

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Российский государственный университет нефти и газа  
(национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина  
Филиал в г. Оренбурге



# **СОВРЕМЕННОЕ РАЗВИТИЕ НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ РОССИИ: ВЫЗОВЫ, ПРОБЛЕМЫ, РЕШЕНИЯ**

Сборник материалов международной  
научно-практической конференции

г. Оренбург, 26 сентября 2025 года

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Российский государственный университет нефти и газа  
(национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина  
Филиал в г. Оренбурге

# **СОВРЕМЕННОЕ РАЗВИТИЕ НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ РОССИИ: ВЫЗОВЫ, ПРОБЛЕМЫ, РЕШЕНИЯ**

Сборник материалов международной  
научно-практической конференции

г. Оренбург, 26 сентября 2025 года

Электронное текстовое издание

Санкт-Петербург  
Наукоемкие технологии  
2026

© Филиал РГУ нефти и газа (НИУ)  
имени И. М. Губкина в г. Оренбурге, 2026  
ISBN 978-5-00271-088-1

УДК 665.6/.7(082)

ББК 35.514я43

C56

Редакционная коллегия:  
О. К. Четвериков, Н. В. Семыкина

Отв. за выпуск: Л. И. Соколова

- C56 Современное развитие нефтегазовой отрасли России: вызовы, проблемы, решения [Электронный ресурс]: сборник материалов международной научно-практической конференции; г. Оренбург, 26 сентября 2025 года / под общ. ред. О. К. Четверикова. – СПб.: Наукоемкие технологии, 2026. – 220 с. – URL: <https://publishing.intelgr.com/archive/Sovremennoe-razvitie-neftegazovoi-otrasli-Rossii.pdf>.

ISBN 978-5-00271-088-1

Сборник подготовлен по материалам работы международной научно-практической конференции, состоявшейся в рамках прошедшей XVIII специализированной выставки-форума «Газ. Нефть. Оренбуржье» в сентябре 2025 года. Наряду с актуальными вопросами нефтегазового производства рассматриваются проблемы образования.

УДК 665.6/.7(082)  
ББК 35.514я43

ISBN 978-5-00271-088-1

© Филиал РГУ нефти и газа (НИУ)  
имени И. М. Губкина в г. Оренбурге, 2026

Научное издание

**Современное развитие нефтегазовой отрасли России:  
вызовы, проблемы, решения**

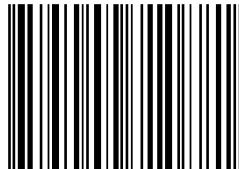
Сборник материалов международной  
научно-практической конференции

Электронное текстовое издание

Подписано к использованию 16.02.2026.  
Объем издания – 6,6 Мб.

Издательство «Наукоемкие технологии»  
ООО «Корпорация «Интел Групп»  
<https://publishing.intelgr.com>  
E-mail: [publishing@intelgr.com](mailto:publishing@intelgr.com)  
Тел.: +7 (812) 945-50-63  
Интернет-магазин издательства  
<https://shop.intelgr.com/>

ISBN 978-5-00271-088-1



9 785002 710881 >

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>А.И. Акимов, Н.Г. Марченкова, А.С. Колбинцева</b>	
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОЛИМЕРИЗАЦИИ НА ТРЕТЬЕМ ЭТАПЕ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КОМПОЗИТОВ В УСТАНОВКАХ ШОЛЬЦА ДЛЯ НЕФТЕХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ.....	8
<b>А.И. Акимов, Н.Г. Марченкова, А.С. Колбинцева</b>	
РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ НА ПОЯВЛЕНИЯ ДЕФОРМАЦИИ НА ОТРЕЗКЕ ОСТЫВАНИЯ ИЗДЕЛИЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ФОРМЫ ИЗ КОМПОЗИТОВ ПОСЛЕ ОТКЛЮЧЕНИЯ СИСТЕМЫ ОТ ВНЕШНЕГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ...	15
<b>А.И. Акимов, Н.Г. Марченкова, А.С. Колбинцева</b>	
ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАДАЧИ НЕСТАЦИОНАРНОЙ ТЕПЛОМАССОПРОВОДНОСТИ ПОЛОГО ЦИЛИНДРА ИЗ КОМПОЗИТА, В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЯЮЩИХСЯ АГРЕГАТНЫХ СОСТОЯНИЙ .....	21
<b>А.И. Акимов, Марченкова, А.С. Колбинцева</b>	
ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОМАССОПЕРЕДАЧИ В ИЗГОТОВЛЕНИИ МНОГОСЛОЙНЫХ ИЗДЕЛИЯХ ИЗ КОМПОЗИТНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ РАЗРАБОТКЕ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ОПЕРЕЖАЮЩЕГО РАЗВИТИЯ В УСЛОВИЯХ ИМПОРОТОЗАМЕЩЕНИЯ .....	27
<b>А.И. Акимов, Н.Г. Марченкова, А.С. Колбинцева</b>	
ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОЛИМЕРИЗАЦИИ НА ТРЕТЬЕМ ЭТАПЕ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ИЗДЕЛИЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ФОРМЫ ИЗ КОМПОЗИТОВ ПОСЛЕ ОТКЛЮЧЕНИЯ ВНЕШНИХ ФАКТОРОВ В УСТАНОВКИ ШОЛЬЦА .....	33
<b>А.И. Акимов, Н.Г. Марченкова, А.С. Колбинцева</b>	
НАХОЖДЕНИЕ ЗНАЧЕНИЙ КОНВЕКТИВНЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ ТЕПЛООТДАЧИ, ВХОДЯЩИХ В ГРАНИЧНЫЕ УСЛОВИЯ ТРЕТЬЕГО РОДА ЗАДАЧИ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ НА ОСНОВЕ ИХ ОБРАТНЫХ ЗАДАЧ .....	39
<b>М.А. Батаева, Е.О. Вавилова</b>	
ЯЗЫКОВЫЕ БАРЬЕРЫ В НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ: КАК АНГЛИЙСКИЙ ЯЗЫК ПОМОГАЕТ ИХ ПРЕОДОЛЕТЬ.....	44
<b>А.В. Богданова, Л.И. Шакирова, О.В. Бузова</b>	
ВОДОПОДГОТОВКА НА НЕФТЕПРОМЫСЛАХ.....	47
<b>Л.И. Шакирова, Е.П. Родькина, А.А. Федосеев, Ю.А. Полич, Л.И. Мухамедьярова</b>	
ПОЛИМЕРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ В АНТИКОРРОЗИОННОЙ ЗАЩИТЕ ТРУБОПРОВОДОВ НЕФТЕПРОМЫСЛОВ .....	52
<b>В.О. Богомолова, Т.А. Курякова</b>	
ХИМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СОДЕРЖАНИЯ ЛИТИЯ И СТРОНЦИЯ В ПЛАСТОВЫХ ВОДАХ ОНГКМ .....	56
<b>А.Д. Быкова, Л.И. Мухамедьярова</b>	
ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА НА НЕФТЕГАЗОВУЮ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ОРЕНБУРГСКОЙ ОБЛАСТИ.....	60

