор;

*Кабалдин Юрий Георгиевич* – профессор кафедры «Технология и оборудование машиностроения» НГТУ им. Р.Е. Алексеева, д.т.н., профессор;

*Балакина Екатерина Викторовна* – профессор кафедры «Техническая эксплуатация и ремонт автомобилей» ВолгГТУ, д.т.н., доцент;

*Гараников Валерий Владимирович* – заведующий кафедрой технической механики, ТвГТУ, д.т.н., профессор;

*Унаспеков Берикбай Акибаевич* – академик Национальной инженерной академии Республики Казахстан, профессор кафедры «Инженерные системы и сети» КазНИТУ, д.т.н., профессор.

ISSN 2618-8953

© Авторы, 2024

© НИЦ МС, 2024

## СОДЕРЖАНИЕ

**Фундаментальные принципы и подходы к исследованию объектов и процессов ТЭК**

**Ковтунов А.И., Хохлов Ю.Ю., Селянин П.Н.** Смачивание и растекание магния по высоколегированным сталям.....5

**Машины и механизмы ТЭК**

**Гильвитинов М.О., Захарова В.П.** Оценка возможности применения композитного материала PaperShell в машинах топливно-энергетического комплекса..... 10

**Елисеев А.В., Миронов А.С.** Одновременное динамическое гашение колебаний нескольких элементов вибрационных технологических машин: модели и методы..... 13

**Добыча и переработка природных ресурсов**

**Коробчук М.В.** Достижения и перспективы применения современных полимерных материалов в технологии и оборудовании подводной добычи углеводородов..... 17

**Арно В.В., Гарифулина И.Ю., Миккельсен Е.А.** Карьерный водоотлив при открытой разработке месторождения ..... 23

**Арно В.В., Ломакина Н.Е., Ельников Е.А., Гузенко А.Д.** Фазовый анализ кека после цианирования флотационного концентрата..... 30

**Ряднов И.В., Шайхулов Р.М.** Уплотнительные устройства скважинных штанговых насосов..... 35

**Харисов Э.Т.** Разработка стенда для проведения исследований диспергаторов и мультифазных осевых насосов ..... 38

**Нефтегазовая отрасль**

**Копенков Н.О.** Повышение эффективности работы установок электроприводных насосов за счет изменения конструкции устьевого герметизатора кабельной линии ..... 41

**Электроэнергетика**

- Грабчак Е.П., Логинов Е.Л.** Использование искусственного интеллекта для управления предприятиями топливно-энергетического комплекса Союзного государства России и Белорусии в сложных условиях критического характера ..... 44
- Крылов Т.Д., Цецуро Н.А., Раевская Е.А.** Программный комплекс для регистрации и анализа инцидентов, связанных с состоянием генерирующего оборудования ..... 47

**Общие проблемы топливной промышленности**

- Семёнова А.Р., Климова И.В.** К вопросу о совершенствовании системы проведения внутренних аудитов по охране труда ..... 51

**Результаты инновационной деятельности в области энергоэффективности**

- Давыдов А.И., Долгова А.В.** Оценка эффективности интеллектуальной системы поддержки принятия решений в области управления энергопотреблением на тягу поездов ..... 54
- Мурко В.И., Баранова М.П.** Инновационные угольные технологии ..... 57

## СМАЧИВАНИЕ И РАСТЕКАНИЕ МАГНИЯ ПО ВЫСОКОЛЕГИРОВАННЫМ СТАЛЯМ

*Ковтунов А.И., Хохлов Ю.Ю., Селянин П.Н.*

*Тольяттинский государственный университет, Тольятти*

**Ключевые слова:** композиционный материал, магний, аустенитная хромоникелевая сталь, активирующий флюс, смачивание, растекание.

**Аннотация.** Проведены исследование процессов растекания магния по аустенитной стали при формировании композиционных материалов на их основе. Показано влияние природы флюсов и температуры процесса на смачивания и растекания жидкого магния по высоколегированной аустенитной стали. Определены наиболее эффективные составы активирующих флюсов. Установлено влияние предварительного алюминирования стали на площадь растекания магния по аустенитной стали.

## WETTING AND SPREADING OF MAGNESIUM ON HIGH-ALLOY STEELS

*Kovtunov A.I., Khokhlov Yu.Yu., Selyanin P.N.*

*Togliatti State University, Togliatti*

**Keywords:** composite material, magnesium, austenitic chromium-nickel steel, activating flux, wetting, spreading.

**Abstract.** Composite materials with a magnesium matrix and reinforcement made of high-alloy chromium-nickel steels are promising materials with low density and increased strength properties. To activate the surface of steel during the liquid-phase formation of composite materials with a magnesium matrix and steel reinforcement, compositions of chloride, chloride-fluoride and fluoride fluxes, which are widely used in soldering magnesium alloys, have been proposed. Based on the studies carried out, the influence of the nature of fluxes and process temperature on the wetting and spreading of liquid magnesium over highly alloyed austenitic material was established. The most effective compositions of activating fluxes have been determined. It has been established that preliminary aluminization of steel can significantly increase the area of magnesium spreading over austenitic steel.

### Введение

Композитные материалы играют все более значимую роль в энергетической отрасли, предлагая уникальные преимущества, которые способствуют повышению эффективности и долговечности энергетических установок. Композиционные материалы с магниевой матрицей и арматурой из высоколегированных хромоникелевых сталей, сочетающие в себе низкую плотность, повышенные прочностные свойства и устойчивостью к воздействию окружающей среды, являются перспективными материалами в развитии современной энергетики, что в конечном итоге способствует развитию устойчивой и эффективной энергетической системы.

Прочность и легкость изделий из магниевых сплавов и пористых магниевых сплавов может быть повышена армированием металлами и сплавами с более высоким комплексом механических свойств в качестве которых успешно применяют сплавы на основе переходных металлов (Cu, Ti, Ni) в числе которых используются и высоколегированные хромоникелевые стали [1-3].

Наиболее простыми и универсальным способами получения композиционных материалов с магниевой матрицей и стальной арматурой являются литейные технологии. При этом арматуру из высоколегированных сталей устанавливают в форму и заливают расплавленным магнием. Основной проблемой при этом является создание условий для формирования адгезионной связи между компонентами композиционного материала [2]. Для смачивания и растекания жидкого магния по поверхности высоколегированной стали и образования адгезионной связи между компонентами композиционного материала применяют активирующие флюсы.

Целью работы является исследование влияния состава активирующих флюсов на смачивание и растекание магния по высоколегированной хромоникелевой стали.

### Методика исследования

Влияния состава флюсов на смачивание и растекание магния по высоколегированной стали определяли по площади растекания.

Оценку площади растекания проводили в соответствии с ГОСТ 23904-79. Согласно которому на образец, представляющий собой пластину, вырезанную из стального листа марки 12Х18Н9Т, толщиной  $\delta = 2$  мм, размерами 40×40 мм, укладывали навески магния Mg90, объемом  $V = 457 \text{ мм}^3$ , массой  $m = 0,8$  г, засыпали флюсом и выдерживали при температуре 700-850°C в течение 7 мин. Нагрев производился в вертикальной муфельной печи сопротивлением МП2УМ, оснащенной потенциометром группы ХА с термопарой, спай которой устанавливается непосредственно на образце.

В качестве активирующих флюсов при формировании композиционных материалов с магниевой матрицей использовали хлористые и хлористо-фтористые флюсы, широко применяемые при пайке магния и магниевых сплавов (табл. 1) [4]. Флюсы 1-8 применяются при высокотемпературной пайке магния и его сплавов с припоем на основе магния, а флюсы 9-11 при низкотемпературной.

Площадь растекания оценивали после удаления остатков флюса с поверхности образцов при помощи программы Universal Desktop Ruler с заданием масштаба на фотографии образцов.

Для обеспечения смачивания и растекания магния по стали при формировании композиционных материалов с магниевой матрицей, кроме того, применяли предварительное жидкофазное алитирование стали [3, 5].

Табл. 1. Состав активирующих флюсов [4]

№	Компоненты	Содержание (массовые доли), %	№	Компоненты	Содержание (массовые доли), %
1	Хлорид калия-Хлорид магния; Фторид натрия-Трифторид алюминия; Оксид цинка	89	7	Хлорид магния; Хлорид калия; Хлорид натрия; Хлорид кальция; Фторид кальция; Оксид магния	30...40
		8			25...36
		3			7
					7
					7
					15...20
					7...10
2	Фторид натрия; Оксид алюминия; Хлорид калия-Хлорид магния	7-9 3-5 ост.	8	Фторид калия; Трифторид алюминия	эвтектической концентрации (флюс Nocoloc)

Табл. 1. Продолжение

№	Компоненты	Содержание (массовые доли), %	№	Компоненты	Содержание (массовые доли), %
3	Хлорид лития; Хлорид калия; Хлорид натрия; Фторид натрия; Гексафтороалюминат натрия	49,5 31,5 9 8 2	9	Хлорид свинца; Хлорид калия; Хлорид кобальта	95...97 1,5...2,5 1,5...2,5
4	Хлорид калия; Хлорид лития; Хлорид натрия; Фторид натрия; Гексафтороалюминат натрия	42,5 37 10 10 0,5	10	Хлорид калия; Хлорид лития; Фторид цинка; Хлорид кадмия; Хлорид цинка	35 30 10 15 10
5	Хлорид калия; Хлорид лития; Хлорид натрия; Фторид натрия	46 26 24 4	11	Хлорид калия; Хлорид лития; Фторид калия; Хлорид натрия; Хлорид стронция	35 20 5 35 5
6	Хлорид калия; Хлорид лития; Хлорид натрия; Фтористый литий; Фторид натрия	42 23 21 10 4			

### Результаты и обсуждение результатов исследований

Проведенные исследования показали, что хорошее смачивание и растекание магния по поверхности высоколегированной стали наблюдалось при использовании флюсовых составов №10, №9 (рис. 1). Повышение температуры исследования при активации указанными флюсами приводит к повышению площади растекания. Площадь растекания при использовании флюса №10 составляла при этом 300-384 мм<sup>2</sup>, а при активации флюсом №9 80-317 мм<sup>2</sup>.

При использовании флюса №9 на основе хлористого свинца наблюдалось сильное окисление магния на поверхности стального образца, поэтому было предложено дополнительно в состав флюса вводить флюс ВИ2, который широко применяются при литье магниевых сплавов в качестве покровного и рафинирующего [12]. Дополнительное введение в активирующий флюс №9 ВИ2 значительно повысило площадь растекания магния по углеродистой стали. Причем, как показали проведенные эксперименты наибольшая площадь растекания зафиксирована при содержании в активирующем флюсе 25-50%ВИ2. Площадь растекания магния по стали при активации флюсом №9 +ВИ2 составила 370-570 мм<sup>2</sup>.

Предварительное алитирование высокохромистой стали улучшило ее смачивание магнием и значительно увеличило площади растекания. Хорошие результаты были получены также при активации флюсами №9; №10 и №9 +ВИ2 (рис. 2, а) и флюсами, применяемыми при пайке магния магниевыми припоями, №1, №3; №5; №6 (рис. 2, б). Площадь растекания при использовании этих флюсов при температуре 850°С достигала 1400-1700 мм<sup>2</sup> в зависимости от состава флюсов.

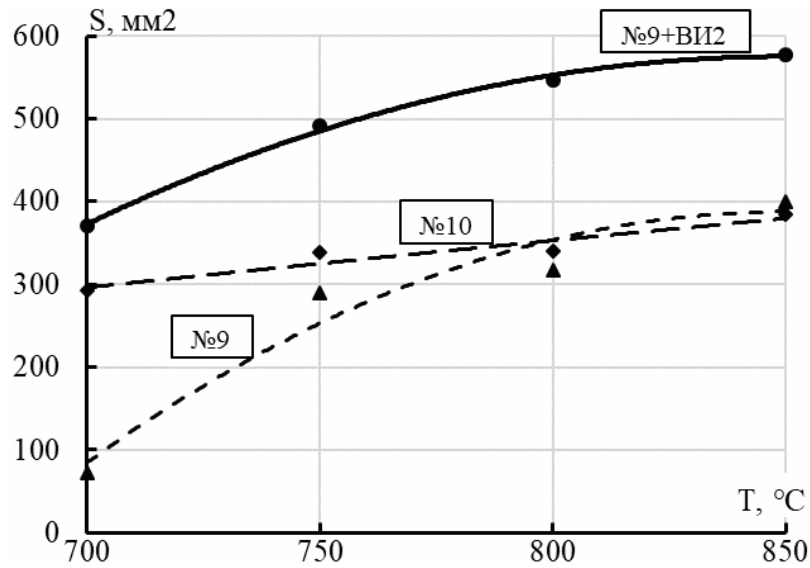
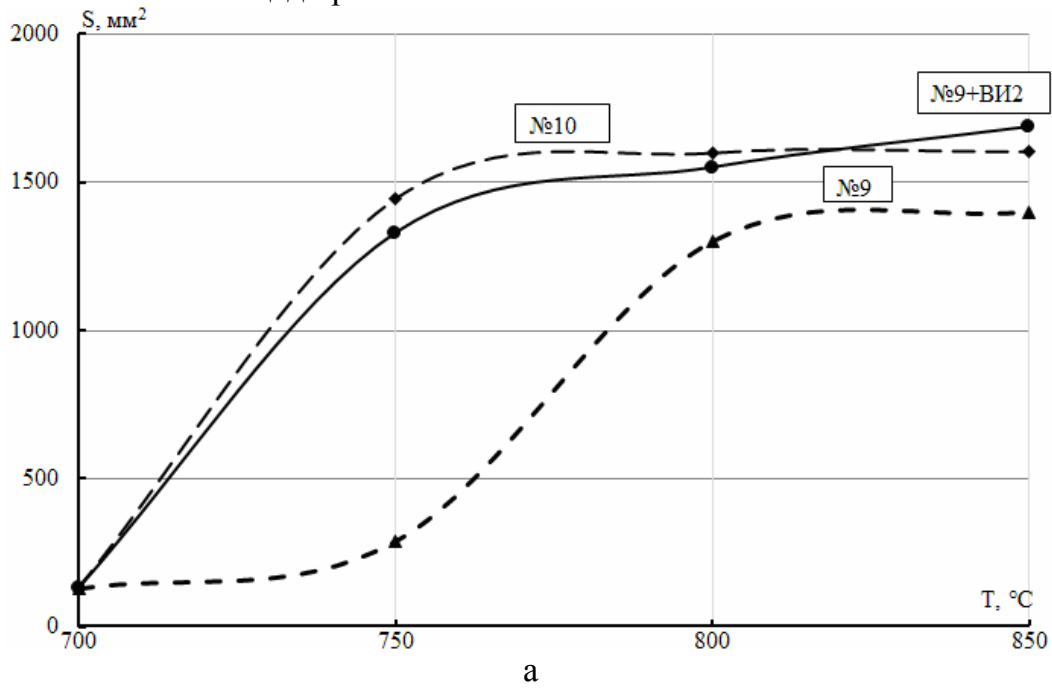
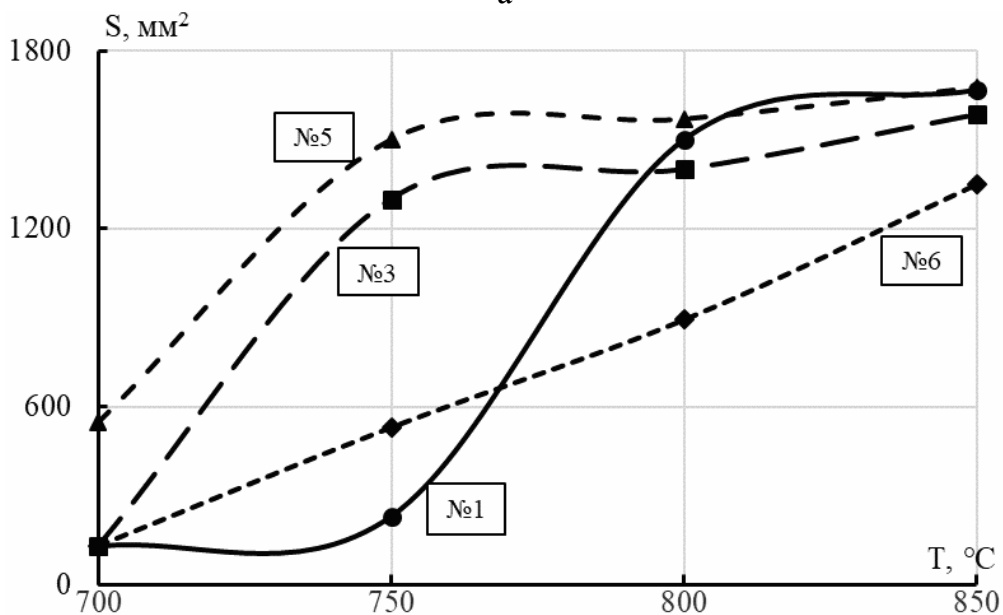


Рис. 1. Зависимость площади растекания магния по стали 12Х18Н10Т от температуры



а



б

Рис. 2. Зависимость площади растекания от температуры процесса и природы флюсов



Растекание более 1000 мм<sup>2</sup> наблюдалось при активации флюсами №3; №5; №10; №9 +ВИ2 при температурах выше 750°С. При активации флюсами №1; №6; №9 такие значения площади растекания фиксировались при температурах более 800°С.

### **Выводы**

1. Проведенные исследования показали, что при активации поверхности высоколегированной стали аустенитного класса паяльными флюсами возможно растекание магния по стали и смачивание стали магнием. Наибольшая площадь растекания наблюдается при активации поверхности стали флюсами на основе хлоридов свинца с дополнительным введением флюса ВИ2.

2. Предварительное алюминирование стали позволяет повысить в 2-2,5 раза растекаемость магния по хромоникелевой стали. При этом количество флюсов, обеспечивающих смачивание аустенитной стали увеличивается.

**Финансирование.** Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках государственного задания №075-03-2023-260 (FEMR-2023-0003).

### **Список литературы**

1. Вишняков Л.Р., Грудина Т.В., Кадыров В.Х. Композиционные материалы: Справочник / Под ред. Д.М. Карпиноса. Киев: Наук. думка, 1985. – 592 с.
2. Сазонов М.А., Чернышова Т.А., Рохлин Л.Л. Композиционные материалы на магниевой основе, армированной частицами: изготовление и свойства (Обзор) // Конструкции из композиционных материалов. – 2010. – № 2. – С. 3-22.
3. Ковтунов А.И., Хохлов Ю.Ю., Мямин С.В. Исследование процессов формирования композиционных материалов с магниевой матрицей, армированной титаном // Металловедение и термическая обработка металлов. 2022. – № 3(801). – С. 34-37.
4. Петрунин И.Е., Березников Ю.И., Бунькина Р.Р. Справочник по пайке. – М.: Машиностроение, 2003. – 479 с.
5. Патент №2769780 РФ. Способ получения слоистых композиционных материалов титан-магний / А.И. Ковтунов, Ю.Ю. Хохлов. – Заявка № 2021116114 от 02.06.2021; опубл. 06.04.2022, Бюл. №10.

### Сведения об авторах:

*Ковтунов Александр Иванович* – д.т.н., доцент, профессор кафедры «Сварка, обработка материалов давлением и родственные процессы»;

*Хохлов Юрий Юрьевич* – заведующий лабораториями, инженер кафедры «Сварка, обработка материалов давлением и родственные процессы»;

*Селянин Павел Николаевич* – старший преподаватель, инженер кафедры «Сварка, обработка материалов давлением и родственные процессы».

## ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ КОМПОЗИТНОГО МАТЕРИАЛА PAPERSHELL В МАШИНАХ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

*Гильвитинов М.О., Захарова В.П.*

*Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II,  
Санкт-Петербург*

**Ключевые слова:** PaperShell, переработка, композит, рациональное природопользование, уменьшение выбросов CO<sub>2</sub>.

**Аннотация.** Статья посвящена обзору композитного материала PaperShell. В данной работе рассмотрены основные потребители композита PaperShell. Определен жизненный цикл продукции из нового материала, установлено сырье для его производства. Выдвинута гипотеза о возможности применения композитного материала PaperShell в машинах ТЭК с целью повышения экологичности продукции.

## ASSESSMENT OF THE POSSIBILITY OF USING PAPERSHELL COMPOSITE MATERIAL IN FUEL AND ENERGY COMPLEX MACHINES

*Gilvitinov M.O., Zakharova V.P.*

*Saint-Petersburg Mining University, Saint-Petersburg*

**Keywords:** PaperShell, recycling, composite, environmental management, reduction of CO<sub>2</sub> emissions.

**Abstract.** The article is devoted to the review of PaperShell composite material. In this paper, the main consumers of the PaperShell composite are considered. The life cycle of products made of new material has been determined, and raw materials for its production have been installed. A hypothesis has been put forward about the possibility of using PaperShell composite material in fuel and energy complex machines in order to increase the environmental friendliness of products.

### **Введение**

Создание передовых машин топливно-энергетического комплекса сталкивается с рядом проблем и вызовов, среди которых есть возрастающие требования к минимизации воздействия на окружающую среду. В этой связи одним из приоритетных направлений исследований является поиск материалов, максимально отвечающих запросам рационального природопользования – концепции, где экологичность производства становится на первое место. Согласно работе [1], оптимальное использование и сохранение природных ресурсов, использование энерго- и материалосберегающих технологий – залог социально-экономического развития общества.

По данным [2], ежегодно в России образуется около 36 млн. куб. м древесных отходов, около 20% (7,2 млн. куб. м) которых составляют опилки и стружка различной фракции, древесная пыль. Чаще всего эти компоненты не используются в производстве новых изделий, их утилизируют. Таким образом, поиск решений по переработке отходов представленного типа является актуальной инженерной задачей.

Цель работы – оценка возможности применения композита PaperShell в машинах ТЭК как метод улучшения их качества и способ переработки природных ресурсов лесохозяйственного комплекса.

### PaperShell

PaperShell – шведская компания, разработавшая одноименный композит, полученный путем прессования крафт-бумаги вместе со смолами на растительной основе [3]. Все эти компоненты сделаны (переработаны) из вторичного сырья и отходов промышленности.

Как отмечено в работе [4], основными потребителями PaperShell являются автомобильная и легкая промышленность (они создают элементы интерьера и экстерьера, некоторые корпусные детали из рассматриваемого материала). Жизненный цикл изделий из композита представлен на рисунке 1.

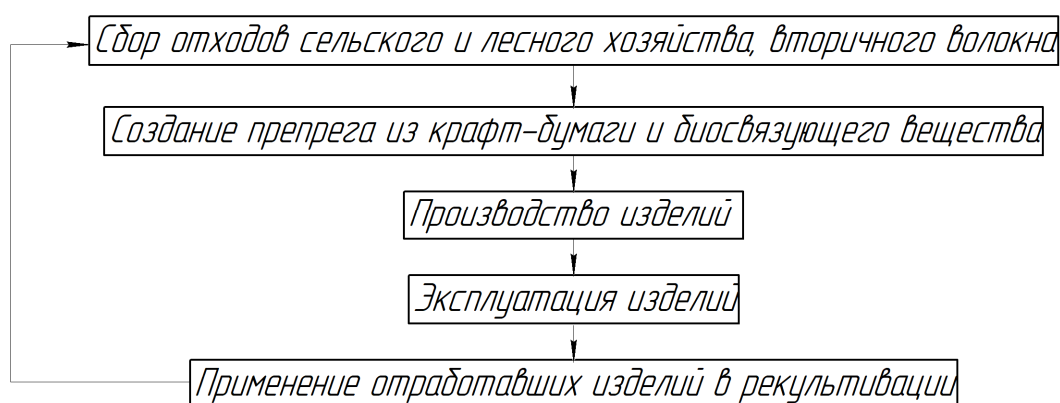


Рис. 1. Жизненный цикл изделий из PaperShell (составлено авторами на основе [5])

Производитель утверждает, что материал способен заменить шпон и пластик, при этом он обладает многочисленными экологическими преимуществами, отвечая также большинству стандартов автомобильной промышленности. Так, например, при замене полипропилена на композит PaperShell при производстве изделия, количество выделяемого углекислого газа будет уменьшено в 10 раз [5].

Согласно данным, приведенным в [5], композит не горюч, устойчив к ультрафиолетовому излучению и царапинам, непромокаем. Заявленные физико-механические свойства материала сведены в таблицу 1.

Табл. 1. Физико-механические свойства PaperShell (составлено авторами на основе [5])

Параметр	Значение
Плотность, г/см <sup>3</sup>	1,34
Ударная вязкость по Шарпи, кДж/м <sup>2</sup>	8,6
Модуль упругости, ГПа	18
Предел прочности, МПа	150
Относительное удлинение при разрыве, %	1
Жесткость при изгибе, ГПа	16,8

## **Заключение**

Композит PaperShell обладает интересными физико-механическими и эксплуатационными свойствами, что делает его перспективным материалом для многих областей промышленности. Экологическая безопасность материала соответствуют современным требованиям рынка.

Учитывая растущий интерес к инновационным материалам, использование PaperShell может стать важным шагом к модернизации машин и оборудования топливно-энергетического комплекса. Так, например, данный композит можно будет применять для изготовления корпусных деталей машин ТЭК (крышки, панели и защитные элементы и т.д.). Его использование может помочь компаниям соответствовать экологическим стандартам и уменьшить углеродный след.

Тем не менее, для внедрения рассматриваемого композита необходимо провести дополнительные исследования, направленные на оценку поведения материала в условиях реальной эксплуатации.

## **Список литературы**

1. Макаренко Е.Д., Недомовная А.С., Журавлева Э.К. Концепция рационального природопользования // Экономика и социум. – 2021. – №2-2 (81). – С. 11-15.
2. Колесникова А.В. Анализ образования и использования древесных отходов на предприятиях лесопромышленного комплекса России // Актуальные вопросы экономических наук. – 2013. – №33. – С. 116-120.
3. Can They Replace Plastic Parts With... Paper? // Autoweek [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.autoweek.com/news/technology/a39529956/can-they-replace-plastic-parts-with-paper/>
4. Cellulose-based components mass produced with AP&T press line // Cutting Tool Engineering [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://clck.ru/3BnzYC>
5. PaperShell Circular Design Lab Stockholm. – Стокгольм, 2021 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://papershell.se/>

## Сведения об авторах:

*Гильвитинов Михаил Олегович* – студент;

*Захарова Вера Петровна* – к.т.н., доцент, доцент кафедры машиностроения.

## ОДНОВРЕМЕННОЕ ДИНАМИЧЕСКОЕ ГАШЕНИЕ КОЛЕБАНИЙ НЕСКОЛЬКИХ ЭЛЕМЕНТОВ ВИБРАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН: МОДЕЛИ И МЕТОДЫ

*Елисеев А.В., Миронов А.С.*

*Иркутский государственный университет путей сообщения, Иркутск*

**Ключевые слова:** вибрационные технологические машины, структурное математическое моделирование, динамическое гашение колебаний, связанные внешние возмущения, передаточные функции, настроечные параметры.

**Аннотация.** Развиваются научно-методические основы оценки, формирования и коррекции динамических взаимодействий элементов вибрационных технологических машин. Рассматривается математическая модель виброиспытательного стенда с расширенными динамическими возможностями регулирования форм колебаний испытательных образцов путём изменения соотношения амплитуд силовых нагрузок со стороны вибровозбудителей. Разработан оригинальный метод формирования режимов одновременного динамического гашения колебаний в нескольких точках испытательных образцов. Теоретические разработки могут быть использованы на предварительных этапах проектирования компонентов энергетических установок.

## SIMULTANEOUS DYNAMIC VIBRATION DAMPING OF SEVERAL ELEMENTS IN VIBRATING TECHNOLOGICAL MACHINES: MODELS AND METHODS

*Eliseev A.V., Mironov A.S.*

*Irkutsk State Transport University, Irkutsk*

**Keywords:** vibration technological machines, structural mathematical modeling, dynamic vibration damping, coherent external disturbances, transfer functions, tuning parameters.

**Abstract.** Scientific and methodological foundations for the assessment, formation and correction of dynamic interactions between elements of vibrating machines are being developed. A mathematical model of a vibration stand with advanced dynamic capabilities for controlling the nature of vibrations of test samples by changing the ratio of amplitudes of power loads from vibrators is considered. An original method has been developed for the formation of modes of simultaneous vibration damping at several points on test samples. Theoretical developments can be used at the preliminary stages of designing energy facilities.

Вибрационные технологии обеспечивают широкий класс производственных процессов [1]. Разработка математических моделей вибрационных испытательных стендов позволяет вести поиск способов настройки форм колебаний и расширять программы вибрационных исследований. Существенное распространение получили методы структурного математического моделирования [2]. Интерес представляют задачи определения специфических режимов колебаний элементов систем, включающих в свой состав вариационные параметры, которые позволяют изменять динамических состояний [3]. Особое значение имеют задачи определения режимов одновременного динамического гашения колебаний по нескольким координатам [4, 5]. Вместе с тем, ряд вопросов в разработке математических моделей для

оценки специфических режимов одновременного динамического гашения ещё недостаточно раскрыт или является спорным.

Работа посвящена разработке метода определения режимов одновременного динамического гашения колебаний для математических моделей виброиспытательных стендов, в которых в качестве вариационного параметра используется коэффициент связности внешних возмущений со стороны вибровозбудителей.

В качестве модельной расчетной схемы рассматривается механическая колебательная система, образованная совокупностью твердых тел, совершающих упругие колебания в условиях связанных силовых возмущений (рис. 1).

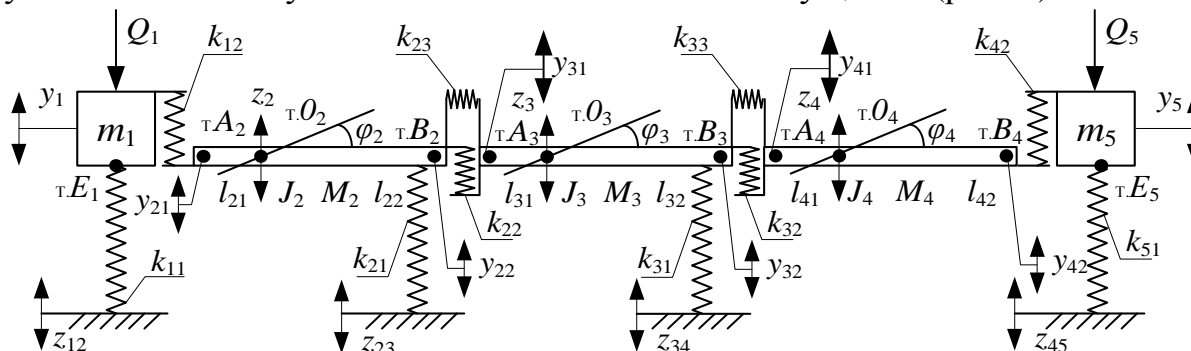


Рис. 1. Механическая колебательная система

Механическая колебательная система образована двумя сосредоточенными массами  $m_1, m_5$ , тремя твердыми телами  $A_2B_2, A_3B_3, A_4B_4$  с массами  $M_2, M_3, M_4$  и моментами инерции  $J_2, J_3, J_4$  соответственно. Система твердых тел установлена на опорные поверхности посредством упругих элементов  $k_{11}, k_{21}, k_{31}, k_{51}$ , соединения упругого элемента, отображающего испытательный образец, представлено упругими элементами  $k_{12}$  и  $k_{42}$ . Характеристики жесткости испытательного образца моделируются упругими элементами  $k_{22}$  и  $k_{32}$ . Воздействие вибровозбудителя, представленного двумя внешними гармоническими силами  $Q_1$  и  $Q_2$ , соответственно приложенных к точкам  $E_1$  и  $E_5$  сосредоточенных масс  $m_1$  и  $m_5$ .

Связность внешних возмущений  $Q_1$  и  $Q_5$  определяется коэффициентом  $\gamma$ . Внешние возмущения, приложенные в точках  $E_1, E_5$ , приводит к колебаниям образца  $A_2B_2A_3B_3A_4B_4$  в различных формах. Вместе с тем, возможность возбуждения колебания в различных формах в зависимости от частоты и связности внешних возмущений  $\gamma$ .

Задача заключается в разработке метода нахождения коэффициента связности, обеспечивающего режим одновременного динамического гашения колебаний по двум и трем координатам.

Для решения задачи предложен графоаналитический метод совмещения графиков частот динамического гашения колебаний координат (рис. 2) как многозначных функций коэффициента связности и определения точки пересечения (рис. 3) с учетом отбрасывания частот, совпадающих с собственными частотами системы.

Представленный подход может быть расширен на определение режимов одновременного гашения по трем координатам.

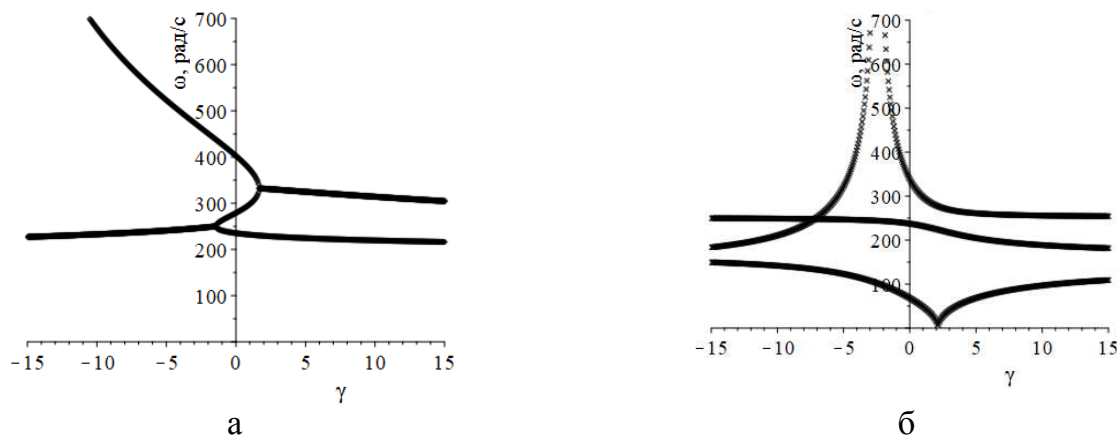


Рис. 2. Частоты динамического гашения колебаний координат механической колебательной системы в зависимости от вариационного параметра  $\gamma$ : а – координата 1, б – координата 2

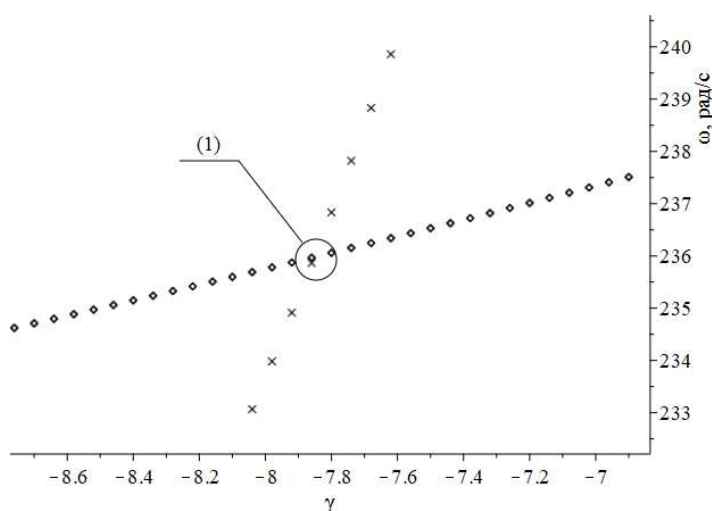


Рис. 3. Определения коэффициента связности, обеспечивающего режим динамического гашений колебаний по двум координатам: 1 – точка, определяющая коэффициент связности и частоту одновременного динамического гашения колебаний по двум координатам

На основе проведенных исследований можно сделать следующие выводы. В качестве особого класса математических моделей следует выделить математические модели, которые включают в себя вариационные параметры, позволяющие изменять, настраивать, корректировать и в итоге управлять формами колебаний испытательных образцов, расширяя возможности программ испытаний. Основой методологии изменения форм колебаний образцов служит выяснение вопросов, связанных с возможностями реализации режимов динамического гашения колебаний одновременно по нескольким координатам системы. Подобная задача может быть решена в рамках методологии структурного математического моделирования путем расчета для каждого значения коэффициента связности частот динамического гашения колебаний соответствующей координаты. Частоты динамического гашения колебания находятся из условий равенства нулю числителей амплитудно-частотных характеристик передаточных функций системы и могут быть представлены как многозначные функции вариационного параметра, рассматриваемого в качестве

независимой переменной. Для определения режимов одновременного динамического гашения колебаний по совокупности координат необходимо найти точку пересечения соответствующих графиков многозначных функций, учитывая тот факт, что данные точки пересечений могут происходить в собственных частот. Такие точки должны быть отброшены. Вместе с тем, подобный подход обладает всеми недостатками, которыми обладают задачи на определение корней многочленов.

Можно полагать, что рассматриваемая задача может быть эффективно решена в рамках более общей постановки вариационными методами.

### **Список литературы**

1. Пановко Г.Я. Динамика вибрационных технологических процессов. – М.-Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», Институт компьютерных технологий, 2006. – 176 с.
2. Eliseev A.V. Structural Mathematical Modeling Applications in Technological Machines and Transportation Vehicles. – Hershey, PA: IGI Global, 2023. – 288 p.
3. Елисеев А.В., Кузнецов Н.К., Николаев А.В. Концепция динамических инвариантов в оценке структурных особенностей механических колебательных систем // Транспортное, горное и строительное машиностроение: наука и производство. – 2022. – № 15. – С. 18-30.
4. Елисеев А.В., Николаев А.В., Елисеев С.В. Возможности динамического гашения колебаний по двум координатам состояния объекта // Автоматизированное проектирование в машиностроении. – 2019. – № 7. – С. 76-83.
5. Елисеев С.В., Каргапольцев С.К., Елисеев А.В., Николаев А.В. Специфические режимы динамических состояний вибрационных машин: Совместное гашение колебаний по двум координатам, частотные диаграммы // Транспортное, горное и строительное машиностроение: наука и производство. – 2019. – № 2. – С. 42-49.

### Сведения об авторах:

*Елисеев Андрей Владимирович* – к.т.н., доцент кафедры математики;

*Миронов Артем Сергеевич* – соискатель, НОЦ современных технологий, системного анализа и моделирования.