<b>М.А. Ванчинова, Е.А. Афанасьева, О.В. Салихова, А.С. Колбинцева</b>	
ОЦЕНКА УРОВНЯ ГЕОМЕТРО-ГРАФИЧЕСКИХ ЗНАНИЙ У СТУДЕНТОВ	
НАПРАВЛЕНИЯ «НЕФТЕГАЗОВОЕ ДЕЛО» .....	64
<b>И.Н. Ващук</b>	
ВОЗМОЖНОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИИ КИБЕРБЕЗОПАСНОСТИ	
В ЭПОХУ IoT .....	68
<b>Ю.Л. Власов, А.К. Афанасьева</b>	
ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕМАТИЧЕСКИХ ЗАВИСИМОСТЕЙ ПЛОСКОГО ТЕЛА .....	72
<b>Ю.А. Галактионова</b>	
НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ РЕШЕНИЯ КАДРОВЫХ ПРОБЛЕМ В НЕФТЕГАЗОВОЙ	
ОТРАСЛИ (НА ПРИМЕРЕ ОРЕНБУРГСКОЙ ОБЛАСТИ) .....	78
<b>Ю.А. Галактионова, Ю.Л. Власов</b>	
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАКОНА ДВИЖЕНИЯ ВЕДОМОГО ЗВЕНА	
ПЛОСКОГО МЕХАНИЗМА.....	84
<b>И.В. Галинская, С.Г. Безрядин</b>	
СОВРЕМЕННЫЕ БЕНЗИНЫ: ПЕРЕХОД НА ЭТИЛ-ТРЕТ-БУТИЛОВЫЙ ЭФИР	
ВМЕСТО МЕТИЛ-ТРЕТ-БУТИЛОВОГО ЭФИРА .....	87
<b>И.В. Галинская, Л.И. Мухамедьярова</b>	
ПРЯМОЕ ГЕТЕРОГЕННО-КАТАЛИТИЧЕСКОЕ ОКИСЛЕНИЕ ПОПУТНЫХ НЕФТЬЯНЫХ	
ГАЗОВ .....	93
<b>А.Ш. Гафаров, О.В. Лукиных, А.А. Галин</b>	
ИНТЕГРАЦИЯ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ	
В ПРОЦЕССЫ ОПТИМИЗАЦИИ РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ .....	98
<b>П.С. Горшкова, Т.А. Курякова</b>	
ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ПРИ ХРАНЕНИИ НЕФТЕПРОДУКТОВ .....	102
<b>А.Р. Гумаров, Э.Г. Халитова</b>	
ПРИМЕНЕНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ АППАРАТОВ В НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ.....	106
<b>В.П. Гурбенко, А.В. Дудко</b>	
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В СИСТЕМАХ	
АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА .....	109
<b>Р.С. Даньшин, С.Н. Дроздов, М.А. Ванчинова</b>	
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ УСТРАНЕНИЯ ОСЛОЖНЕНИЙ	
В ПРОЦЕССЕ БУРЕНИЯ.....	112
<b>А.П. Даньшина</b>	
ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ ВАРИОГРАММ ПРИ СТОХАСТИЧЕСКОМ	
МОДЕЛИРОВАНИИ ДЛЯ КОРРЕКТНОГО УЧЕТА ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ	
НЕОДНОРОДНОСТИ .....	116
<b>Ж.Н. Жаханшаева, Н.Е. Айкенова</b>	
ОПРЕДЕЛЕНИЕ КАЧЕСТВА БЕНЗИНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИИ .....	122

<b>И.А. Захарченко, Ю.Л. Власов</b>	
ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕМАТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПЛОСКОГО МЕХАНИЗМА ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ДВИЖЕНИЯ .....	125
<b>А.Н. Идеятова, Н.Е. Айкенова</b>	
РАЗРАБОТКА АДСОРБЦИОННОГО ФИЛЬТРА ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ОТ НЕФТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОТХОДОВ ПРОМЫШЛЕННОСТИ .....	129
<b>А.Е. Кенесба, Н.Е. Айкенова</b>	
АНАЛИЗ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА НЕФТИ С ПОМОЩЬЮ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА .....	133
<b>А.А. Ковальчук, Э.Г. Халитова</b>	
ОСНОВЫ ТЕЛЕМЕТРИИ В БУРЕНИИ НЕФТЯНЫХ И ГАЗОВЫХ СКВАЖИН: КАК ОНА РАБОТАЕТ И ЗАЧЕМ НУЖНА.....	136
<b>Э.И. Кужина, Э.Г. Халитова</b>	
АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ КАРОТАЖА LOGGING WHILE DRILLING .....	139
<b>Т.А. Курякова, Е.А. Селина, И.А. Хананно</b>	
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ НА ПЕНООБРАЗОВАНИЕ И НЕФТЕСОБИРАЮЩУЮ СПОСОБНОСТЬ .....	142
<b>В.В. Макаров, Ю.Л. Власов</b>	
ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕМАТИКИ КРИВОШИПНО-КУЛИСНОГО МЕХАНИЗМА.....	146
<b>В.В. Макаров, Э.Г. Халитова</b>	
АНАЛИЗ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТОРФОЩЕЛОЧНОГО РАСТВОРА В СРАВНЕНИИ С ГЛИНИСТЫМ ПРИ БУРЕНИИ ПОРОД, СКЛОНЫХ К ОСЫПЯМ И ОБВАЛАМ .....	151
<b>С.Е. Максатов, О.В. Салихова</b>	
ПРОБЛЕМА ПРИМЕНЕНИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ГУМАНИТАРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ .....	155
<b>Л.А. Образцова, Е.С. Погодина, Н.В. Семыкина</b>	
ИЗУЧЕНИЕ ОТЛОЖЕНИЙ, ОБРАЗОВАВШИХСЯ В ТЕПЛООБМЕННИКЕ УСТАНОВКИ СЖИЖЕНИЯ ГАЗА .....	160
<b>Е.А. Одноконная, А.В. Дудко</b>	
РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ВЫБОРА СХЕМЫ РЕЗЕРВИРОВАНИЯ ДЛЯ АСУ ТП ОБЪЕКТОВ НЕФТЕГАЗОПЕРЕРАБОТКИ .....	164
<b>Е.П. Родькина, Т.А. Курякова</b>	
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КАЧЕСТВА ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ.....	169
<b>Е.П. Родькина, Т.А. Курякова</b>	
СТАБИЛИЗАЦИЯ И УСТОЙЧИВОСТЬ ПЕН В НЕФТЕГАЗОВЫХ СИСТЕМАХ.....	172
<b>О.В. Салихова, Е.А. Афанасьева, М.А. Ванчинова, А.С. Колбинцева</b>	
ОРЕНБУРГСКАЯ ОБЛАСТЬ В СВЕТЕ МАСШТАБНЫХ ГОСУДАРСТВЕННЫХ ПРОЕКТОВ И ОТКРЫТИЙ: ИСТОРИЯ И ПОВСЕДНЕВНОСТЬ (НА ПРИМЕРЕ	

ОСВОЕНИЯ ЦЕЛИННЫХ И ЗАЛЕЖНЫХ ЗЕМЕЛЬ И ОСВОЕНИЯ ОРЕНБУРГСКОГО ГАЗОКОНДЕНСАТНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ) .....	174
<b>С.Ю. Соловых, В.А. Федотов</b>	
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ МЕХАНИЗМА ПОДАЧИ ВАЛКОВОГО ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЯ.....	181
<b>С.Ю. Соловых, С.В. Антимонов</b>	
К ВОПРОСУ О ВЫБОРЕ РАЦИОНАЛЬНОГО СПОСОБА ПЕРЕРАБОТКИ РЕЗИНОСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ.....	185
<b>А.С. Тришкин, Э.Г. Халитова</b>	
ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ И ЛИКВИДАЦИЯ МЕЖКОЛОННЫХ ДАВЛЕНИЙ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ СКВАЖИН .....	188
<b>А.Д. Чибизова, Э.И. Кужина, Ю.Л. Власов</b>	
КИНЕМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ КРИВОШИПНО-КОРОМЫСЛОВОГО МЕХАНИЗМА НАСОСНОЙ СТАНЦИИ .....	191
<b>А.Д. Чибизова, А.С. Королев</b>	
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНГИБИТОРОВ ГИДРАТООБРАЗОВАНИЯ НА ПРИМЕРЕ ОРЕНБУРГСКОГО НГКМ.....	195
<b>А.Д. Чибизова, Э.Г. Халитова</b>	
ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ ДВУХСТУПЕНЧАТОГО ЦЕМЕНТИРОВАНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ КОЛОННЫ НА ПРИМЕРЕ СКВАЖИНЫ № 222 ЖИЛИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ .....	199
<b>Д.Н. Щепинов, А.А. Дмитриева, А.А. Назарова</b>	
ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАБОТОСПОСОБНОГО СОСТОЯНИЯ ТРУБОПРОВОДОВ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ .....	203
<b>В.П. Щукин, А.В. Дудко</b>	
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПНЕВМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ С ИСКРОБЕЗОПАСНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМУ УПРАВЛЕНИЯ .....	209
<b>Д.С. Юхно, А.А. Ермак</b>	
ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ СОРБЕНТА, ПОЛУЧЕННОГО ИЗ НЕФТЯНОГО КОКСА И ОТХОДОВ ПОЛИЭТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТА .....	213