УДК 678.074:553.981

## ДОСТИЖЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ В ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИИ ПОДВОДНОЙ ДОБЫЧИ УГЛЕВОДОРОДОВ

*Коробчук М.В.*

*ООО «Газпром 335», Санкт-Петербург*

**Ключевые слова:** эластомеры, эластомерная композиция, резина, шельф, добыча углеводородов, система подводной добычи.

**Аннотация.** В тезисах приводится краткая информация об оборудовании подводных добычных комплексов и о том, какую роль в создании отечественной технологии подводной добычи играет компания ООО «Газпром 335». Описываются условия эксплуатации оборудования и отмечаются накладываемые этим особенности и требования к выбору полимерных материалов. Перечисляются основные классы и виды полимерных материалов, находящихся применение в технологии подводной добычи. Описывается актуальное положение дел в части зависимости от иностранных технологий и сырьевых компонентов. Отмечается наличие ограничений, связанных с отсутствием нормативной документации, и как следствие, экспериментальной базы. Предлагаются варианты решения с указанием того, какие действия необходимо выполнить. В заключении делаются выводы, что в краткосрочном периоде исключить зависимость от материалов иностранного производства вполне вряд ли получится, однако в более длительной перспективе эта вероятность весьма велика.

## ACHIEVEMENTS AND PROSPECTS OF APPLICATION OF MODERN POLYMERIC MATERIALS IN SUBSEA PRODUCTION SYSTEM

*Korobchuk M.V.*

*Ltd. «Gazprom 335», Saint-Petersburg*

**Keywords:** elastomers, elastomeric composition, rubber, shelf, hydrocarbon production, subsea production system.

**Abstract.** The abstracts provide brief information about the equipment of underwater mining complexes and what role Gazprom 335 LLC plays in the creation of domestic underwater mining technology. The operating conditions of the equipment are described and the imposed features and requirements for the choice of polymer materials are noted. The main classes and types of polymer materials used in underwater mining technology are listed. The current state of affairs in terms of dependence on foreign technologies and raw materials components is described. It is noted that there are limitations associated with the lack of regulatory documentation, and as a result, an experimental base. Solutions are offered, indicating which actions need to be performed. In conclusion, it is concluded that in the short term it is unlikely to eliminate dependence on foreign-made materials, but in the longer term this probability is very high.

Российской Федерации принадлежит самый обширный шельф в мире.

Освоение запасов шельфовых месторождений углеводородов является необходимым условием сохранения энергетической независимости нашей страны.

Согласно актуальным данным, разведанные запасы углеводородного сырья на шельфе Северного Ледовитого океана составляют 25 % мировых запасов. Если же говорить о запасах углеводородов принадлежащих Российской Федерации, то в недрах шельфа содержится до 25% всех запасов нефти и до 50% запасов газа.

В укрупненном виде ресурсы распределены следующим образом (рис. 1): Северо-западные моря – менее 0,1%, Южные моря – 6,5 %, Западно-Арктические – 65,1%, Восточно-Арктические – 14,9%. Не трудно подсчитать, что на долю месторождений Арктической зоны приходится 80 % всех запасов континентального шельфа России.

В настоящее время на российском шельфе эксплуатируются 15 буровых платформ, 7 из которых – мобильные платформы-суда, остальные 8 – стационарные. При этом в условиях Арктики эксплуатируется лишь одна – морская ледостойкая стационарная платформа (МЛСП) «Приразломная».



Рис. 1. Ресурсы континентального шельфа Российской Федерации

Существует несколько причин, ограничивающих освоение шельфовых месторождений Арктической зоны. Прежде всего, это сложные климатические условия и большие глубины моря в зоне залегания. Вместе они исключают применение стационарных добывающих платформ.

Альтернативой стационарным платформам выступает технология подводной добычи. Т.е. технология, в которой оборудование размещается на морском дне. Подводные добычные комплексы (ПДК) позволяют решить основные проблемы надводного освоения арктических месторождений – сложную ледовую и штормовую обстановки.

Первым месторождением в России, на котором добыча углеводородов осуществляется без надводных платформ, является Киренское газоконденсатное месторождение. К особенностям региона локации месторождения относится высокая сейсмическая активность и ограниченное время навигации. К специфике условий работы оборудования следует отнести высокие температуры и давления.

Основными составляющими подводного добычного комплекса (рис. 2) являются устьевое оборудование, система сбора газа, система управления.

Устьевое оборудование регулирует режим работы подводных добычных скважин, обеспечивает их безопасную эксплуатацию и возможности для ремонта.

Система управления подводным добычным комплексом представляет собой комплекс технических и программных средств, обеспечивающих передачу

управляющих воздействий на подводные клапаны, и дроссели регистрацию и обработку информации с датчиков КИП и обмен данными между подводным и надводным оборудованием. Процесс добычи Газа полностью автоматизирован. Это позволяет обеспечить технологии максимальную безопасность и исключить человеческий фактор.

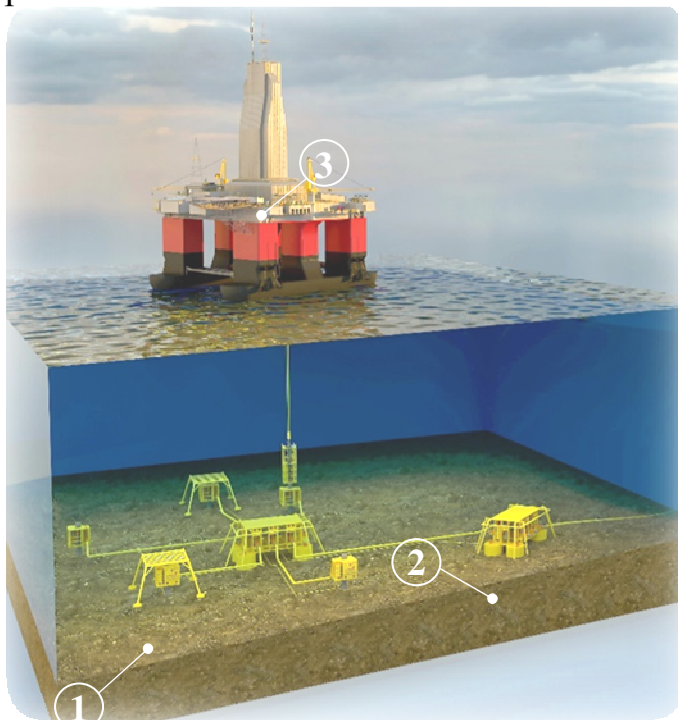


Рис. 2. Схема обустройства месторождения: 1 – подводная фонтанная арматура; 2 – манифольд; 3 – полупогружная буровая платформа

Основой подводного комплекса является манифольд, представляющий собой газосборный узел весом более 300 тонн. Совместно с комплексом подводных трубопроводов, тройников, окончных устройств, камер приёма и запуска он образует систему сбора и транспортирования углеводородного сырья.

Подводная часть добычного комплекса Киренского ГКМ состоит из 6 скважин, расположенных на глубине от 90 до 100 метров и в 28 километрах от берега. С него, газ, объединенный в единый поток, отправляет на Береговой комплекс, где проходит осушку и очистку. Товарный газ с комплекса поступает в газотранспортную систему «Сахалин-Хабаровск-Владивосток».

Пока что на этом месторождении работает исключительно зарубежное оборудование. Однако, именно Киренское месторождении станет первым месторождением, на котором будут применены отечественные разработки.

При создании любой современных технологий одним из ключевых начальных этапов ее разработки оказывается этап выбора материалов. При этом полимерные материалы занимают особое место.

В оборудовании подводных добычных комплексов находят применение самые разные полимерные материалы. Прежде всего это эластомеры. Основное назначение эластомеров – это уплотнительные элементы [1]. В подводной добыче используются специальные резиновые смеси, к которым предъявляются жесточайшие требования.

Следующий тип полимерных материалов – пластмассы. Пластмасса используется в основном для изготовления силовых элементов узлов уплотнения.

Отдельную группу полимерных материалов представляют покрытия. Упомянув их, можно отметить, что в подводной добыче с точки зрения назначения применяются два их типа: защитные и функциональные. В качестве защитных применение получили эпоксидные, а в качестве полифункциональных – фторполимерные [2, 3].

Применительно к композитным полимерам нужно отметить, что они крайне перспективны, однако нефтегазовая отрасль очень консервативна и крайне осторожно относится к новшествам, поэтому в отечественной практике они находят пока что применение лишь для изготовления защитных конструкций.

Конечно, это далеко не все полимерные материалы. Применение, хоть и в меньших объемах, находят также клеи, фиксаторы, герметики, а также волокна [4].

Нетрудно заметить, что полимеры представлены в самых разнообразных ипостасях. Однако для всех них характерны общие ограничения применения и внедрения.

В таблицах 1 и 2 представлена информация о степени проработанности актуальных вопросов применения используемых в подводной добыче полимерных материалов на 2016 год (старт работ по созданию отечественной технологии подводной добычи) и на первый квартал 2024 года соответственно.

Анализируя актуальное положение дел, прежде всего следует отметить наличие все еще ощутимой импортозависимости от иностранных материалов и технологий их переработки, особенно в сфере сырьевых компонентов.

Табл. 1. Проработанность направления на 2016 год

Этап жизненного цикла ЛКМ и ЛКП	Ресурс							
	Технические требования	Нормативная база (стандарты, НТД, СТП и т.д.)	Материальная база (преполимеры, сырье и т.д.)	Технология переработки в изделия	Научные школы, оригинальные разработки	Кадры (специальная подготовка)	Экспериментальная база	Опыт применения
Эластомеры	-	-	-/+	-/+	-/+	-/+	+/-	-
Пластмассы	-	-/+	-/+	-/+	-/+	-/+	+/-	-
Клеи/фиксаторы/герметики/заполнители	-	-	+	-/+	+/-	-/+	+/-	-
Покрытия эпоксидные	-	+/-	-/+	-/+	+	+/-	+/-	-
Покрытия многофункциональные	-	-	-	-/+	-/+	-/+	-	-
Композитные материалы	-	-	+/-	-/+	+	+/-	+/-	-
<i>Примечание:</i>								
«-» – решение вопроса отсутствует или недостаточно для удовлетворения потребности;								
«-/+» – существующие решения имеют потенциал, однако реализация требует значительных временных, административных и финансовых ресурсов;								
«+/-» – имеющиеся решения апробированы и дают хороший результат, однако требуют доработки для внедрения;								
«+» – имеющиеся решения дают стабильный высокий результат и внедрены в повседневную практику.								

Табл. 2. Проработанность направления на третий квартал 2024 года

Этап жизненного цикла ЛКМ и ЛКП	Ресурс							
	Технические требования	Нормативная база (стандарты, НТД, СТП и т.д.)	Материальная база (преполимеры, сырье и т.д.)	Технология переработки в изделия	Научные школы, оригинальные разработки	Кадры (специальная подготовка)	Экспериментальная база	Опыт применения
Эластомеры	+	+/-	+/-	+	+	+	+/-	-/+
Пластмассы	+	+/-	+/-	+	+	+	+/-	+
Клеи/фиксаторы/герметики/заполнители	+	-	+	+	+	+	+/-	-
Покрытия эпоксидные	+	+/-	+/-	+	+	+	+/-	-/+
Покрытия многофункциональные	+	-	-	+	-/+	-/+	+/-	-
Композитные материалы	+	-	+/-	+	+	+	+/-	-
<i>Примечание:</i> применяемые обозначения соответствуют указанным в таблице 1.								

Остро стоят вопросы отсутствия нормативной документации, специального испытательного оборудования и квалифицированных кадров. Крайне необходимы новые прорывные исследования и разработки.

Из выше представленной информации можно сделать выводы, что обеспечение независимости отечественной отрасли систем подводной добычи в сфере полимерных материалов возможно при решении таких задач, как:

- развитие российской нормативной базы;
- в партнерстве с ведущими научно-исследовательскими институтами проведение научно-исследовательских работ по разработке новых видов продукции, не производящихся в России;
- освоение производства новых материалов в условиях существующего производства отечественных предприятий;
- максимальная локализация производств;
- расширение работ с российскими аналогами зарубежных материалов с учетом дополнительных требований, учитывающих условия эксплуатации оборудования;
- подготовка и совершенствование кадрового резерва.

Двигаясь в указанных направлениях, компания ООО «Газпром 335» уже добилась больших результатов. Отраженная в таблицах 1 и 2 ретроспектива демонстрирует объем фактически проделанной работы. За время существования компании к сотрудничеству привлечено более 75 компаний из реального сектора экономики, которые на высоком уровне выполняют работы по направлениям технологий подводной добычи, обеспечивая отечественную отрасль продукцией, не уступающей по своим характеристикам зарубежным аналогам. Ведутся работы по созданию испытательного оборудования и испытательных центров на базе ведущих Российский высших учебных заведений.

Специалисты компании обладают уникальными знаниями и компетенциями для осуществления как технического аудита, так и предварительной оценки

возможностей потенциального поставщика или производителя. Научные кадры, входящие в состав научно-технического управления, принимают активное участие в инициации, выполнении внедрении результатов научно-исследовательских работ, характеризующихся высокой научной ёмкостью и инновационностью.

В настоящее время на Южно-Киренском месторождении на завершающей стадии находятся работы по монтажу первых образцов отечественной системы подводной колонной головки. Успешное выполнение работ на месторождении подтверждает верность предложенных технических решений, в том числе и в части полимерных материалов.

Достиженные показатели при создании отечественного устьевого оборудования и уникальные компетенции специалистов ООО «Газпром 335» позволили компании сделать большой вклад в технологическую независимость РФ.

Подводя итог можно отметить следующее. Континентальный шельф, это фундамент энергетической безопасности будущей России на долгосрочную перспективу. Уже сделанное является достойным ответом России на вызовы времени. Полученный опыт проектирования переводит отечественную технологию на принципиально иной уровень развития.

Несомненно, многое еще предстоит сделать. Со многими трудностями неизбежно придется столкнуться лицом-к-лицу. Однако опыт показывает, что, Российская Федерация обладает необходимыми потенциалом и ресурсами для решения научно- и технологически емких задач любого уровня.

#### **Список литературы**

1. Коробчук М.В. Эластомерные материалы, применяемые в оборудовании систем подводной добычи углеводородов // Перспективные материалы. – 2022. – №4. – С. 5-21. – DOI: 10.30791/1028-978X-2022-4-5-21.
2. Коробчук М.В., Дринберг А.С., Яхимович В.А., Токарев А.В., Фролов К.В. Многофункциональные полимерные покрытия в оборудовании подводных добычных комплексов // Газовая промышленность. – 2023. – № 6(850). – С. 22-33.
3. Дринберг А.С., Бабкин О.Э., Литосов Г.Э., Коробчук М.В., Токарев А.В., Токарев П.А., Сумский А.В. Разработка технологии производства антифрикционных химически стойких фторуретановых покрытий для оборудования систем подводной добычи углеводородов // Лакокрасочные материалы и их применение. – 2023. – № 3(552). – С. 22-28.
4. Коробчук М.В., Лавров С.И., Концевая С.Ю. Клеевые композиции и особенности их применения в практике кования лошадей // Тезисы докладов IV Международной научно-технической конференции «Современные достижения в области клеев и герметиков: материалы, сырье, технологии» – Н. Новгород: Гладкова О.В., 2023. – С. 174-177.

#### **Сведения об авторе:**

*Коробчук Максим Васильевич* – к.т.н., доцент, главный специалист Научно-технического управления ООО «Газпром 335».

## КАРЬЕРНЫЙ ВОДООТЛИВ ПРИ ОТКРЫТОЙ РАЗРАБОТКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

*Арно В.В., Гарифулина И.Ю., Миккельсен Е.А.*

*Северо-восточный государственный университет, Магадан*

**Ключевые слова:** карьерный водоотлив, открытая разработка, месторождение Павлик, гидрогеология, экология.

**Аннотация.** Статья рассматривает технологии и подходы, применяемые для карьерного водоотлива на месторождении Павлик, а также анализирует результаты, уже достигнутые в этой сфере. В статье акцентируется внимание на особенностях карьерного водоотлива в горной промышленности, включая: климатические условия: долгие холодные периоды требуют специального оборудования, устойчивого к низким температурам; гидрогеологическая обстановка: разнообразие зон водопроницаемости пород требует индивидуальных подходов к водоотливу; экологические аспекты: водоотлив должен минимизировать воздействие на окружающую среду; масштабы разработки: большая площадь и глубина карьеров требуют сложных и разветвленных систем водоотлива. В статье представлены результаты карьерного водоотлива на месторождении Павлик, включая оценку водопритока и анализ его изменчивости. Для увеличения эффективности водоотлива авторы рассматривают методы водопонижения.

## QUARRY DRAINAGE DURING OPEN-PIT MINING

*Arno V.V., Garifulina I.Yu., Mikkelsen E.A.*

*North-Eastern State University, Magadan*

**Keywords:** quarry drainage, open-pit mining, Pavlik deposit, hydrogeology, ecology.

**Abstract.** The article examines the technologies and approaches used for quarry drainage at the Pavlik field, as well as analyzes the results already achieved in this area. The article focuses on the features of quarry drainage in the mining industry, including: climatic conditions: long cold periods require special equipment resistant to low temperatures; hydrogeological situation: the variety of rock permeability zones requires individual approaches to drainage; environmental aspects: drainage should minimize the impact on the environment; the scale of the development: the large area and depth of the quarries require complex and extensive drainage systems. The article presents the results of quarry drainage at the Pavlik deposit, including an assessment of water inflow and an analysis of its variability. To increase the efficiency of drainage, the authors consider methods of water reduction.

### Введение

Открытая разработка месторождений является одним из наиболее эффективных методов добычи полезных ископаемых, особенно когда речь идет о драгоценных металлах. Месторождение Павлик в Магаданской области, занимающее значительное место в горнодобывающей отрасли России, не является исключением. Однако успешная эксплуатация таких месторождений требует решения целого ряда сложных инженерных и экологических задач, среди которых особое место занимает карьерный водоотлив.

Карьерный водоотлив представляет собой комплекс мероприятий по отводу подземных и поверхностных вод, что позволяет вести добычу в сухих условиях, снижая риски и увеличивая эффективность разработки месторождения. В случае

месторождения Павлик, расположенного в условиях Крайнего Севера, эта задача становится особенно *актуальной* из-за высокой минерализации вод и сложного гидрогеологического строения региона. В данной статье мы рассмотрим, какие технологии и подходы используются для карьерного водоотлива на месторождении Павлик, а также какие результаты уже были достигнуты и какие перспективы открываются перед горнодобывающей отраслью благодаря этим инновациям.

### **Особенности карьерного водоотлива в горной промышленности**

Карьерный водоотлив представляет собой крайне важный процесс в горной промышленности, который направлен на обеспечение эффективного и безопасного ведения разработки месторождений. От его качества непосредственно зависят как экономические показатели добычи полезных ископаемых, так и безопасность труда на карьере. В открытой разработке месторождения Павлик Магаданской области, как и на других подобных объектах, особенности карьерного водоотлива связаны с климатическими условиями, гидрогеологической обстановкой и масштабами разработки.

Гидрогеологическая обстановка на месторождении Павлик сложна и разнообразна. Зоны изученности и водопроницаемости пород существенно различаются, что требует детального анализа и индивидуализации подходов к водоотливу. Применяются различные методы и техника, начиная от скважинного водоотлива, предусматривающего строительство дренажных скважин вокруг или внутри карьера, и заканчивая системами глубокого водопонижения, позволяющими снизить уровень грунтовых вод в большом радиусе от карьера [1-3].