УДК 519.87

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОЛИМЕРИЗАЦИИ  
НА ТРЕТЬЕМ ЭТАПЕ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КОМПОЗИТОВ В УСТАНОВКАХ  
ШОЛЬЦА ДЛЯ НЕФТЕХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

**A.I. Акимов**

д.т.н., доцент, akimoff11@mail.ru

**Н.Г. Марченкова**

к.п.н., доцент, nata\_nata1973@mail.ru

**А.С. Колбинцева**, к.п.н., доцент, kas\_anny@list.ru

Филиал РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина в г. Оренбурге, Оренбург

**Аннотация:** В данной работе составлена математическая модель процесса полимеризации на третьем этапе изготовления композитов в установках Шольца для нефтехимической промышленности. Представлен численный и аналитический метод решения задачи массообмена на этапе нагрева производства композитов в установках Шольца, описывающих работу на первом этапе полимеризации для изготовления многослойных композитов, рассматриваются результаты изучения теплопередачи в многослойных изделиях на первом этапе производства композитов. Многослойные композиты изготавливаются в установках Шольца методом полимеризации. При полимеризации выделяется тепло фазового перехода. Поэтому при разработке системы управления производством композитов приходится учитывать различные факторы. Из общей модели составим частные модели, соответствующие каждому интервалу полимеризации композитов, и решим их численными методами.

**Ключевые слова:** метод изотермических поверхностей, численные методы, аналитические методы, композиты, установка Шольца, процесс полимеризации, термоупругие напряжения и деформация.

**MATHEMATICAL MODELING OF THE POLYMERIZATION PROCESS  
AT THE THIRD STAGE OF COMPOSITE MANUFACTURING  
IN SCHOLZ UNITS FOR THE PETROCHEMICAL INDUSTRY**

**A.I. Akimov**

Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor, akimoff11@mail.ru

Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, evsei86@mail.ru

**N.G. Marchenkova**

Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, nata\_nata1973@mail.ru

**A.S. Kolbintseva**

Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, kas\_anny@list.ru

Orenburg Branch for Gubkin Russian State University of Oil and Gas (RSU), Orenburg

**Abstract:** This paper develops a mathematical model of the polymerization process in the third stage of composite production in Scholz units for the petrochemical industry. A numerical and analytical method for solving the mass transfer problem during the heating stage of composite production in Scholz units is presented. This method describes the work in the first stage of polymerization for

*the manufacture of multilayer composites. The results of a study of heat transfer in multilayer products during the first stage of composite production are discussed. Multilayer composites are produced in Scholz units by polymerization. Polymerization generates phase transition heat. Therefore, when developing a composite production control system, various factors must be taken into account. From the general model, we compile specific models corresponding to each composite polymerization interval and solve them using numerical methods.*

**Keywords:** *isothermal surface method, numerical methods, analytical methods, composites, Scholz setup, polymerization process, thermoelastic stresses and deformation.*

В данной работе составлена математическая модель процесса полимеризации на третьем этапе изготовления композитов в установках Шольца для нефтехимической промышленности. Представлен численный и аналитический метод решения задачи массообмена на первом этапе производства композитов в установках Шольца, описывающих работу на первом этапе полимеризации для изготовления многослойных композиционных материалов, рассматриваются результаты изучения теплопередачи в многослойных изделиях на первом этапе производства композиционных материалов. Многослойные композиты изготавливаются в установках Шольца методом полимеризации. При полимеризации выделяется тепло фазового перехода. Поэтому при разработке системы управления производством композитов приходится учитывать различные факторы. Из общей модели составим частные модели, соответствующие каждому интервалу полимеризации композитов, и решим их численными методами.

Составим математическую модель проблемы «теплообмена и массообмена».

$$\begin{aligned} \frac{\partial U_k(r_k, \tau)}{\partial \tau} &= a_{gk}^2 \left( \frac{\partial^2 U_k(r_k, \tau)}{\partial r_k^2} + \frac{1}{r_k} \cdot \frac{\partial U_k(r_k, \tau)}{\partial r_k} \right) + \sigma \frac{c_{mk}}{c_{gk}} \frac{d_k}{1-d_k} \frac{\partial m_k(r_k, \tau)}{\partial \tau} + W_k(r_k, \tau), \\ \frac{\partial m_k(r_k, \tau)}{\partial \tau} &= a_{mk}^2 (1-d_k) \left( \frac{\partial^2 m_k(r_k, \tau)}{\partial r_k^2} + \frac{1}{r_k} \cdot \frac{\partial m_k(r_k, \tau)}{\partial r_k} \right), \quad (k = 1, 2, \dots, N). \end{aligned} \quad (1)$$

НУ:

$$U_k(r_k, 0) = f(r_k), \quad m_k(r_k, 0) = m_0, \quad k = 1, 2, \dots, N, \quad (2)$$

ГУ:

$$U_N(R_N, \tau) = g(\tau), \quad m_N(R_N, \tau) = h(\tau) \text{ и } \frac{\partial U_1(R_0, \tau)}{\partial r} = 0, \quad \frac{\partial m_1(R_0, \tau)}{\partial r} = 0. \quad (3)$$

$$U_k(R_k, \tau) = U_{k+1}(R_k, \tau), \quad \lambda_{gk} \frac{\partial U_k(R_k, \tau)}{\partial r} = \lambda_{g(k+1)} \frac{\partial U_{k+1}(R_k, \tau)}{\partial r}, \quad (4)$$

$$m_k(R_k, \tau) = m_{k+1}(R_k, \tau), \quad \lambda_{mk} \frac{\partial m_k(R_k, \tau)}{\partial r} = \lambda_{m(k+1)} \frac{\partial m_{k+1}(R_k, \tau)}{\partial r}, \quad (5)$$

при  $W_k(r_k, \tau) = \frac{q_y(r_k, \tau)}{C \cdot g};$

В фазе нагрева – (1) решается  $d_k = 0$ .

В фазе стабилизации температуры – (1) решается  $d_k \neq 0$ .

В фазе остывания – (1) решается  $d = 0$  и  $W_k(r_k, \tau) = 0$ .

Используем «численные методы».

$$\frac{\partial U_j}{\partial \tau} = a_{gj}^2 \frac{1}{r_j} \frac{\partial}{\partial r_j} \left( r_j \frac{\partial U_j}{\partial r_j} \right) + W_j; \quad (6)$$

$$\frac{\partial m_j}{\partial \tau} = a_{mj}^2 \frac{1}{r_j} \frac{\partial}{\partial r_j} \left( r_j \frac{\partial m_j}{\partial r_j} \right). \quad (7)$$

НУ:

$$U_j(r_j, 0) = \phi_j(r_j), \quad j = 1, 2, \dots, N, \quad (8)$$

$$m_j(r_j, 0) = g_j(r_j), \quad (9)$$

ГУ:

$$\frac{\partial U_1(R_0, \tau)}{\partial r_1} = 0, U_N(R_N, \tau) = g(r), \quad (10)$$

$$\frac{\partial m_1(R_0, \tau)}{\partial r_1} = 0, m_N(R_N, \tau) = h(r), \quad (11)$$

ГУС:

$$U_j(R_j, r) = U_{j+1}(R_j, r), \lambda_{gj} \frac{\partial U_j(R_j, \tau)}{\partial r_j} = \lambda_{g(j+1)} \frac{\partial U_j(R_j, \tau)}{\partial r_j}, \quad (12)$$

$$m_j(R_j, r) = m_{j+1}(R_j, r), \lambda_{mj} \frac{\partial m_j(R_j, \tau)}{\partial r_j} = \lambda_{m(j+1)} \frac{\partial m_{j+1}(R_j, \tau)}{\partial r_j}. \quad (13)$$

Применим для исследования трехточечное уравнение:

$$A_i U_{i-1}^{k+1} - C_i U_i^{k+1} + B_i U_{i+1}^{k+1} = -F_i. \quad (14)$$

$$A_i = \frac{a^2 r_i - 0.5 \Delta \tau}{h^2 r_i}, B_i = \frac{a^2 r_i + 0.5 \Delta \tau}{h^2 r_i^2}, \quad (15)$$

$$C_i = A_i + B_i + 1, F_i = U_i^k + \Delta \tau \cdot W_i^k,$$

$$U_i^0 = \phi(r_i).$$

Используем метод прогонки «прогонки».

Уравнение (10) исследуется аналогично.

Исследуем по радиальной схеме уравнения вида [2].

$$\frac{1}{c} \cdot \frac{\partial m_k(r, \tau)}{\partial \tau} = \frac{\partial^2 m_k(r, \tau)}{\partial \tau^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial m_k(r, \tau)}{\partial r} + h_k(r, \tau); \quad (16)$$

$\tau > 0, R_{k-1} > r > R_k$  при  $k = 1, 2, \dots, j, \dots n$ ;