Не менее важным аспектом является экологический. Водоотлив должен проводиться таким образом, чтобы минимизировать его воздействие на окружающую среду. Волшебство заключается в балансе между необходимостью отвода воды для безопасности и эффективности добычи и сохранением природных водных ресурсов и экосистем. В рамках данной специфики на месторождении Павлик используются современные технологии и оборудование, позволяющие максимально снизить негативное влияние на окружающую природу, в том числе системы очистки и повторного использования воды.

Масштабы разработки месторождения также накладывают свой отпечаток на подходы к водоотливу. Большая площадь и глубина карьеров требуют создания сложных и разветвленных систем водоотлива, а это, в свою очередь, увеличивает требования к мощности оборудования, его эффективности и надежности. Все эти аспекты требуют значительных инвестиций как в начальной стадии проекта, так и в процессе его эксплуатации.

### **Результаты**

Водоприток карьерного водоотлива формируется за счет водопритоков подземных и поверхностных вод. Водопритоки подземных вод отличаются относительной стабильностью во времени и в совокупности с притоками от дождя 95% обеспеченности составляют так называемый нормальный приток. Водопритоки поверхностных вод, образующихся при выпадении ливневых дождей 5% обеспеченности или таяния снегового покрова, напротив отличаются



значительной изменчивостью, как по времени их образования, так и по объему, и в совокупности с нормальным водопритоком образуют максимальный водоприток [3].

В начальный период разработки месторождения, при вскрытии верхних горизонтов, карьерные воды самотеком по водоотводной канаве поступают в отстойник карьерных вод, который расположен в пределах горного отвода по рельефу ниже этих горизонтов. При вскрытии нижележащих горизонтов для отвода карьерных вод используются передвижные насосные станции. Насосные станции устанавливаются на нижнем горизонте у водосборников, полезная емкость которых должна быть не менее 3-х часового нормального водопритока, монтируются напорные трубопроводы для подачи воды на борт карьера и далее в отстойник карьерных вод. По мере понижения горных работ насосные станции переносятся на нижележащий горизонт, где также обустриваются водосборники, доразвиваются нагнетательные трубопроводы, при этом водосборник на вышележащем горизонте срабатывается. Транспортирование насосных станций по карьерным дорогам осуществляется с помощью тракторной техники. Работа насосных станций предусматривается в автоматическом режиме в зависимости от уровня воды в водосборнике. При запроектированной схеме водоотлива в течении всего срока разработки месторождения, вся вода собирается на самом нижнем горизонте в самой низкой точке карьера в водосборник. Учитывая площадь отработки карьера, приток от подземных вод 48 м<sup>3</sup>/час в зимний период при растекании будет замерзать и отрабатываться вместе с материалом, поэтому работа карьерного водоотлива в зимний период не предусмотрена.

Карьерный водоотлив состоит из мобильных насосных станций в электрическом и дизельном исполнении, каждая из которых выполнена на базе морского контейнера с насосным агрегатом типа ЦНСА-500 и набором необходимого технологического оборудования. Технические паспорта на мобильные насосные станции карьерного водоотлива прилагаются. Конструкция и технические параметры станции предусматривают ее перемещение, установку и эксплуатацию в качестве единой технологической единицы. Система управления насосной станцией обеспечивает возможность ее работы в ручном и полностью автоматическом режимах 24 часа в сутки. Станция имеет возможность управления как непосредственно с места своей установки, так и с центрального удаленного пульта управления. Система управления разработана с учетом гибкого подхода к функционированию станции и позволяет контролировать и управлять следующими параметрами и функциями [4-6]:

- управление положением запорных клапанов (открыт, закрыт);
- управление работой электродвигателей;
- управление системой автозаполнения насосов перед запуском;
- мгновенный расход воды на станции;
- суммарное количество воды, перекачанное станцией за любой период времени;
- уровни в резервуарах системы водоотлива;
- статус насосных агрегатов (работа, горячий резерв, сервис);
- температура подшипников насосов;

- температура подшипников двигателей;
- давление на нагнетании насоса.

Карьер по площади и соответственно по водопритокам условно разделен на три чаши: Западная – 28%, Центральная – 50% и Восточная – 22%. (рис. 1).

Для расчета карьерного водоотлива использовались данные по количеству подземных и поверхностных вод ( $\text{м}^3/\text{сут}$ ), представленные в таблице 1, которые перекачиваются передвижными мотопомпами в водосборник Центральной чаши карьера с последующей откачкой их за борт карьера в отстойник сточных вод.

По мере образования и заглубления Восточной чаши карьера, её притоки откачиваются мобильными насосными станциями в дизельном исполнении за борт карьера в отстойник сточных вод.

Учитывая то, что приток ливневых вод 5% обеспеченности повторяется 1 раз в 20 лет, дополнительно к рабочим электрическим насосным станциям проектом предусмотрены дизельные насосные станции, являющиеся также резервными. Согласно ВНТП 35-86 п. 22.7 водоотливные установки должны иметь резервные насосы производительностью не менее 25% от производительности рабочих насосов. Допускается объединять функцию резервных насосов с ливневыми насосами, при обязательной установке последних в карьере. При расчете карьерного водоотлива данные требования соблюдаются.

Табл. 1. Данные расчета карьерного водоотлива

Годы отработки карьера	18	19-32
Подземные воды	1152	1152
Дождь 95%	30490	35400
Дождь 50%	38270	44050
Дождь 5% (ливень)	70900	85900

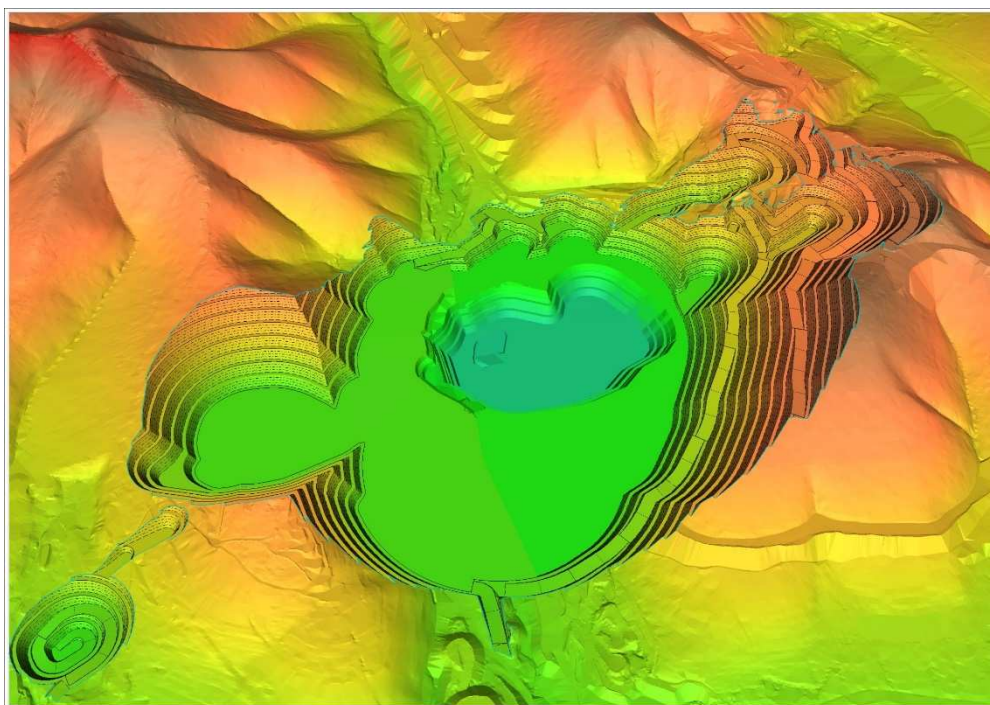


Рис. 1. Положение горных работ на 01.01.2024 (для вариантов бортового содержания 0,4; 0,6; 0,8 г/т)

По мере образования и заглубления Западной чаши карьера её притоки подведены отдельно к каждому насосному агрегату и оборудованы приемным клапаном с сеткой. Диаметр всасывающего трубопровода принимается из условия скорости воды в них не более 1,5 м/с.

Напорные магистральные трубопроводы прокладываются по горизонтальным уступам на деревянных подкладках, по откосам – на металлических опорах, при пересечении дорог – в засыпке с чехлом либо в траншее с чехлом. Трубопроводы укладываются с уклоном не менее 0,003 в сторону водосборника, что обеспечивает их освобождение, предохраняя от замерзания в них воды при понижении температуры воздуха. Диаметр напорных магистральных трубопроводов принимается из условия скорости воды в них не более 3 м/с. Количество труб предусмотрено с учетом их переукладки в рабочей зоне карьера. Для обеспечения возможности замены или ремонта любого из насосов, обратных клапанов, а также основной запорной арматуры с обеспечением непрерывной откачки нормального притока предусмотрено на один напорный магистральный трубопровод Ду= Ø 377 мм подключение двух насосных станций.

Включение в работу и отключение насосных станций происходит последовательно в автоматическом режиме, в зависимости от уровня воды в водосборниках, а также автоматическое включение резервных насосных станций при выходе из строя любой из рабочих насосных станций. Предусмотрена возможность дистанционного управления и контроль работы насосных станций с передачей сигналов на пульт управления диспетчера.

Расчет карьерного водоотлива выполнен для конечного этапа обработки карьера, с учетом суммарной откачки насосами максимально ожидаемого суточного притока воды в течение суток не более чем за 20 часов. Характеристики насосов представлены в таблице 2, а количество водоотливных установок (по периодам) в таблице 3.

Табл. 2. Характеристики насосов

Марка насоса	Подача, м <sup>3</sup> /ч	Напор, м	Частота вращения, об/мин	Мощность, кВт	КПД, %
ЦНС 500-480	500	400	1475	921	71
Мотопомпа Varisco JD 6-400	380	46	1800	90	75

Для сбора, отстаивания и очистки поступающих в карьер водопритоков подземных и поверхностных вод, а также сточных вод, стекающих с площади водосбора отвалов пустых пород, на площадке карьера и площадках отвалов предусмотрены водоотводные сооружения и отстойники.

Водоотводные сооружения и отстойники предусмотрены на площадках отвалов пустых пород Северный и Павлик в следующем составе: отстойники-накопители подотвальных стоков – отстойники №1 и №2, приёмная ёмкость, водоотводные канавы №1 и №2, нагорная канава, руслоотвод руч. Павлик (III очередь), направляющая дамба руслоотвода руч. Павлик (III очередь).

Таким образом, карьерный водоотлив на месторождении Павлик Магаданской области имеет целый ряд особенностей, начиная от влияния климата и заканчивая экологическими и технологическими требованиями.

Разработка и реализация системы водоотлива требует детального планирования, значительного внимания к подготовке и использованию современных технологий и методик. Все это позволяет обеспечить не только эффективность добычи, но и безопасность для людей и минимальное воздействие на окружающую среду.

Табл. 3. Характеристика водоотливных установок

Разделение чаши карьера	Общая чаша	Общая чаша
Годы отработки карьера	18	19-31
Подземный приток, м <sup>3</sup> /час	48,0	48,0
Приток от дождя 95% обеспеченности, м <sup>3</sup> /час	1270,4	1475,1
Нормальный приток (подземный + дождь 95%), м <sup>3</sup> /час	1318,4	1523,1
Приток от дождя 50% обеспеченности, м <sup>3</sup> /час	1595,0	1835,4
Средний приток (подземный + дождь 50%), м <sup>3</sup> /час	1643,0	1883,4
Приток от дождя 5% обеспеченности, м <sup>3</sup> /час	2954,2	3579,2
Максимальный приток (подземный + дождь 5%), м <sup>3</sup> /час	3002,2	3627,2
20-часовая производительность рабочих насосов, м <sup>3</sup> /час	1582,1	1827,7
20-часовая производительность рабочих насосов при притоке 50%, м <sup>3</sup> /час	1971,6	2260,1
20-часовая производительность всех насосов при максимальном притоке, м <sup>3</sup> /час	3602,6	4352,6
Длина напорного магистрального трубопровода, м	1020	1020
Геодезическая высота, м	50	320
Минимальный объем водосборника, м <sup>3</sup>	4000	4600
при притоке 95%		
Наименование насоса / количество насосов, шт / диаметр напорного трубопровода, мм	ЦНСА 500-480 / 2 / 377 ЦНСА 500-480 / 2 / 377	ЦНСА 500-480 / 2 / 377 ЦНСА 500-480 / 2 / 377
при притоке 50%		
Наименование насоса / количество насосов, шт / диаметр напорного трубопровода, мм	ЦНСА 500-480 / 1 / 377 ЦНСА 500-480 / 2 / 377 ЦНСА 500-480 / 2 / 377	ЦНСА 500-480 / 1 / 273 ЦНСА 500-480 / 2 / 377 ЦНСА 500-480 / 2 / 377
при притоке 5%		
Наименование насоса / количество насосов, шт / диаметр напорного трубопровода, мм	ЦНСА 500-480 / 1 / 377 ЦНСА 500-480 / 1 / 377 ЦНСА 500-480 / 2 / 377 ЦНСА 500-480 / 2 / 377 ЦНСА 500-480 / 2 / 377	ЦНСА 500-480 / 1 / 273 ЦНСА 500-480 / 2 / 377 ЦНСА 500-480 / 2 / 377 ЦНСА 500-480 / 2 / 377 ЦНСА 500-480 / 2 / 377

### Заключение

Для обеспечения эффективного водоотлива на месторождении Павлик в Магаданской области, где открытая разработка играет ключевую роль в добыче полезных ископаемых, необходимо руководствоваться комплексом практических мероприятий. Эти мероприятия направлены на снижение водопритокков, повышение эффективности откачки воды и обеспечение безопасности горных работ.

Прежде всего, необходима точная оценка водопритокков. Использование гидрогеологического моделирования позволяет на раннем этапе проектирования определить потенциальные источники водопритокков, их мощность и вероятное

воздействие на карьер. Данные оценки могут служить основой для разработки стратегий водоотлива, включая построение водоотводящих канав и систем глубинного дренажа.

Для увеличения эффективности водоотлива целесообразно использовать методы водопонижения. Одним из таких методов является искусственное замораживание грунтов, которое позволяет предотвращать притоки подземных вод в карьер. Альтернативным способом может быть химическая консолидация пород, уменьшающая их водопроницаемость.

Кроме того, важно обращать внимание на процессы водоподготовки. Откачанная из карьера вода часто содержит минеральные соли и тяжелые металлы, которые могут негативно влиять на экосистему. Применение современных технологий очистки помогает не только снизить негативное воздействие на окружающую среду, но и возможно возвращать воду в карьер для обеспечения технических нужд [5-6].

Не стоит упускать из виду и сюрвейерное сопровождение работ. Регулярный мониторинг изменений в гидрогеологической ситуации позволит оперативно адаптировать системы водоотлива к текущим условиям, предотвращая возможные непредвиденные ситуации, такие как внезапные прорывы воды.

В совокупности, применение перечисленных мер позволит не только эффективно управлять процессами водоотлива на месторождении Павлик, но и минимизировать экологический ущерб, а также расходы на обеспечение безопасности и продуктивности открытой разработки месторождения.

#### **Список литературы**

1. Рассудов А.В. Опыт открытой разработки месторождения трубки «Удачная» // Труды Международного симпозиума «Мирный-91»: Проблемы разработки глубоких карьеров. – Удачный: НИЦ «Мастер», 1991. – С. 8-14.
2. Вигандт В.А. Гидрогеологические проблемы отработки алмазных месторождений // Горный журнал. – 2005. – № 7. – С. 83-87.
3. Абрамов С.К., Газизов М.С., Костенко В.И. Защита карьеров от воды. – М.: Недра, 1976. – 230 с.
4. Морин А.С., Мигунов В.И., Шульгина К.А. Анализ амплитудно-частотных характеристик виброакустических сигналов при мониторинге технического состояния карьерной водоотливной установки // Уголь. – 2022. – №10(1159). – С. 33-39. – DOI: 10.18796/0041-5790-2022-10-33-39.
5. Гришко А.П., Шелоганов В.И. Стационарные машины и установки. – 2-е изд., стер. – М.: Изд-во «Горная книга», 2007. – 325 с.
6. Huang Z., Ge S., Jing D., Yang L. Numerical simulation of blasting dust pollution in open-pit mines // Applied Ecology and Environmental Research. 2019, vol. 17, no. 5, pp. 10313-10333. DOI: 10.15666/aeer/1705\_1031310333.

#### Сведения об авторах:

*Арно Вероника Владимировна* – к.т.н., доцент;

*Гарифулина Ирина Юрьевна* – старший преподаватель кафедры геологии и горного дела;

*Миккельсен Екатерина Александровна* – студент.

## ФАЗОВЫЙ АНАЛИЗ КЕКА ПОСЛЕ ЦИАНИРОВАНИЯ ФЛОТАЦИОННОГО КОНЦЕНТРАТА

*Арно В.В., Ломакина Н.Е., Ельникова Е.А., Гузенко А.Д.  
Северо-восточный государственный университет, Магадан*

**Ключевые слова:** фазовый анализ, кека, цианирование, флотационный концентрат, золото, серебро, рентгеновская дифракция, сканирующая электронная микроскопия, оптимизация процесса, экологическая безопасность.

**Аннотация.** Статья посвящена фазовому анализу кека, полученного после цианирования флотационного концентрата. Цианирование флотационного концентрата является одним из ключевых этапов в извлечении ценных металлов, таких как золото и серебро, из руды. Фазовый анализ кека позволяет выявить ключевые превращения, происходящие с минералами и металлами в ходе обработки, что дает ценную информацию для оптимизации технологических параметров процесса, снижения затрат на переработку и повышения экологической безопасности. В статье рассматриваются методы и результаты фазового анализа кека после цианирования, а также описываются возможности для оптимизации производственного процесса на основе полученных данных.

## PHASE ANALYSIS OF CAKE AFTER CYANIDATION OF FLOTATION CONCENTRATE

*Arno V.V., Lomakina N.E., Yelnikova E.A., Guzenko A.D.  
North-Eastern State University, Magadan*

**Keywords:** phase analysis, cake, cyanidation, flotation concentrate, gold, silver, X-ray diffraction, scanning electron microscopy, process optimization, environmental safety.

**Abstract.** The article is devoted to the phase analysis of cake obtained after cyanidation of flotation concentrate. Cyanidation of flotation concentrate is one of the key steps in the extraction of valuable metals such as gold and silver from ore. The phase analysis of the cake makes it possible to identify key transformations occurring with minerals and metals during processing, which provides valuable information for optimizing the technological parameters of the process, reducing processing costs and improving environmental safety. The article discusses the methods and results of the phase analysis of the cake after cyanidation, as well as describes the possibilities for optimizing the production process based on the data obtained.

### Введение

В современной металлургии флотационные методы обогащения руд играют ключевую роль в обеспечении высокой степени извлечения полезных компонентов. Одним из перспективных направлений повышения эффективности таких технологий является последующее цианирование флотационных концентратов. Этот метод позволяет значительно увеличить долю извлечения драгоценных металлов, таких как золото и серебро, из сложных и малосодержащих руд. Однако, для оптимизации процесса и минимизации потерь, критически важно понимать изменения в фазовом составе концентрата после цианирования.

Фазовый анализ кека, полученного после цианирования флотационного концентрата, позволяет выявить ключевые превращения, происходящие с

минералами и металлами в ходе обработки. Этот анализ дает ценную информацию о составе конечного продукта, что, в свою очередь, способствует улучшению технологических параметров процесса, снижению затрат на переработку и повышению экологической безопасности. В статье рассматриваются методы и результаты фазового анализа кека после цианирования, а также описываются возможности для оптимизации производственного процесса на основе полученных данных.

### **Дискуссия**

Фазовый анализ кека, особенно после процесса цианирования флотационного концентрата, является ключевым этапом в понимании функциональности и эффективности данного метода очистки. Цианирование, как известно, используется для извлечения благородных металлов, таких как золото и серебро, из руды, при этом флотационный концентрат обеспечивает предварительную концентрацию ценного компонента, значительно увеличивая экономическую эффективность последующего процесса.

Важность фазового анализа в данном контексте заключается в возможности точного определения минералогического состава кека после цианирования, что позволяет не только оценить степень извлечения ценных компонентов, но и выявить возможные потери, ассоциированные с присутствующими в кеке фазами. Эта информация критически важна для оптимизации процесса очистки, включая подбор условий флотации и цианирования, таких как концентрация реагентов, температура, время обработки и pH среды.

Фазовый анализ проводится с использованием различных методов, включая рентгеновскую дифракцию (РД), сканирующую электронную микроскопию (СЭМ) с дисперсионным анализом по энергии (ЭДС) и трансмиссионную электронную микроскопию (ТЭМ). Эти методы позволяют определить не только виды минералов, но и их текстурные особенности, размеры частиц и ассоциации между различными фазами на микро- и наноуровнях. Такой подход дает возможность глубже понять, какие факторы влияют на эффективность цианирования и как можно улучшить процесс для достижения максимальной выгоды [1-3].

### **Результаты**

Изучение вещественного состава и технологических свойств руды проведено по данным шести технологических и одной полупромышленной проб, отобранных из главных рудных тел месторождения «Павлик» Магаданской области. При этом, фазовый анализ кека сорбционного цианирования флотоконцентрата показал, что 87% золота в нем осталось в форме не доступной для прямого цианирования. Результаты фазового анализа представлены в таблице 1.

Для оценки возможности повышения уровня извлечения золота выполнен тест по сорбционному цианированию предварительно обработанного флотоконцентрата на крупности 95% – 5 мкм. Подготовку тонко измельченного концентрата проводили обработкой пульпы известью и последующим окислением кислородом в течение 24 часов. Извлечение золота из тонко измельченного концентрата составило 68,49%. Из результатов исследований

следует, что уменьшение тонины помола до 5% не приводит к увеличению извлечения золота, но увеличивает расход цианида натрия в три раза до 12,7 кг на тонну концентрата [3-5].

Табл. 1. Фазовый анализ кека после цианирования флотационного концентрата

Форма нахождения золота	Содержание Au, г/т	Распределение Au, %
Золото свободное с чистой поверхностью	0	0
Золото в сростках (цианируемое)	0	0
Золото в пленках	0,16	3,333
Золото в сульфидах	0,45	9,375
Золото, заключенное в минералах, кварце, не растворимое в царской водке	4,19	87,292
Всего:	4,80	100,00

В процессе исследований проведены тесты по обезвреживанию пульпы от цианистых соединений, из которых следует, что целесообразнее проводить данный процесс метабисульфитом натрия, так как этот процесс характеризуется меньшим расходом реагента (3,6 кг на тонну концентрата) и не требует введения таких дополнительных реагентов как известь и железный купорос.

Суммарное извлечение золота в конечные концентраты по институту ЦНИГРИ составили 90,4%, по институту ТОМС 91,3%. При этом, в ТОМСе была применена гравитационно-флотационная схема без выделения, как в предложенной ЦНИГРИ схеме обогащения, «золотой головки» при гравитационном концентрировании.

Сложность фазового анализа кека после цианирования заключается также в изменении минералогического состава под воздействием цианидных растворов. Цианирование может приводить к образованию новых фаз и соединений, которые могут оказывать как положительное, так и отрицательное влияние на последующие этапы переработки руды. Например, некоторые из этих соединений могут адсорбировать дополнительные количества ценных металлов, что делает их трудно извлекаемыми без дополнительной обработки.

Исследование изменений в минералогии кека после цианирования и их влияния на процесс извлечения ценных металлов требует комплексного подхода. Количественный и качественный анализ фаз, присутствующих в кеке, не только улучшает понимание самого процесса цианирования, но и способствует разработке новых технологий и улучшению существующих методик очистки, направленных на увеличение выхода ценных металлов и снижение экологического воздействия.

*Методика* цианирования флотационного концентрата является ключевым этапом в извлечении ценных металлов, в частности золота и серебра, из руды. Процесс начинается с подготовки концентрата, полученного в результате флотационного разделения. Приготовление раствора цианида для последующего взаимодействия с флотационным концентратом осуществляется путем



растворения цианистого натрия ( $\text{NaCN}$ ) или калия ( $\text{KCN}$ ) в воде до получения необходимой концентрации.

Перед началом процесса цианирования концентрат дополнительно обрабатывается с целью улучшения доступа цианидных ионов к металлам. Эта подготовительная стадия может включать дробление, измельчение и агломерацию, а также удаление воздуха из пор и трещин материала путем вакуумирования или обработки в среде инертного газа, что существенно повышает эффективность последующего цианирования.

Сам процесс цианирования проводится в специально оборудованных резервуарах, где флотационный концентрат смешивается с раствором цианида. Процесс может осуществляться как при атмосферном давлении, так и под повышенным, что зависит от конкретных свойств руды и выбранной технологии. Важной составляющей успешного цианирования является контроль за концентрацией раствора цианида, рН среды и температурой, поскольку эти параметры напрямую влияют на скорость выщелачивания металлов. Обычно для максимизации процесса выщелачивания поддерживается щелочная среда с рН 10-11 путем добавления извести.

Кроме химических параметров, важную роль играет агитация смеси, которая обеспечивает равномерное распределение цианидных ионов и металлов в растворе, способствуя тем самым увеличению емкости процесса. В некоторых случаях для ускорения процесса выщелачивания и повышения его эффективности применяется добавление окислителей (например, пероксида водорода или кислорода) для улучшения доступа цианида к металлам [2].

По завершении процесса цианирования содержимое резервуаров подвергается процедуре разделения твердой и жидкой фаз. Раствор, содержащий цианидные комплексы ценных металлов, отделяется от неактивного осадка и направляется на следующие этапы обработки для извлечения и очистки металлов. Оставшаяся твердая фаза может быть подвергнута дополнительным этапам обработки в целях извлечения оставшихся ценных компонентов или утилизирована [4-5].

Таким образом, тщательное планирование и контроль всех параметров процесса цианирования флотационного концентрата имеет решающее значение для успешного извлечения ценных металлов и минимизации экологического воздействия.

### **Выводы**

Изучая феномен цианирования флотационного концентрата и последующего анализа фазовых изменений кека, мы сделали несколько важных выводов, которые имеют как теоретическое, так и практическое значение. Во-первых, процесс цианирования значительно влияет на фазовый состав получаемого кека. Это связано с химическими реакциями между цианидами и металлами, присутствующими в концентрате, что приводит к изменению их физических и химических свойств.

Основной вывод заключается в том, что правильное управление параметрами цианирования, включая концентрацию цианида, время воздействия и температуру, может оптимизировать выход ценных металлов из флотационного

концентрата. Более того, фазовый анализ кека позволяет определить оптимальные условия для последующего извлечения металлов, минимизируя потери и повышая общую эффективность процесса.

#### **Список литературы**

1. Иванов А.В., Петров С.В., Сидоров Н.И. Фазовый анализ кека после цианирования флотационного концентрата золоторудного месторождения // Горный журнал. – 2018. – №10. – С. 56-60.
2. Кузнецов В.А., Семенова Л.М., Попов А.И. Влияние условий цианирования на фазовый состав кека // Известия вузов. Цветная металлургия. – 2020. – №3. – С. 45-49.
3. Соколов М.А., Романова Е.Н. Применение метода рентгеноструктурного анализа для исследования кека после цианирования // Вестник Уральского государственного горного университета. – 2019. – № 4. – С. 78-83.
4. Морозов А.С., Сеницын Д.В. Изучение фазового состава кека с помощью сканирующей электронной микроскопии // Труды Института геологии и минералогии СО РАН. – 2021. – №5. – С. 125-132.
5. Смирнов И.В., Кузнецов В.Н. Оптимизация процесса цианирования флотационного концентрата на основе фазового анализа кека // Цветные металлы. – 2022. – №1. – С. 28-32.
6. Петров А.А., Сидорова Н.С. Экологические аспекты цианирования и фазового анализа кека // Экология и промышленность России. – 2017. – №12. – С. 35-39.

#### Сведения об авторах:

*Арно Вероника Владимировна* – к.т.н., доцент;

*Ломакина Наталья Евгеньевна* – старший преподаватель кафедры горного дела;

*Ельникова Елена Александровна* – старший преподаватель кафедры энергетики, транспорта и строительства;

*Гузенко Алексей Дмитриевич* – студент.

## УПЛОТНИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА СКВАЖИННЫХ ШТАНГОВЫХ НАСОСОВ

*Ряднов И.В., Шайхулов Р.М.*

*Российский государственный университет нефти и газа (НИУ)  
имени И.М. Губкина, Москва*

**Ключевые слова:** скважинный штанговый насос, зазор пары «плунжер-цилиндр», утечки в паре «плунжер-цилиндр», уплотнительные устройства скважинных штанговых насосов, механическое уплотнение, энергоэффективность.

**Аннотация.** Уплотнения рабочих органов насоса является ключевым способом снижения утечки в паре «плунжер-цилиндр» скважинного штангового насоса. Щелевое уплотнение пары «плунжер-цилиндр» в условиях работы штангового насоса характеризуется повышенным трением и износом, особенно в осложненных скважинах. Для повышения эффективности насоса применяются механические уплотнения. Исследования насосов с различными типами уплотнений позволяют проанализировать условия применимости и срок работоспособности различных конструкций уплотнений скважинных штанговых насосов.

## SEALING DEVICES OF DOWNHOLE ROD PUMPS

*Ryadnov I.V., Shajhulov R.M.*

*National University of Oil and Gas «Gubkin University», Moscow*

**Keywords:** sucker rod pump, clearance of the «plunger-cylinder» pair, leaks in the «plunger-cylinder» pair, sealing devices of downhole rod pumps, mechanical sealing, energy efficiency.

**Abstract.** Sealing the pump's operating elements is a key way to reduce leakage in the BOP. Slotted sealing of the plunger-cylinder pair under rod pump operating conditions is characterised by increased friction and wear, especially in complicated wells. Mechanical seals are used to improve pump efficiency. Research of pumps with different types of seals allows to analyse conditions of applicability and service life of different seal designs.

Четверть фонда добывающих скважин в РФ оборудовано скважинными штанговыми насосными установками (СШНУ) [1]. Одним из основных факторов, влияющим на снижение коэффициента полезного действия (КПД) насоса, являются утечки – в паре «плунжер-цилиндр» и клапанных парах [2]. Интенсификация роста объема утечек в паре «плунжер-цилиндр» обусловлена осложненными условиями эксплуатации скважинного оборудования, такими как: вынос механических примесей, низкий РН перекачиваемой жидкости.

Изменение геометрических параметров пары «плунжер-цилиндр» в процессе эксплуатации зависит от свойств перекачиваемой жидкости, конструкции и способов упрочнения рабочих поверхностей пары «плунжер-цилиндр», режима эксплуатации установки и др.

В данный момент используются различные типы уплотнения в паре контакта «плунжер-цилиндр», которые должны подбираться в зависимости от условий эксплуатации, такие как: физико-химические свойства нефти, давления насоса, количества агрессивных частиц и т.д.

Стандартная конструкция насоса предусматривает использование щелевого уплотнения, обеспечивающего уплотнение путем создания определенного зазора

между рабочими органами насоса. Величину зазора определяет группа посадки (fit) плунжера в цилиндр, которая составляет от 0 до 163 мкм. Выбор группы посадки определяется с учетом перепада давления на торцах плунжера, а также диаметра и длины плунжера, вязкости добываемой жидкости, содержания в ней механических примесей, степени абразивности КВЧ [3]. Щелевое уплотнение быстро перестает работать в осложненных условиях эксплуатации из-за трения и износа в результате контакта рабочих органов насоса.

Также существуют конструкции СШНУ с контактными эластичными и механическими уплотнениями. Эластичные (эластомерные) уплотнения обеспечивают герметизацию соединения прежде всего за счет высокоэластичных свойств материала уплотнителя (резины и др.), обеспечивающих плотный контакт уплотнения и уплотняемых поверхностей. Данный вид уплотнения позволяет герметизировать грубо обработанные поверхности при малых усилиях на детали соединения. Эластомерные уплотнения имеют ограниченный ресурс и малый рабочий диапазон температур и давлений, что существенно сужает область их применения.

Основным элементом механического уплотнения является кольцевой уплотнитель в виде детали или пары терния из металла, керамики, пластмассы и других твердых тел [4]. Данный вид уплотнений отличается большей наработкой и диапазонами рабочих параметров, температуры и давления. Уплотнительное устройство в скважинном штанговом насосе позволяет значительно уменьшить утечки перекачиваемой жидкости до допускаемых пределов через подвижное соединение плунжера и цилиндра.

На кафедре машин и оборудования нефтяной и газовой промышленности Российского государственного университета нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина разработаны стенд и методика, позволяющие проводить испытания СШНУ по определению утечек в паре «плунжер-цилиндр» с разными конструкциями уплотнений плунжера. На рисунке 1 представлен стенд для замера утечек.

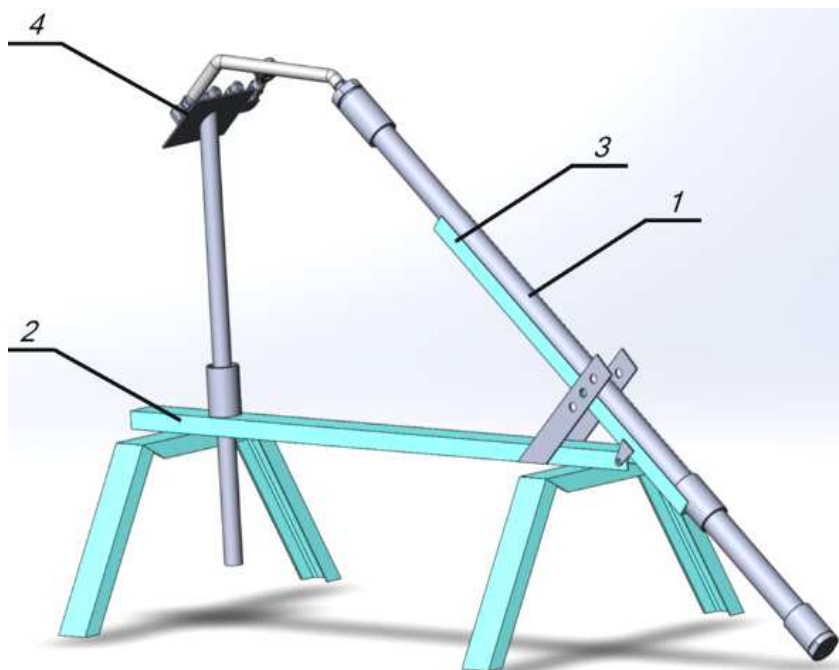


Рис. 1. Стенд для замера утечек в паре «плунжер-цилиндр»:  
1 – СШНУ, 2 – рама, 3 – подвижная рама, 4 – распределительный узел

По данным методикам [5-8] представляется возможность определить средний ресурс насоса и оценить количество утечек через плунжерную пару СШН. На основании полученных результатов проводится анализ применимости различных типов уплотнений плунжерной пары в зависимости от зазора между плунжером и цилиндром (fit), физико-химических свойств перекачиваемой или добываемой жидкости, перепада давления на торцах плунжера. Исследования насосов различных конструкций СШН по определению утечек в паре «плунжер-цилиндр» подтверждают применимость механических уплотнений плунжерной пары СШН при определенных условиях эксплуатации по сравнению с щелевыми.

### Список литературы

1. Камалетдинов Р.С. Механизированная добыча нефти: новые вызовы – новые решения // Деловой журнал Neftegaz.RU. – 2023. – № 4(136). – С. 32-37.
2. Ивановский В.Н., Деговцов А.В., Сабиров А.А., Булат А.В., Донской Ю.А., Карелина С.А., Зуев А.С., Якимов С.Б. Энергопотребление и энергоэффективность добычи и подготовки нефти: учебное пособие. – М.: Российский государственный университет нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, 2020. – 529 с.
3. Ишмухаметов Б.Х. Совершенствование штангового скважинного насоса для добычи обводненной нефти из глубоких скважин: Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. – Уфа: Уфимский государственный нефтяной технический университет, 2018. – 102 с.
4. Кондаков Л.А., Голубев А.И., Овандер В.Б., Гордеев В.В., Фурманов Б.А., Кармугин Б.В. Уплотнения и уплотнительная техника: Справочник / Под общ. ред. А.И. Голубева, Л.А. Кондакова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1994. – 445 с.
5. Ивановский В.Н., Сабиров А.А., Долов Т.Р., Шайхулов Р.М., Якимов С.Б., Ирмашев Р.Е., Клусов А.А. Методика стендовых испытаний скважинных штанговых насосов, предназначенная для определения областей их применения // Территория «Нефтегаз». – 2022. – № 3-4. – С. 52-61.
6. Сабиров А.А., Долов Т.Р., Шайхулов Р.М., Орлова Е.А., Ряднов И.В., Соколов И.Ю., Галкин А.И., Полежаев Р.М. Определение износостойкости скважинного штангового насоса с азотированным упрочнением цилиндра при работе в осложненных условиях // Территория «Нефтегаз». – 2022. – № 11-12. – С. 60-65.
7. Ивановский В.Н., Сабиров А.А., Долов Т.Р., Шайхулов Р.М., Орлова Е.А. Результаты стендовых исследований работы скважинного штангового насоса в осложненных условиях эксплуатации // Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса. – 2022. – №5(131). – С. 49-56.
8. Ивановский В.Н., Сабиров А.А., Бабакин И.Ю., Долов Т.Р., Орлова Е.А., Шайхулов Р.М., Ряднов И.В. Исследование утечек в паре «плунжер-цилиндр» скважинного штангового насоса для добычи нефти: учебно-методическое пособие [Электронный ресурс]. – М.: РГУ нефти и газа (НИУ) им. И. М. Губкина, 2022. – 41 с.

### Сведения об авторах:

*Ряднов Илья Витальевич* – аспирант;

*Шайхулов Руслан Маратович* – аспирант.

## РАЗРАБОТКА СТЕНДА ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ДИСПЕРГАТОРОВ И МУЛЬТИФАЗНЫХ ОСЕВЫХ НАСОСОВ

*Харисов Э.Т.*

*Российский государственный университет нефти и газа (НИУ)  
имени И.М. Губкина, Москва*

**Ключевые слова:** мультифазные осевые насосы, диспергаторы, стендовые испытания, модельная жидкость, установки электроприводных центробежных насосов.