$R_0(r, \tau) > r > \xi(\tau) - 1$  (зона жидкой среды),

$\xi(\tau) > r > R_{n+1}(r, \tau) - 2$  (зона твердой среды),

$$m_k(r, 0) = m_0; \quad (17)$$

ГУ:

$$m_k(R_n, \tau) - \frac{\chi_n}{\beta_n} \cdot \frac{\partial m_n(R_n, \tau)}{\partial r} = 0; \quad (18)$$

$$m_{k-1}(R_{k-1}, \tau) = m_k(R_{k-1}, \tau) = Q_{k-1}(\tau); \quad (19)$$

$$m_1(R_0, \tau) - \frac{\chi_1}{\beta_1} \cdot \frac{\partial m_n(R_n, \tau)}{\partial r} = 0; \quad (20)$$

$$m_1[\xi(\tau), \tau] = m_{11}[\xi(\tau), \tau] = m_{kp}; \quad (21)$$

$$m_{11}[\alpha \xi(\tau), \tau] = m_0; \quad (22)$$

$$\chi_{k-1} \cdot \frac{\partial m_{k-1}(R_{k-1}, \tau)}{\partial r} = \chi_k \cdot \frac{\partial m_k(R_{k-1}, \tau)}{\partial r}; \quad (23)$$

$$R_k(r, \tau) \neq \xi(\tau); \\ \chi_I \cdot \frac{\partial m_I[\xi(\tau), \tau]}{\partial r} - \chi_{II} \cdot \frac{\partial m_{II}[\xi(\tau), \tau]}{\partial r} = q, \quad (24)$$

Используем метод «метод изотермических поверхностей», для чего заменим истинное распределение массы  $m_i(r)$  внутри каждой области  $[R_k(r, \tau), \xi(\tau)]$  и  $[\xi(\tau), \alpha \xi(\tau)]$  при фиксированных положениях границы  $\xi_i(\tau) \equiv \xi(\tau_j)$  нестационарным распределением массы  $m_j(r, \tau), \tau \rightarrow \tau_j = \tau(\xi_j)$ .

$$R_{j-1}(r, \tau) > \xi_j(\tau)r > R_j(r, \tau), \text{ при } 1 \leq j \leq n, [3]$$

$$\begin{aligned} \theta_n(r, \tau_j) &= Q_{n-1}(\tau_j) + [Q_n(\tau_j) - Q_{n-1}(\tau_j)] \cdot \frac{r - R_{n-1}}{R_n - R_{n-1}}; \\ \theta_1(r, \tau_j) &= Q_0(\tau_j) + [Q_1(\tau_j) - Q_0(\tau_j)] \cdot \frac{r - R_0}{R_1 - R_0}, \end{aligned} \quad (25)$$

представим данные уравнений (16)–(24) в следующей форме [4]

$$m_k(r, \tau_j) = P_k(r, \tau_j) + \theta(r, \tau_j), \quad (26)$$

В результате эти задачи можно привести к следующей форме [4]:

$$\frac{1}{c_k} \cdot \frac{\partial P_k(r, \tau_j)}{\partial \tau} = \frac{\partial^2 P_k(r, \tau_j)}{\partial \tau^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial P_k(r, \tau_j)}{\partial r} + \omega_k(r, \tau_j); \quad (27)$$

НУ:

$$P_k(r, 0) = m_k(r, 0) + \theta(r, 0), \quad (28)$$

Исследуем «задачу массообмена»:

$$\frac{\partial m_k(r_k, \tau)}{\partial r} = a_{mk}^2 (1 - d_k) \left( \frac{\partial^2 m_k(r_k, \tau)}{\partial r_k^2} + \frac{1}{r_k} \frac{\partial m_k(r_k, \tau)}{\partial r_k} \right), \quad (29)$$

$$R_{k-1} \leq r_k \leq R_k, \quad \tau > 0, \quad k = 1, 2, \dots, N;$$

НУ:

$$m_k(r_k, 0) = g_k(r_k); \quad (30)$$

ГУ «3 рода»:

$$\lambda_{mN} \frac{\partial^2 m_N(R_N, \tau)}{\partial r_N} + a_{mN} [m_N(R_N, \tau) - m_{cN}] = 0; \quad (31)$$

$$\lambda_{m1} \frac{\partial^2 m_N(R_1, \tau)}{\partial r_1} + a_{m1} [m_1(R_0, \tau) - m_{c1}] = 0; \quad (32)$$

ГУ «4 рода»

$$m_k(R_k, \tau) = m_{k+1}(R_k, \tau); \quad (33)$$

$$\lambda_{mk} \frac{\partial m_k(R_k, \tau)}{\partial r_k} = \lambda_{m(k+1)} \frac{\partial m_{k+1}(R_k, \tau)}{\partial r_{k+1}} \quad (34)$$

УП:

$$m_I[\xi(\tau), \tau] = m_{II}[\xi(\tau), \tau] = m_{kp}; \quad (35)$$

$$m_{II}[\xi(\tau), r] = m_0; \quad (36)$$

$$\lambda_I \frac{\partial m_I[\xi(\tau), \tau]}{\partial r} - \lambda \frac{\partial m_{II}[\xi(\tau), \tau]}{\partial r} = g. \quad (37)$$

Применяя «метод изотермических поверхностей», получено решение в виде

$$m_k(r_k, \tau) = C_{mk} + D_{mk} \ln(r_k) + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{M\left(\frac{\mu_{mn}}{C_{mk}} r_k\right)}{\sum_{k=1}^N \|M_k\|^2} \sum_{k=1}^N \frac{\lambda_{mk}}{C_{mk}^2} \int_{R_{k+1}}^{R_k} r_k [g_k(r_k) - \psi_{mk}(r_k)] \times \\ \times M\left(\frac{\mu_{mn}}{C_{mk}} r_k\right) dr_k e^{-\left(\frac{\mu_{mn}^2}{C_{mk}^2} \tau\right)}, \quad (38)$$