**Аннотация.** В ходе выполнения исследовательской работы были произведены: анализ стендов для испытаний установок электроприводных центробежных насосов; определение критериев оценки работы диспергаторов и мультифазных осевых насосов; выявление направлений доработки существующего стенда. Для достижения результата используется анализ научно-технической и патентной документации в рамках данной темы и разработка методики обновления стенда, исходя из промышленного опыта эксплуатации данного типа оборудования.

## DEVELOPMENT OF A STAND FOR RESEARCH OF GAS HANDLERS AND MULTIPHASE AXIAL PUMPS

*Kharisov E.T.*

*National University of Oil and Gas «Gubkin University», Moscow*

**Keywords:** multiphase axial flow pumps, gas handlers, bench testing, model fluid, electric drive centrifugal pump installations.

**Abstract.** In the course of the research work the following was done: analysis of test benches for testing electric-driven centrifugal pump units; determination of criteria for evaluating the performance of dispersants and multiphase axial pumps; identification of directions for upgrading the existing test bench. To achieve the result the analysis of scientific, technical and patent documentation within the framework of this topic and development of the methodology for updating the stand, based on field experience of operation of this type of equipment is used.

Самым распространенным осложняющим фактором при добыче флюида является высокое содержание свободного газа на приеме электроприводного центробежного насоса. Предельные значения газа, при которых рабочее колесо центробежного типа способно создавать напор, составляет 25-30%. При превышении данных значений происходит: деградация напорно-расходной характеристики насосного агрегата, износ рабочих колес и направляющих аппаратов, перегрев подшипников узлов, недостаточное охлаждение погружного электродвигателя и т.д. Все вышеперечисленное ведет к преждевременному выходу из строя установок электроприводных центробежных насосов, что в свою очередь уменьшает темп добычи на месторождениях нефтедобывающих компаний. Для работы в скважинах с высоким содержанием свободного газа используются, помимо газосепараторов, диспергаторы и мультифазные осевые насосы [1, 2].

В рамках выполнения данной работы было выявлено, что в процессе проведения исследований диспергаторов и мультифазных осевых насосов важно учитывать характеристики модельной жидкости. Одним из важных параметров

является размер и сплошность пузырьков условной газовой фазы до и после испытываемого оборудования. Для анализа, существующий стенд модернизируется при помощи установки на входе и выходе в испытываемое оборудование эндоскопов с возможностью видео-фотосъемки. На рисунке 1 приведена схема части стенда.

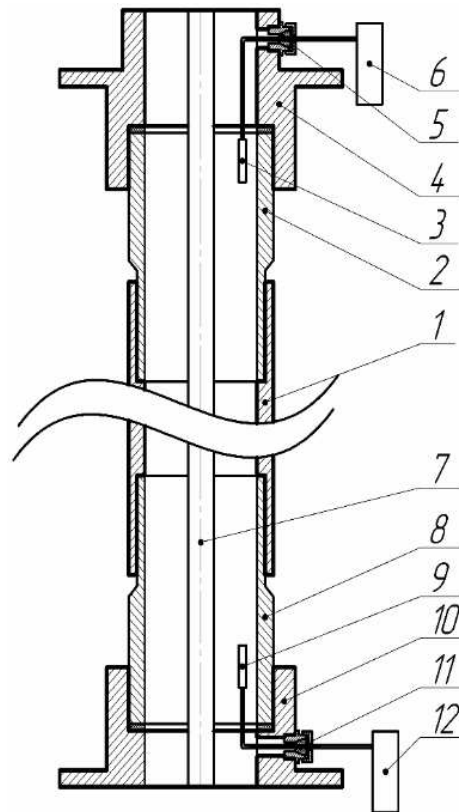


Рис. 1. Схема стенда для испытаний газостабилизирующих устройств с эндоскопами на входе и выходе: 1 – испытываемое оборудование; 2, 8 – концевые детали; 3, 9 – камеры эндоскопов; 4, 10 – фланцы; 5, 11 – сальниковое уплотнение; 6, 12 – блоки вывода изображения; 7 – вал

В верхнем 4 и нижнем 10 фланцах выполнены отверстия под ввод эндоскопов 3 и 9. Уплотнение ввода эндоскопа осуществляется при помощи сальникового уплотнения 5 и 11. Внутри корпуса 1 устанавливается испытываемое оборудование, а точнее элементы проточной части: гильзы; рабочие колеса; направляющие аппараты. Рабочие колеса приводятся во вращение при помощи вала 7. При помощи блоков выводов изображения 6 и 12 фиксируются размеры пузырьков газовой фазы на входе и выходе. Измерение производится при помощи пиксельной линейки (деление линейки равняется 0,13 мм). Для измерений выбираются самые крупные пузырьки газовой фазы. Дополнительно в процессе испытаний необходимо ориентироваться на токовые параметры асинхронного электродвигателя, который приводит во вращение испытываемое оборудование. Так как на сегодняшний день УЭЦН управляются при помощи станций управления с частотным приводом, которые обладают широким набором функций и защит для бесперебойной эксплуатации скважинного оборудования с погружными электродвигателями. Одной из таких защит является «Защита от срыва подачи (ЗСП)». При срыве подачи потребляемая мощность значительно ниже, чем при эксплуатации при

номинальном режиме, что происходит при проявлениях газа в больших количествах. На частотном преобразователе стенда планируется фиксировать токовые параметры при испытаниях. Влияние газа на эксплуатируемый насос выражается сильным снижением значений тока по трем фазам, а также загрузки погружного электродвигателя. Вызвано это тем, что плотность добываемой жидкости изменяется и потребляемая мощность насоса сильно снижается. Это может привести к перегреву погружного электродвигателя, так как в данном режиме циркуляция вокруг погружного двигателя сильно снижается [3, 4].

На основе проведенного исследования было выявлено, что данные доработки стенда помогут получить более широкое представление о работе предвключенных газостабилизирующих устройств.

#### **Список литературы**

1. Ивановский В.Н., Сабиров А.А., Долов Т.Р., Кузнецов И.В., Косилов Д.А., Якимов С.Б., Былков В.В. Методика и стенды для испытания ступеней электроприводных лопастных насосов. Основные результаты испытаний // Территория «Нефтегаз». – 2020. – №7-8. – С. 64-71.
2. Долов Т.Р., Шайхулов Р.М. Исследование распределения давления, свободного газосодержания и плотности смеси по длине электроприводного лопастного насоса при работе на газожидкостной смеси. Сравнение результатов численных и физических экспериментов // Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса. – 2022. – №2(128). – С. 24-28.
3. Патент №2647023 РФ. Стенд для испытания газосепараторов погружных нефтяных насосов в условиях повышенного газосодержания / А.В. Трулев, В.В. Леонов. – Заявка №2016136857 от 14.09.2016; опублик. 13.03.2018 .
4. Sharma A. et al. Experimental evaluation of a prototype centrifugal packer-type downhole separator // SPE Artificial Lift Conference and Exhibition-Americas. – OnePetro, 2020.

#### Сведения об авторе:

*Харисов Эмиль Тимурович* – аспирант.



УДК 622.23.05

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ УСТАНОВОК ЭЛЕКТРОПРИВОДНЫХ НАСОСОВ ЗА СЧЕТ ИЗМЕНЕНИЯ КОНСТРУКЦИИ УСТЬЕВОГО ГЕРМЕТИЗАТОРА КАБЕЛЬНОЙ ЛИНИИ

*Копенков Н.О.*

*Российский государственный университет нефти и газа (НИУ)  
имени И.М. Губкина, Москва*

**Ключевые слова:** сероводород, установки электроприводных лопастных насосов, герметизация, пенетратор, фонтанная арматура, давление.

**Аннотация.** В работе предлагается к рассмотрению один из способов повышения эффективности работы электроприводных лопастных насосов. Во время добычи нефти на месторождениях с повышенным содержанием сероводорода (16-25%) и углекислого газа (более 5%) необходимо отказаться от привычной конструкции герметизатора кабельной линии в пользу пенетратора, который способен обеспечивать бесперебойную работу электроприводных лопастных насосов в осложненных условиях при более высоких значениях затрубного давления.

## IMPROVING THE EFFICIENCY OF ELECTRIC DRIVE PUMP INSTALLATIONS BY CHANGING THE DESIGN OF THE WELLHEAD SEALER OF THE CABLE LINE

*Kopenkov N.O.*

*National University of Oil and Gas «Gubkin University», Moscow*

**Keywords:** hydrogen sulfide, installations of electric driven vane pumps, sealing, penetrator, fountain fittings, pressure.

**Abstract.** The article proposes to consider one of the ways to improve the efficiency of electric vane pumps. During oil production in fields with a high content of hydrogen sulfide (16-25%) and carbon dioxide (more than 5%), it is necessary to abandon the usual design of the cable line sealer in favor of a penetrator that is capable of ensuring uninterrupted operation of electric blade pumps in complicated conditions at higher annular pressure values.

Установки электроприводного лопастного насоса (УЭЛН) обеспечивают добычу 75% всей нефти в России (рис. 1).

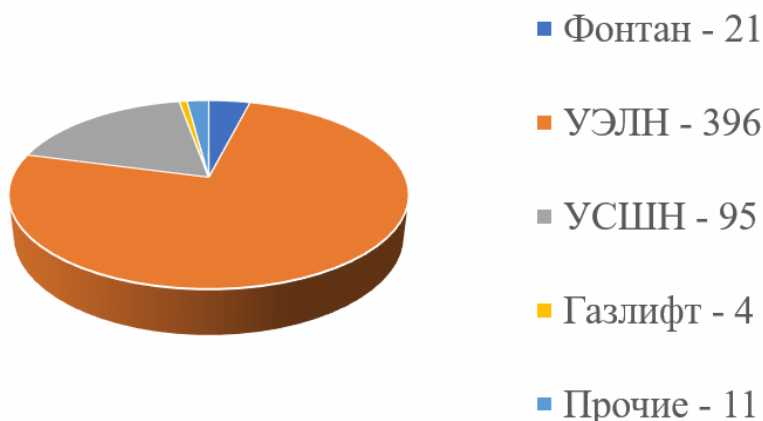


Рис. 1. Распределение добычи нефти (млн. тонн) по способам эксплуатации [1]

На сегодняшний день за герметизацию кабеля на устье при эксплуатации скважин УЭЛН отвечает устройство кабельного ввода (рис. 2). В устройстве кабельного ввода герметизация обеспечивается благодаря сальнику, рассчитанному на давление до 7,0 МПа.

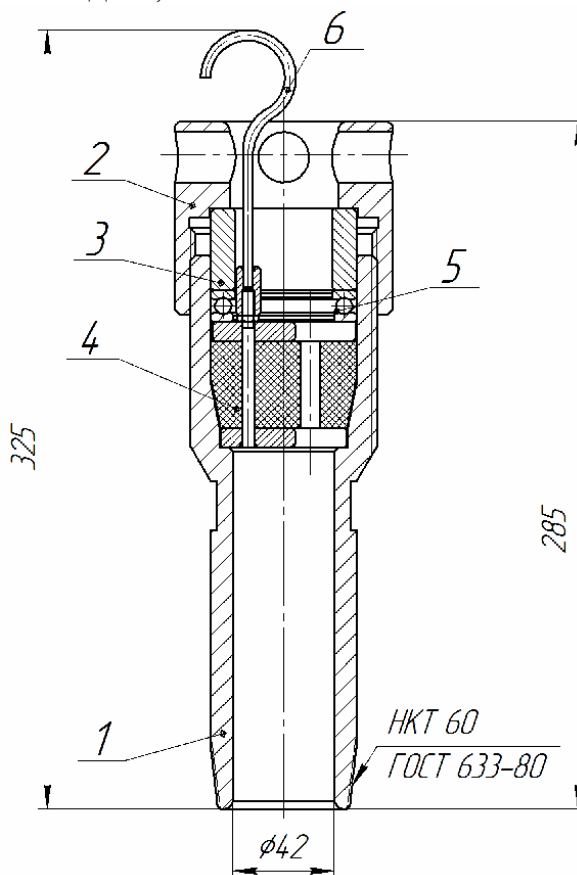


Рис. 2. Ввод кабельный АФК(Э).02.300: 1 – трубка кабельного ввода; 2 – гайка; 3 – сальник кабельного ввода СКВ.210; 4 – прокладка; 5 – подшипник [2]

При более высоких давлениях (14, 21, 35 МПа) конструкция, представленная в герметизаторе кабельного, не способна обеспечить герметизацию кабеля. Также обеспечение герметизации кабеля затрудняется с ростом концентраций сероводорода и углекислого газа в затрубном пространстве.

Основными осложняющими факторами в скважинах с повышенной концентрацией сероводорода и углекислого газа являются:

- солеотложение;
- асфальтосмолопарафиновые отложения;
- сульфидное коррозионное растрескивание под напряжением;
- электрохимическая коррозия с образованием гидроксидов и сульфидов железа;
- влияние сероводорода на электрическую часть;
- влияние газа на работу насоса – деградация напорной характеристики.

Применение пенетратора (рис. 3) в качестве устьевого герметизатора кабельной линии позволит избежать отказов кабеля по причине снижения изоляции в кабельных вводах [3].

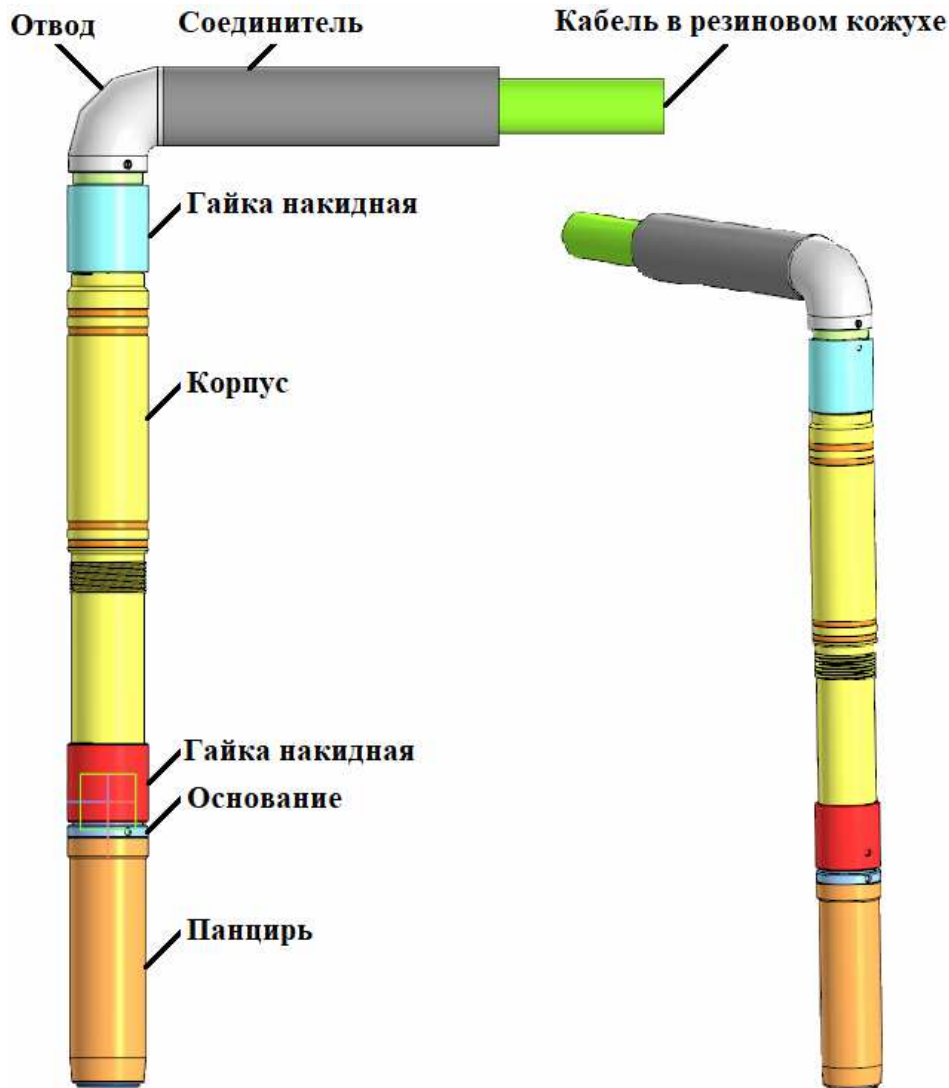


Рис. 3. Трехмерная модель пенетратора

Таким образом, предлагается рассмотреть использование пенетратора в качестве герметизатора кабельной линии на месторождениях с повышенным содержанием сероводорода (16-25%) и углекислого газа (более 5%).

#### Список литературы

1. Ивановский В.Н., Деговцов А.В., Сабиров А.А., Булат А.В., Донской Ю.А., Зуев А.С., Якимов С.Б. Энергопотребление и энергоэффективность добычи нефти. Учебное пособие. – М.: Российский государственный университет нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, 2019. – 256 с.
2. ТЕХНОВЕК – каталог продукции. Оборудование для нефтяной отрасли. – 2016. – С. 19-20.
3. Ивановский В.Н., Сабиров А.А., Кузьмин А.В. Современные инженерные подходы к проектированию оборудования для добычи нефти и газа // Территория «Нефтегаз». – 2014. – №11. – С. 17-20.

#### Сведения об авторе:

Копенков Никита Олегович – аспирант.

УДК 004

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЯМИ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА СОЮЗНОГО ГОСУДАРСТВА РОССИИ И БЕЛОРУССИИ В СЛОЖНЫХ УСЛОВИЯХ КРИТИЧЕСКОГО ХАРАКТЕРА

*Грabcак Е.П.<sup>1</sup>, Логинов Е.Л.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*Объединенный институт высоких температур Российской академии наук;*

<sup>2</sup>*Ситуационно-аналитический центр Минэнерго России, Москва*

**Ключевые слова:** управление, цифровой двойник, искусственный интеллект, Россия, Белоруссия, Союзное государство.

**Аннотация.** Предлагается разработка, апробация, корректировка и наполнение данными «цифрового двойника» для управления предприятиями топливно-энергетического комплекса Союзного государства России и Белоруссии с готовностью работы в условиях с существенной компонентой неопределенности, недостатка или некорректности данных о ситуационной обстановке для планирования, распределения финансовых и материальных ресурсов и поддержания процесса оказания услуг жизнеобеспечения.

## USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE TO MANAGE ENTERPRISES OF THE FUEL AND ENERGY COMPLEX OF THE UNION STATE OF RUSSIA AND BELARUS IN COMPLEX CRITICAL CONDITIONS

*Grabchak E.P.<sup>1</sup>, Loginov E.L.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*Joint Institute for High Temperatures of the Russian Academy of Sciences, Moscow;*

<sup>2</sup>*Situation Analysis Center of the Ministry of Energy of Russia, Moscow*

**Keywords:** management, digital twin, artificial intelligence, Russia, Belarus, Union State.

**Abstract.** It is proposed to develop, test, adjust and fill with data a “digital twin” for the management of enterprises of the fuel and energy complex of the Union State of Russia and Belarus with the readiness to work in conditions with a significant component of uncertainty, lack or incorrectness of data on the situational environment for planning, distribution of financial and material resources and maintaining the process of providing life support services.

Возрастание рисков и угроз возникновения сложных ситуаций критического характера в условиях особого периода, природной или техногенной катастрофы актуализировало проблему поддержания устойчивости работы при выходе из строя организационных структур управления предприятиями топливно-энергетического комплекса Союзного государства России и Белоруссии.

Повреждение центров управления (офисных зданий с сотрудниками и информационными системами и системами связи, центров или узлов технического управления) предприятиями топливно-энергетического комплекса ставит задачу формирования организационно-информационного механизма замещения выбывших управленческих функционалов.

Наиболее важными функциями управления на уровне региона и крупного муниципального образования является планирование, распределение финансовых и материальных ресурсов и поддержание процесса оказания услуг

жизнеобеспечения инфраструктурными организациями [1-2]. Поэтому, необходимо формирование «цифрового двойника» центра управления, желательно, в защищенном помещении, работающего параллельно действующей обычной системе управления региона или города [3].

80% таких управленческих действий на период 1-5 месяцев может быть организовано на основе систем использующих информационно-аналитические возможности опирающиеся на сервисы искусственного интеллекта [4]. Более 90% распределяемых финансовых и материальных ресурсов на этих уровнях управления – величина «условно постоянная», меняющаяся год от года не более чем на 4-7% в меньшую или большую сторону [5].

Использование в рамках «цифрового двойника» нейросети позволяет научить ее на базе накопленных статистических данных формировать плановые цифры (финансирования, запасов, плановых заданий и пр.) с корректировкой на поправочные коэффициенты сложных условий критического характера.

Постоянная верификация модели в автоматическом режиме позволит максимально приблизить эффективность плановой деятельности к реалиям [6].

Сохранение в «цифровом двойнике» в сложных условиях критического характера базы данных за несколько лет с резервным каналом доступа из столиц России и Белоруссии позволяет быстро наладить формирование пакета плановых заданий для предприятий топливно-энергетического комплекса и муниципальных образований (районов и районных центров) региона.

Необходимо:

- формирование компьютерного пула с соответствующим программным обеспечением для размещения «цифрового двойника»;
- разработка, апробация, корректировка и наполнение данными «цифрового двойника» с готовностью работы в условиях с существенной компонентой неопределенности, недостатка или некорректности данных о ситуационной обстановке;
- создание защищенных каналов связи с повышенной живучестью, адаптированных к военным, а также природным и техногенным угрозам и проблемам работы в сложных условиях;
- пробный запуск работы «цифрового двойника» с учениями «выбывание регионального центра управления» и работой в режиме диалога со столицами России и Белоруссии и соседними регионами;
- проведение учений «выбывание регионального центра управления» и работой с районами и районными центрами региона;
- формирование защищенной подсистемы работы «цифрового двойника» и каналов связи во взаимодействии с микро-центрами управления силовых ведомств и инфраструктурных организаций.

#### Список литературы

1. Грабчак Е.П., Епишкин И.И., Логинов Е.Л. Императивы трансформации отраслевого управления, адаптированного к возможным чрезвычайным ситуациям, в условиях современной структуры энергетики и в перспективе // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. – 2023. – № 3. – С. 114-119.

2. Грабчак Е.П., Епишкин И.И., Логинов Е.Л. Развитие информационных технологий при управлении энергетикой с учетом рисков и угроз естественного и искусственного характера // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. – 2023. – № 4. – С. 97-103.
3. Грабчак Е.П., Логинов Е.Л.. Управление научно-техническим развитием энергетики России с использованием сервисов искусственного интеллекта // Проблемы и перспективы развития энергетики, электротехники и энергоэффективности: Материалы VII Международной научно-технической конференции, Чебоксары, 24 ноября 2023 года. – Чебоксары: Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова, 2023. – С. 540-543.
4. Логинов Е.Л., Грабчак Е.П., Епишкин И.И., Деркач А.К. Использование квантовых вычислений с формированием единого расчетного пространства сверхбольших размерностей в сфере поставок топливно-энергетических ресурсов в условиях ситуаций особого периода [Электронный ресурс] // Искусственные общества. – 2024. – Т. 19, № 2. – Режим доступа: <https://artsoc.jes.su/s207751800030510-0-1/>
5. Логинов Е.Л. Формирование в гражданской и оборонной сферах Союзного государства России и Белоруссии цифровой платформы, обеспечивающей реализацию управления решением сложных научно-технических задач // Актуальные проблемы науки и образования в условиях современных вызовов: Сборник материалов XXXII Международной научно-практической конференции, Москва, 15 августа 2024 года. – М.: Академическая среда, 2024. – С. 89-93.
6. Логинов Е.Л., Чиналиев В.У. Формирование интегрированной распределенной системы производства и ресурсообеспечения в гражданской и оборонно-промышленной сферах Союзного государства России и Белоруссии. – М.: Изд. дом «Научная библиотека», 2023. – 288 с.

Сведения об авторах:

*Грабчак Евгений Петрович* – д.т.н., старший научный сотрудник;

*Логинов Евгений Леонидович* – д.э.н., профессор РАН, заслуженный экономист Российской Федерации, начальник экспертно-аналитической службы.

## ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ И АНАЛИЗА ИНЦИДЕНТОВ, СВЯЗАННЫХ С СОСТОЯНИЕМ ГЕНЕРИРУЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ

*Крылов Т.Д., Цецуру Н.А., Раевская Е.А.*

*Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева,  
Кемерово*

**Ключевые слова:** электрическая мощность, генерирующее оборудование, недопоставка мощности, инцидент, оптовый рынок электроэнергии и мощности.

**Аннотация.** Для улучшения контроля и анализа готовности генерирующего оборудования разработан программный комплекс, который позволяет структурировать данные об имеющемся на электростанциях оборудовании, автоматизировать функции регистрации диспетчерских заявок и учёта инцидентов о проведении плановых и аварийных работ. Это способствует повышению оперативности принятия решений при анализе инцидентов, тем самым повышая качество мощности и снижая уровень ее недопоставки.

## SOFTWARE FOR REGISTRATION AND ANALYSIS OF GENERATING EQUIPMENT INCIDENTS

*Krylov T.D., Tsetsuro N.A., Rayevskaya E.A.*

*Kuzbass State Technical University named after T.F. Gorbachev, Kemerovo*

**Keyword:** electric power, generating equipment, power shortage, incident, wholesale electricity and capacity market.

**Abstract.** The software package has been developed in order to improve the control and analysis of the readiness of generating equipment. It will allow structuring data on equipment available at power plants, automating the functions of registering dispatching requests and recording incidents about scheduled and emergency work. This makes it possible to increase the efficiency of decision-making when analyzing incidents, thereby improving the quality of power and reducing the level of its under-supply.

В современном мире энергетические системы имеют большое значение для обеспечения потребностей общества, будь то предприятия, обычные потребители или крупные промышленные комплексы. Торговля мощностью позволяет генерирующим компаниям компенсировать затраты на оборудование. Это ключевой элемент их экономической деятельности, поскольку стоимость электроэнергии не всегда покрывает все издержки [1, 2].

Для того чтобы гарантировать стабильное и надёжное энергоснабжение, необходимо обеспечить бесперебойную работу генерирующего оборудования. Отслеживание показателей готовности оборудования помогает оценить его состояние и аварийность, а также рассчитать неоплату мощности, вызванную ее недопоставкой [3]. Это трудоёмкий процесс, который зачастую на предприятиях электроэнергетики выполняется вручную и может замедлять сбор, анализ и качество данных. Чтобы ускорить процесс принятия решений при оценке и анализе показателей готовности генерирующего оборудования, было решено разработать программный комплекс, который позволит:

- структурировать все имеющиеся объекты генерирующего оборудования в виде иерархического дерева;
- ускорить и упростить работу дежурных, автоматизировать часть функций, таких как: регистрация диспетчерских заявок о состоянии генерирующего оборудования, получаемых с электростанций; регистрация инцидентов на основе диспетчерских заявок;
- автоматизировать учет инцидентов о состоянии генерирующего оборудования и их последующую сверку с данными, публикуемыми АО Системным оператором Единой энергетической системы» (далее СО ЕЭС) в личном кабинете участника ОРЭМ;
- создать единую базу данных для хранения условно-постоянных и почасовых значений показателей готовности генерирующего оборудования, необходимых для контроля качества мощности;
- реализовать возможность автоматизированного сбора предварительных фактических итогов работы на ОРЭМ за отчётный месяц в части выполнения показателей готовности;
- повысить скорость работы с данными, их сохранность, целостность и надёжность системы в целом.

Программный комплекс предназначен для оптимизации работы в части учета имеющего оборудования на электростанциях, регистрации инцидентов, которые могут на них происходить, а также взаимодействия с организациями инфраструктуры, задействованными в процесс контроля за состоянием генерирующего оборудования, такими как СО ЕЭС.

В качестве основы для создания комплекса была выбрана платформа Net 8 (С#). Разработку вели по модели ASP.NET Core MVC. Пользовательский интерфейс содержит 6 разделов (рис. 1).

1. *Таблица по станциям СГК* – предоставляет таблицу со станциями СГК, их характеристиках и параметрах.
2. Добавление и редактирование объектов генерации.
3. Добавление новых объектов.
4. Занесение условно-постоянных характеристик генерирующего оборудования.
5. Работа с почасовыми значениями ГТПГ.
6. Раздел с настройкой прав доступа пользователей.



Рис. 1. Меню пользователя

Процесс, автоматизированный в модуле работы с почасовыми показателями готовности по ГТПГ и фиксации инцидентов, является ключевым и выполняется ежедневно пользователями с ролью «Дежурный». За каждым дежурным в карточке пользователя закреплены конкретные электростанции, по



которым он фиксирует инциденты и отслеживает снижение мощности. Пример оформленного инцидента приведен на рисунке 2.

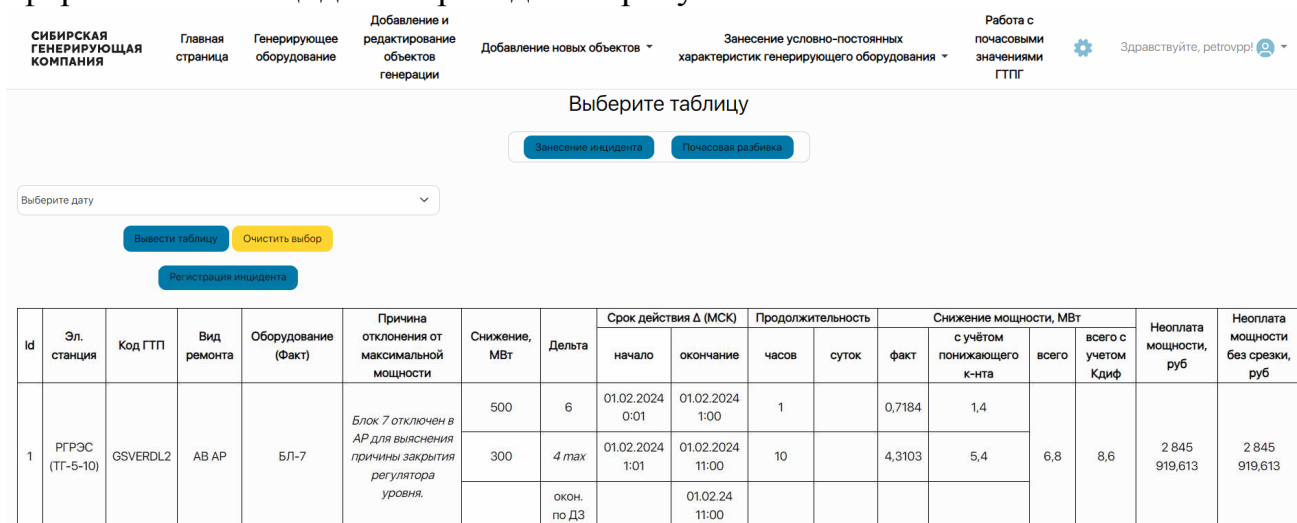


Рис. 2. Модуль «Работа с почасовыми значениями ГТПГ»

При регистрации инцидента создаётся карточка, в которой указывается информация, полученная из диспетчерской заявки об объекте генерации, на котором произошёл инцидент (электростанция, ГТПГ, ЕГО), категории и виде ремонта, ремонтное снижение, время начала и окончания инцидента. После заполнения карточки, инцидент появляется в таблице «Почасовая разбивка».

В комплексе предусмотрена возможность сверки зарегистрированной пользователями информации с данными СО ЕЭС, путем загрузки xml-файла. В случае расхождения данных, соответствующие значения в таблице выделяются цветовой индикацией для дальнейшего анализа (рис. 3).

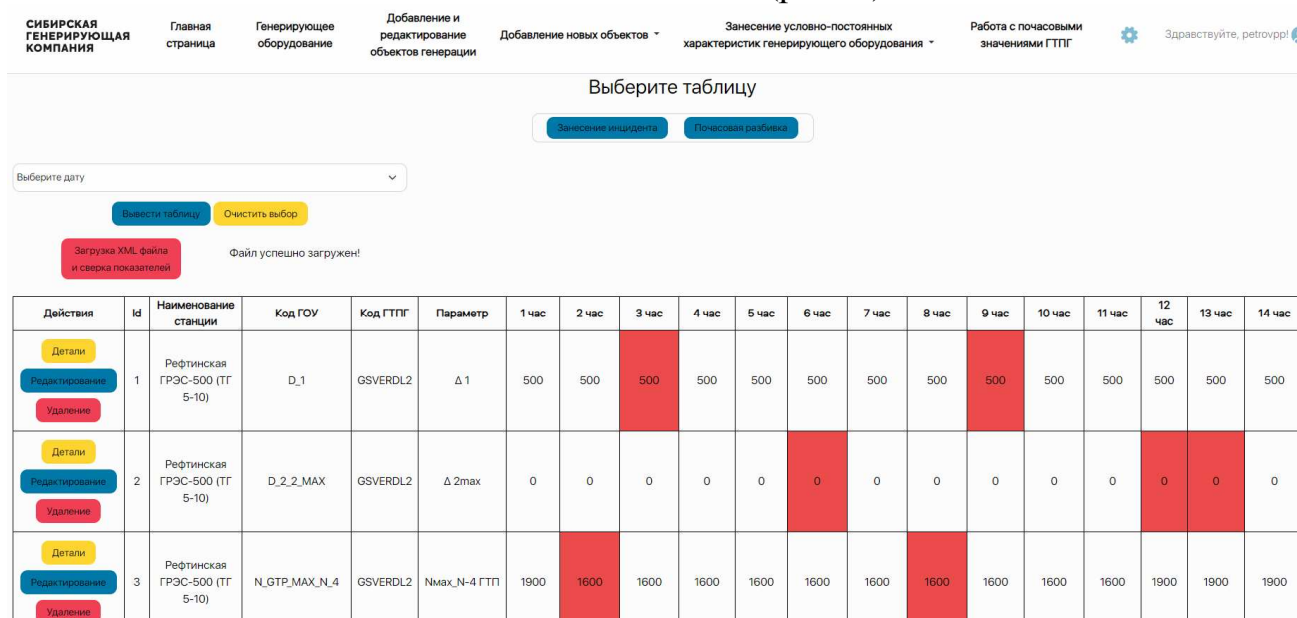


Рис. 3. Сверка почасовых показателей ГТПГ с СО ЕЭС

Комплекс может быть использован на любом предприятии энергосистемы Российской Федерации, работающем на оптовом рынке электроэнергии и мощности, так как деятельность является регламентированной для всех участников рынка. Планируется расширение функционала комплекса путем

добавления возможности формирования отчетности для оперативных дежурных, аналитиков и руководства компании.

### **Список литературы**

1. Об электроэнергетике: Федеральный Закон от 26.03.2003 №35-ФЗ; в ред. от 14.02.2024.
2. Регламент «Определения объемов фактически поставленной на оптовый рынок мощности» от 26.11.2010 с изменениями от 24.01.2024 года / Приложение №13 к Договору о присоединении к торговой системе оптового рынка. – М., 2010. – 88 с.
3. Технические требования к генерирующему оборудованию участников оптового рынка от 01.01.2024 г. – М., 2024. – 261 с.

### Сведения об авторах:

*Крылов Тимофей Дмитриевич* – студент;

*Цецуро Никита Андреевич* – студент;

*Раевская Елена Александровна* – к.т.н., доцент кафедры прикладных информационных технологий.

## К ВОПРОСУ О СОВЕРШЕНСТВОВАНИИ СИСТЕМЫ ПРОВЕДЕНИЯ ВНУТРЕННИХ АУДИТОВ ПО ОХРАНЕ ТРУДА

*Семёнова А.Р.<sup>1</sup>, Климова И.В.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>ООО «ЭнергоСеть (эВ-групп), Санкт-Петербург;

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,  
Санкт-Петербург

**Ключевые слова:** внутренний аудит, уровень аудита, отчет, несоответствие, охрана труда, система управления охраной труда.

**Аннотация.** Внутренний аудит в области охраны труда является одной из процедур, позволяющих оценить эффективность и результативности системы управления охраной труда предприятия или организации. В статье рассмотрены критерии проведения внутреннего аудита, варианты совершенствования самой процедуры аудита и оформления отчета с визуализацией результатов в виде диаграмм и таблиц. Сделаны выводы о необходимой периодичности внутреннего аудита 2 раза в год, что связано с изменениями в законодательстве в области охраны труда, а также необходимости наличия достаточного штата сотрудников.

## ON THE ISSUE OF IMPROVING THE SYSTEM OF INTERNAL AUDITS ON LABOR PROTECTION

*Semenova A.R.<sup>1</sup>, Klimova I.V.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Energoset (eV-group) LLC, Saint-Petersburg;

<sup>2</sup>Peter the Great Saint-Petersburg Polytechnic University, Saint-Petersburg

**Keywords:** internal audit, audit level, report, non-compliance, occupational safety, occupational safety management system.

**Abstract.** Internal audit in the field of occupational safety and health is one of the procedures to assess the effectiveness and efficiency of the occupational safety management system of an enterprise or organization. The article discusses the criteria for conducting an internal audit, options for improving the audit procedure itself and preparing a report with visualization of the results in the form of diagrams and tables. Conclusions are drawn about the necessary frequency of internal audit 2 times a year, which is due to changes in legislation in the field of labor protection, as well as the need for sufficient staff.

Внутренний аудит может послужить хорошей основой как для обнаружения несовершенств системы управления охраной труда (СУОТ) [1], так и для дальнейшего принятия мер по их устранению. Аудит, как процесс поиска соответствий и несоответствий обозначенным критериям, может стать универсальным инструментом в зависимости от преследуемой цели компании в данный момент времени [2, 3].

С помощью внутреннего аудита может быть представлена графическая картина результатов анализа процессов СУОТ, такой пример представлен на рисунке. 1. Принцип построения отчета об аудите, на основании которого будет построена такая диаграмма, показан в таблице 1. Цифрами 1-8 могут быть обозначены результаты анализа общих моментов организации СУОТ, СОУТ,

ОПР, реагирования на НС, микротравмы, профзаболеваний, обеспечение СИЗ и ДСИЗ, организация обучений, и т.д.