при  $C_{mk} = a_{mk}^2 (1 - d_k)$ ,

Используя данные уравнения (38) можно исследовать и найти решение уравнения (39).

$$\frac{\partial U_k(r_k, \tau)}{\partial \tau} = a_{gk}^2 \left( \frac{\partial^2 U_k(r_k, \tau)}{\partial r_k^2} + \frac{1}{r_k} \frac{\partial U_k(r_k, \tau)}{\partial r_k} \right) + \sigma \frac{c_{mk}}{c_{dk}} \frac{d_k}{1-d_k} \frac{\partial m_k(r_k, \tau)}{\partial \tau} + W_k(r_k, \tau), \quad (39)$$

$$R_{k-1} \leq r_k \leq R_k, \quad \tau > 0, \quad k = 1, 2, \dots, N;$$

НУ:

$$U_k(r_k, 0) = \phi_k(r_k), \quad (40)$$

ГУ:

$$\lambda_{gN} \frac{\partial U_N(R_N, \tau)}{\partial r_N} + a_{gN} [U_N(R_N, \tau) - U_{cN}] = 0; \quad (41)$$

$$\lambda_{g1} \frac{\partial U_1(R_0, \tau)}{\partial r_1} + a_{g1} [U_1(R_0, \tau) - U_{c1}] = 0; \quad (42)$$

УС:

$$U_k(R_k, \tau) = U_{k+1}(R_k, \tau); \lambda_{gk} \frac{\partial U_k(R_k, \tau)}{\partial r_k} = \lambda_{g(k+1)} \frac{\partial U_{k+1}(R_k, \tau)}{\partial r_{k+1}}. \quad (43)$$

Математическое моделирование процесса полимеризации на третьем этапе изготовления композитов в установках Шольца для нефтехимической промышленности показывает, все условия сопряжения будут выполняться, при строгом соблюдении технологического процесса. Это главный залог получения промышленной продукции без брака.

### Библиографический список

1. Акимов А.И. Решения задачи массообмена на втором этапе полимеризации производства композиционных материалов в установках автоматического ведения технологического процесса аналитическим методом / А.И. Акимов, В.Н. Елисеев // Инженерная физика. – 2022. – № 6. – С. 3–6.
2. Акимов А.И. Исследования теплопередачи в многослойных цилиндрических изделиях в установках Шольца на этапе нагрева композиционных материалов / А.И. Акимов, В.Н. Елисеев // Инженерная физика. – 2022. – № 8. – С. 31–34.
3. Акимов А.И. Исследование теплопередачи при изготовлении композитов в установках автоматического ведения технологических процессов на всех этапах производства / А.И. Акимов, В.Н. Елисеев // Прикладная физика и математика. – 2022. – № 4. – С. 10–13.
4. Акимов А.И., Козлов В.Н., Фатыхов М.А. Зависимость механических свойств композиционных материалов от температурного режима полимеризации // Инженерная физика. – 2009. – № 9. – С. 19–24.

УДК 519.87

**РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ НА ПОЯВЛЕНИЯ ДЕФОРМАЦИИ  
НА ОТРЕЗКЕ ОСТЫВАНИЯ ИЗДЕЛИЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ФОРМЫ  
ИЗ КОМПОЗИТОВ ПОСЛЕ ОТКЛЮЧЕНИЯ СИСТЕМЫ  
ОТ ВНЕШНЕГО ВОЗДЕЙСТВИЯ**

*A.I. Akimov*

д.т.н., доцент, akimoff11@mail.ru

*N.G. Marchenkova*

к.п.н., доцент, nata\_nata1973@mail.ru

*A.S. Kolbinseva*

к.п.н., доцент, kas\_anny@list.ru

Филиал РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина в г. Оренбурге, Оренбург

**Аннотация:** В данной работе проведено решение задачи полимеризации на появления деформации на отрезке остывания изделия цилиндрической формы из композитов после отключения системы от внешнего воздействия. Задачу рассмотрим в цилиндрической системе координат, где ось  $x$  совпадает с осью цилиндра, а начало координат лежит на плоскости одного из торцов. Учитывая, что остывание цилиндрического изделия происходит в радиальном направлении, то для упрощения задачи можно исключить переменную  $\varphi$ , т.к. температура по направлению  $\varphi$  будет везде одинакова.

**Ключевые слова:** композиты, установка автоматического ведения технологического процесса (установка Шольца), процесс полимеризация, цилиндрическая система координат, радиальное направление, функция Бесселя, функция Фурье, уравнения Лапласа, цилиндрические функции.