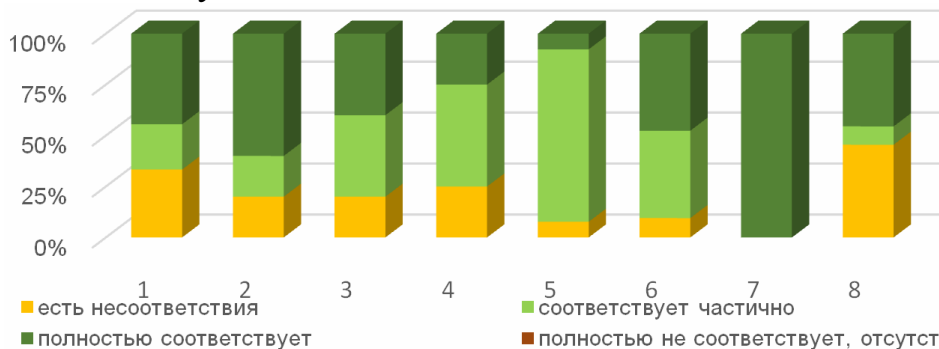


Рис. 1. Диаграмма соответствия требованиям НПА исследуемых процессов СУОТ

Табл. 1. Отчет по результатам анализа процессов СУОТ

№	Документ или мероприятие по охране труда	Результаты аудита	Мероприятия и рекомендации
1. Система управления охраной труда (СУОТ)			
Нормативно-правовые акты:			
1	<b>Создание и функционирование системы управления охраной труда.</b> – Приказ о введении в действие Положения о системе управления охраной труда в организации. – Положение о системе управления охраной труда в организации. – Политика в области охраны труда. – Распределение обязанностей в сфере охраны труда между должностными лицами работодателя. – Процедуры, направленные на достижение целей работодателя в области охраны труда, в том числе процедура информирования работников под подпись с ЛНА. – Планирование мероприятий по реализации процедур. – Контроль функционирования СУОТ и мониторинг реализации процедур. – Планирование улучшений функционирования СУОТ. – Реагирование на аварии, несчастные случаи и профессиональные заболевания. – Управление документами СУОТ. – Участие работников в управлении организацией.	Предоставленные документы: 1. Приказы. 2. Положения и т.д. Установлено: ... 1. Описание мероприятий (документов, процессов) соответствующих частично. 2. Описание мероприятий (документов, процессов), полностью соответствующих требованиям НПА. 3. Описание мероприятий (документов, процессов), имеющих значительные несоответствия. 4. Описание полностью отсутствующих мероприятий (документов, процессов) или полностью несоответствующих требованиям НПА.	Описание мероприятий и рекомендации по устранению несоответствий

Предлагается проводить аудиты на нескольких уровнях управления, начиная со специалистов по охране труда, далее переходя на уровень руководителя отдела или службы и совместно с ним переходить на уровень руководителя проаудированного структурного подразделения.

Рекомендуется начинать проведение внутренних аудитов специалистами 2 раза в год, в феврале и в августе, так как замечена закономерность вступления в силу основополагающих документов по охране труда дважды в год – с 1 сентября и с 1 марта [4]. Также и остальные изменения в законодательстве будут в таком случае захвачены аудитом, так как процесс выявления несоответствий критериям аудита, содействие руководства в процессе внедрения мероприятий по их устранению - процесс небыстрый и будет длиться достаточно долго.

Такая система позволит: снизить нагрузку на персонал, производить аудит регулярнее и чаще; оперативно отслеживать изменения законодательства, вносить изменения в процедуры; ускорит процесс получения информации о

несоответствиях; вовлечь руководителей структурных подразделений в систему внутренних аудитов. Для этого необходимо не только иметь в штате специалистов, соответствующих профессиональному стандарту [5], но и иметь адекватное количество трудовых ресурсов согласно [6].

Таким образом, перед службой охраны труда стоит важная задача сохранения жизни и здоровья работников, обеспечение безопасного труда, но для качественного выполнения этой задачи требуются трудовые ресурсы, грамотно выстроенная система управления охраной труда.

#### **Список литературы**

1. Приказ Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации «Об утверждении Примерного положения о системе управления охраной труда» от 29.10.2021 N 776н [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/727092790>.
2. Сайт «Внутренние и внешние аудиты» [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.trudohrana.ru/article/103076-qqq-16-audit-suot>.
3. Международный стандарт ISO 19011:2018 (перевод А. Горбунов ред. 07.08.2018) [Электронный ресурс]. – URL: [www.pqm-online.com](http://www.pqm-online.com).
4. Сайт «Изменения в охране труда в сентябре и в марте» [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.4dk.ru/content/art/33096-cplus-30-prikazov-po-ohrane-truda-v-2023-godu-20230112>.
5. Приказ Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации «Об утверждении Рекомендаций по структуре службы охраны труда в организации и по численности работников службы охраны труда» от 31.01.2022 N 37 [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/728094912>.
6. Приказ Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации «Об утверждении профессионального стандарта «Специалист в области охраны труда» от 22.04.2021 N 274н [Электронный ресурс]. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/603666664>.

#### Сведения об авторах:

*Семёнова Алёна Романовна* – специалист по охране труда и промышленной безопасности;  
*Климова Ирина Викторовна* – к.т.н., доцент Высшей школы техносферной безопасности.

## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В ОБЛАСТИ УПРАВЛЕНИЯ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЕМ НА ТЯГУ ПОЕЗДОВ

*Давыдов А.И., Долгова А.В.*

*Омский государственный университет путей сообщения, Омск*

**Ключевые слова:** интеллектуальные технологии, база знаний, управленческие решения, энергетическая эффективность, релевантность, эксперт.

**Аннотация.** Специалистами Омского государственного университета путей сообщения предпринята попытка создания концептуальной модели системы поддержки принятия решений в области тяговой энергетики. Основными направлениями исследований является реализация систем анализа и прогнозирования потребления энергоресурсов на тягу поездов на основе методов интеллектуального анализа данных. В данной статье рассмотрены предлагаемые подходы к оценке эффективности эксплуатации разработанной системы.

## EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF AN INTELLIGENT DECISION SUPPORT SYSTEM IN THE FIELD OF ENERGY CONSUMPTION MANAGEMENT FOR TRAIN TRACTION

*Davydov A.I., Dolgova A.V.*

*Omsk State Transport University, Omsk*

**Keywords:** intelligent technologies, knowledge base, management decisions, energy efficiency, relevance, expert.

**Abstract.** Specialists from Omsk State Transport University have attempted to create a conceptual model of a decision support system in the field of traction energy. The main areas of research are the implementation of systems for analyzing and forecasting energy consumption for train traction based on data mining methods. This article discusses the proposed approaches to assessing the operating efficiency of the developed system.

В ОАО «РЖД» построена четкая система энергетического менеджмента, одной из функций которой является своевременная генерация решений для поиска путей повышения энергетической эффективности. В связи с тем, что энергетика перевозочного процесса является специфической в сравнении со стационарными объектами, особенно важна оперативность решений и управляющих воздействий. Для обеспечения этого специалистами Омского государственного университета путей сообщения ведется разработка основных принципов функционирования системы поддержки принятия решений в области энергоменеджмента перевозочного процесса [1].

Система энергоменеджмента на железных дорогах является многоуровневой, в связи с этим и внедрение интеллектуальной системы будет происходить в несколько этапов. Методическая структура внедрения создаваемой системы приведена на рисунке 1.

Одним из важнейших этапов при внедрении системы поддержки принятия решений в области анализа и прогнозирования ТЭР на тягу поездов является оценка эффективности ее работы на каждом уровне [2]. При этом период времени

между каждым этапом может быть не менее одного года, т.к. нормативными документами ОАО «РЖД» установлены временные периоды – месяц, квартал, полугодие и года, – для указанных процессов, имеющих важное значение при реализации программ повышения энергетической эффективности.



Рис. 1. Методическая структура внедрения СППР

Оценка эффективности выполняется по следующим показателям.

1. Экономическая эффективность непосредственного внедрения разработанной системы включает в себя определение освободившихся кадровых единиц. При оценке на этом этапе важно учесть стоимость разработки и сопровождения интеллектуальной системы, возможные затраты на покупку серверного оборудования и обучение специалистов.

2. Оценка оперативности (временной эффективности) системы – то есть средняя разница между выявлением слабых мест и принятием решения специалистом соответствующего уровня и предложением вариантов решений интеллектуальной системой. Данный показатель напрямую зависит от компетентности специалистов теплотехнического профиля, как оценивающих, так и тех с чьим результатом будет выполняться сравнение, а также какие инструменты будут использоваться этими специалистами. Предлагается следующая формула:

$$\Delta T_0 = \frac{\sum t_i^u}{N} - \frac{\sum t_i^{cnp}}{K}, \quad (1)$$

где  $t_i^u$  – время, затраченное специалистом (человеком) на выработку управленческого решения с момента начала решения задачи до генерации управляющего воздействия, с учетом необходимых аналитических расчетов, выполненных с применением информационных технологий;  $N$  – количество специалистов, участвующих в эксперименте;  $t_i^{cnp}$  – время, затраченное системой поддержки принятия решений на выработку вариантов управляющих воздействий с учетом интерактивных консультаций с пользователем;  $K$  – количество аналогичных ситуаций, решенных интеллектуальной системой.

3. Оценка релевантности принятых решений совместно с оценкой качества интеллектуальной части системы [3]. Является наиболее важным и сложным этапом исследования эффективности системы. Определяется насколько решения, принятые системой, соответствуют реальности. Это напрямую зависит от наполнения и актуальности базы знаний СППР. Поэтому необходимо использовать два показателя:

– определенность продукций (правил):

$$CRT = \frac{N_{\Psi}}{N_0}, \quad (2)$$

где  $N_{\Psi}$  – количество ситуаций, при которых выполнялись конкретные правила;  $N_0$  – общее количество ситуаций, когда выполнялись antecedенты правил, включая ситуации, когда не выполнялись консеквенты правил.

– коэффициент охвата продукционной базы:

$$CVT = \frac{N_{\Psi}}{N_{\Psi n}}, \quad (3)$$

где  $N_{\Psi n}$  – общее количество правил в базе знаний.

4. Экспертная оценка функционала СППР по специально созданной анкете, включающей в себя вопросы по реализованным методам повышения энергетической эффективности перевозок.

**Финансирование.** Исследование выполнено в рамках государственного задания № 109-03-2024-004 от 10.01.2024.

#### Список литературы

1. Давыдов А.И., Подгорная С.О., Соколов М.М. Интеллектуальный анализ больших данных в энергетике тяги поездов // BIG DATA и анализ высокого уровня: сборник научных статей X Международной научно-практической конференции в двух частях, Минск, 13 марта 2024 года. – Минск: Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, 2024. – С. 421-426.
2. Железко Б.А., Морозевич А.Н. Информационно-аналитические системы поддержки принятия решений. – Минск: НИУ, 1999. – 140 с.
3. Таржманова Р.Ш., Новоселов А.С., Грошева П.Ю. Исследование теории и практики внедрения цифровых технологий в высокотехнологичных организациях в условиях перехода к цифровой экономике // Экономика и управление: проблемы, решения. – 2019. – Т. 2(95), № 11. – С. 24-33.

#### Сведения об авторах:

*Давыдов Алексей Игоревич* – к.т.н., доцент, доцент кафедры «Информационная безопасность»;  
*Долгова Анна Владимировна* – к.т.н., доцент, заведующий кафедрой «Информатика и компьютерная графика».



## ИННОВАЦИОННЫЕ УГОЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

*Мурко В.И.<sup>1</sup>, Баранова М.П.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*Сибирский государственный индустриальный университет, Новокузнецк;*  
<sup>2</sup>*Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск*

**Ключевые слова:** инновационные угольные технологии, отходы углеобогащения, водоугольное топливо, масляная грануляция.

**Аннотация.** Представлены технологические направления в области углеобогащения и переработки угля, связанные с экологически безопасными способами утилизации тонкодисперсных угольных шламов с использованием технологий водоугольного топлива и окускования (брикетирования), дообогащения методом масляной грануляции, ожижение угля путем экстремальных механохимических и электрофизических воздействий на водоугольную суспензию. Описаны результаты по разработке и созданию локальных энергоисточников путем использования газификации бурых и низкометаморфизированных каменных углей.

## INNOVATIVE COAL TECHNOLOGIES

*Murko V.I.<sup>1</sup>, Baranova M.P.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*Siberian State Industrial University, Novokuznetsk;*  
<sup>2</sup>*Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk*

**Keywords:** innovative coal technologies, coal enrichment waste, coal-water fuel, oil granulation.

**Abstract.** The article presents the main technological directions developed in the field of coal beneficiation and coal processing related to environmentally friendly methods of utilization of fine coal sludge using coal-water fuel technologies and agglomeration (briquetting), additional enrichment, oil granulation method, as well as a fundamentally new one - coal oxidation using extreme mechanomechanical and electrophysical effects on coal-water suspension chemistry. The article describes the results of development and creation of local energy sources using gasification of brown and low-metamorphosed hard coals. The possibility of utilization of environmentally friendly ash and slag waste and rock dumps of enrichment plants is shown.

Защита окружающей среды от загрязнений промышленными предприятиями, рациональная и безопасная добыча, транспортировка и потребление ископаемых топлив очень важны, ведь от них зависят здоровье граждан, численность населения, а также эффективность экономической деятельности региона. Особое внимание уделено развитию технологий, способствующих росту угледобычи, повышению эффективности переработки угля и снижению негативного воздействия угольной отрасли на окружающую среду. Далее представлены основные научные и практические результаты разработки и внедрения по направлениям.

*Утилизация тонкодисперсных угольных шлаков.* Для решения проблемы накопления токсичных тонких угольных шламов на обогатительных фабриках предложена технология приготовления и сжигания водоугольного топлива (ВУТ), полученного на основе тонкодисперсных отходов углеобогащения. В таблице 1 представлены Технические характеристика топлива, полученного из фильтр-кеков ВУТ ОФ АО УК «Кузбассразрезуголь».

Табл. 1. Технические характеристика топлива из фильтр-кеков ОФ

Наименование показателя	Технологические комплексы				
	ОФ «Кедровская»	ОФ «Коксовая- Бачатская»	ОФ «Краснобродская- Коксовая»	ОФ «Энергетическая»	
Массовая доля твердой фазы, %	58,3	58,5	57,8	57,7	58,3
Низшая теплота сгорания, МДж/кг	12,6	14,5	13,4	14,5	14,7
Энергоемкость приготовления, кВт·ч/т	15,0	15,0	15,0	не более 10,0	15,0
Себестоимость приготовления/ в т.ч. стоимость добавки, руб./т	450/150	450/150	450/150	не более 400/150	450/150

Данные таблицы показывают возможность использования отходов углеобогащения в виде топлива с высокой эффективностью сжигания с уровнем вредных выбросов существенно ниже допустимых значений [1]. По результатам выполненных работ было разработано предварительное ТЭО создания котельного модуля на ВУТ производительностью 7,56МВт (6,5Гкал/ч), собственной миниТЭЦ мощностью 6 и 12МВт и строительства альтернативной котельной на ВУТ взамен угля мощностью 11,223МВт (9,65Гкал/ч). АО УК «Кузбассразрезуголь» предусматривает внедрение данной технологии при строительстве новых объектов по обогащению угля.

*Брикетирование угольных шламов без использования связующих веществ.* Разработана технологическая схема брикетирования угольных шламов без связующих веществ отличительной особенностью которой является возврат в голову процесса части высушенных брикетов. Таким образом, обеспечивается требуемая влажность исходной шихты для получения качественных брикетов. Кроме того, была разработана технологическая линия безопасной термической сушки брикетов, изготовленных из угольных шламов с высоким выходом летучих веществ [2].

*Углемастная грануляция.* Экспериментами была подтверждена возможность обогащения тонких угольных шламов методом масляной грануляции с получением малозольного (порядка 10 %) гранулята (при исходной зольности шламов 30 % и более). Предварительные исследования показали возможность получения из масляного гранулята топливных брикетов, обладающих необходимой механической прочностью для их дальнейшего транспортирования и использования потребителем. Процесс брикетирования позволяет снизить влажность получаемого масляного гранулята в 2–3 раза, что позволяет отказаться от процесса обезвоживания брикетов. Показано, что добавка до 8 % масляного агента к углю изменяет коксуюемость в лучшую сторону, увеличивая механическую прочность и снижая выход коксовой мелочи [3].

*Газификация кускового угля марок.* Для решения проблемы использования низкосортных и малокалорийных углей предложена технология переработки угля в местах его добычи с использованием процесса газификации добываемого

полезного ископаемого и получением конкурентно способных продуктов с высокой добавленной стоимостью, в том числе: углеводородного газа, жидких смолистых веществ, полукокса [4].

*Ожигание угля путем экстремальных механохимических воздействий на водоугольную суспензию.* Были проведены эксперименты по обработке образцов ВУТ разрядами сериями по 10 и 20 минут при частоте следования импульсов 2-3 импульса в секунду и расходе ВУС 0,2 м<sup>3</sup>/ч. Полученные результаты показали, что при обработке ВУС ЭИ способом выделены монооксид углерода и водород в соотношении около 1:1, что соответствует синтез-газу. Отмечено также снижение содержания органической массы угля после обработки. Полученные результаты позволяют осуществить наиболее полный перевод органической массы ВУС в газожидкую фазу [5].

**Финансирование.** Работа выполнена за счёт гранта РНФ (проект 23-29-00728).

#### Список литературы

1. Мурко В.И., Федяев В.И., Карпенко В.И., Шаньшин А.Е., Мухтаров А.Т. О возможности использования тонкодисперсных отходов углеобогащения ОФ «Энергетическая» в качестве основы для котельного топлива // Журнал Сибирского федерального университета. Техника и технологии. – 2020. – №6. – С. 667-669.
2. Мурко В.И., Заостровский А.Н., Аникин А.Е., Темлянцева Е.Н. Получение и использование углемаляного гранулята // Кокс и химия. – 2022. – №10. – С. 45-50. – DOI: 10.52351/00232815\_2022\_10\_45.
3. Filippov S.P., Keiko A.V. Coal Gasification: At the Crossroad // Technological Factors. 2021, vol. 68, pp. 209-220. doi.org/10.1134/S0040601521030046.
4. Вишняк В.В., Карпенко В.И., Мурко В.И. Обоснование создания локальных тепловых источников на основе угольных газогенераторов непрерывного действия // Енисейская теплофизика. Тезисы докладов I Всероссийской научной конференции с международным участием. – Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2023. – С. 29-31.
5. Мурко В.И., Баранова М.П., Папченков А.И. Разработка и обоснование инновационного технологического комплекса по добыче и переработке угля // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2023. – №12. – С. 16-28. – DOI: 10.25018/0236\_1493\_2023\_12\_0\_16.

#### Сведения об авторах:

*Мурко Василий Иванович* – д.т.н., профессор;

*Баранова Марина Петровна* – д.т.н., доцент, заведующий кафедрой.

Научное периодическое издание

# **Модернизация и инновационное развитие топливно-энергетического комплекса**

**Материалы международной  
научно-практической конференции**

№7

Верстка и корректура: ИП Жукова Е.В.

Формат издания 60x84 1/16. Усл. печ. л. 3,49.

Подписано в печать 27.09.2024г. Заказ №24-18.

Электронная версия доступна на сайте: <http://srcms.ru/miirtek.html>

<https://doi.org/10.26160/2618-8953-2024-7>

*Учредитель, издатель и распространитель:* Жукова Елена Валерьевна  
(ИП Жукова Е.В., ИНН 422802805198, ОГРНИП 318420500009778,  
г.Санкт-Петербург).

*Ответственный редактор:* Жуков Иван Алексеевич.

*Редакция:* Научно-исследовательский центр «МашиноСтроение»,  
197372, г. Санкт-Петербург, пр. Комендантский, д. 28, корп. 2, оф. 117.

<http://srcms.ru>

E-mail: [spbf@srcms.ru](mailto:spbf@srcms.ru)