**SOLUTION TO THE PROBLEM OF POLYMERIZATION  
ON THE APPEARANCE OF DEFORMATION IN THE COOLING SECTION  
OF A CYLINDRICAL PRODUCT MADE OF COMPOSITES  
AFTER DISCONNECTING THE SYSTEM FROM EXTERNAL INFLUENCE**

*A.I. Akimov*

Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor, akimoff11@mail.ru  
Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, evsei86@mail.ru

*A.S. Kolbinseva*

Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, kas\_anny@list.ru

*N.G. Marchenkova*

Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, nata\_nata1973@mail.ru  
Orenburg Branch for Gubkin Russian State University of Oil and Gas (RSU), Orenburg

**Abstract:** This paper addresses the polymerization problem of deformation during the cooling phase of a cylindrical composite part after the system is disconnected from external influences. The problem is considered in a cylindrical coordinate system, where the  $x$ -axis coincides with the cylinder axis, and the coordinate origin lies on the plane of one of the ends. Given that the cylindrical part

*cools radially, the variable  $\varphi$  can be eliminated to simplify the problem, as the temperature in the  $\varphi$  direction will be the same throughout. Consider the problem in a cylindrical coordinate system, where the  $x$ -axis coincides with the axis of the cylinder, and the origin of the coordinates lies on the plane of one of the ends. Considering that the cooling of the cylindrical product occurs in the radial direction, to simplify the task, the variable  $\varphi$  can be excluded, since the temperature in the direction  $\varphi$  will be the same everywhere.*

**Keywords:** composites, automatic process control system (Scholz system), polymerization process, cylindrical coordinate system, radial direction, Bessel function, Fourier function, Laplace equations, cylindrical functions.

Исследуем решение задачи полимеризации на появления деформации на отрезке остывания изделия цилиндрической формы из композитов после отключения системы от внешнего воздействия

Для исследования рассмотрим следующее уравнение:

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial u}{\partial r} \right) + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} = 0, \quad (1)$$

Предположим, что  $R(r, z) = R(r) \cdot Z(z)$

$$\frac{1}{r} \frac{d}{dr} (r R') + v^2 R = 0, z'' - v^2 z = 0 \quad (2)$$

$v$  – величина постоянная.

Решая уравнение, получим: [1]

$$R(r) = A X_0(vr) + B Y_0(vr), Z(z) = C \cdot c x v z + D s y v z; \quad (3)$$

$X_0(vr)$  и  $Y_0(vr)$  – функции «Бесселя».

Исследуя уравнения, придем к уравнениям «Лапласа».

$$U_n = y_0 \left( x_n \frac{r}{R_0} \right) \cdot \left[ M_n c y \frac{x_n z}{R_0} + N_n s y \frac{x_n z}{R_0} \right], n = 1, 2 \dots \quad (4)$$

Подставляя ГУ и  $U_c(0, \tau)$  и  $U_c(\ell, \tau)$  в сходящийся ряд «Фурье – Бесселя», получим [2].

$$U(r, z) = \sum_{n=1}^{\infty} [U_c(0, \tau)]_n \cdot \frac{s y \left( \frac{\ell - z}{R_0} \cdot x_n \right)}{s x \left( x_n \frac{\ell}{R_0} \right)} + [U_c(\ell, \tau)]_n \cdot \frac{s y \left( x_n \frac{z}{R_0} \right)}{s x \left( x_n \frac{\ell}{R_0} \right)} \cdot U_0 \left( x_n \frac{\ell}{R_0} \right) \quad (5)$$

$$(U_c)_n = \frac{2}{R_0^2 J_1^2(x_n)} \cdot \int_0^{R_0} r f(r) n_0 \left( x_n \frac{r}{R_0} \right) dr.$$

При  $C = 0 v_n = \frac{n\pi i}{\ell}$  ( $n = 1, 2, \dots$ ).

Исследуя уравнение (1), получим [3].

$$R(r) = AK_0 \left( \frac{n\pi}{\ell} r \right) + BK_0 \left( \frac{n\pi}{\ell} r \right); Z(z) = D \sin \left( \frac{n\pi z}{\ell} \right), \quad (6)$$

$r_0(x)$  и  $K_0(x)$  – функции в цилиндрической системе координат.

Принимая во внимание, что  $K_0 \left( \frac{n\pi}{\ell} r \right) \rightarrow \infty$  при  $r \rightarrow 0$ , то  $B = 0$ .

$$U_n = M_n r_0 \left( \frac{n\pi}{\ell} r \right) \sin \left( \frac{n\pi}{\ell} z \right); n = 1, 2, \dots \quad (7)$$

Решение получим в виде ряда.

$$U = \sum_{n=1}^{\infty} K_n \frac{r_0 \left( \frac{n\pi}{\ell} z \right)}{y \left( \frac{n\pi}{\ell} R_0 \right)} \sin \left( \frac{n\pi}{\ell} z \right), \quad (8)$$

$K_n$  – коэффициенты «Фурье».

$$K_n = \frac{2}{\ell} \int_0^{\ell} U_c(z, \tau) \sin \left( \frac{n\pi}{\ell} z \right) dz.$$

Исследуя, получим решение в виде: [4]

$$U = \sum_{n=1}^{\infty} \left\{ [U_c(0, \tau)]_n \cdot \frac{sr \left( \frac{\ell - z}{R_0} \cdot x_n \right)}{sz \left( x_n \frac{\ell}{R_0} \right)} + [U_c(\ell, \tau)]_n \cdot \frac{sr \left( x_n \frac{z}{R_0} \right)}{sz \left( x_n \frac{\ell}{R_0} \right)} \right\} \\ U_0 \left( \frac{x_n}{R_0} r \right) + \sum_{n=1}^{\infty} K_n \frac{r_0 \left( \frac{n\pi}{\ell} z \right)}{z_0 \left( \frac{n\pi}{\ell} R_0 \right)} \quad (9)$$

Поэтому математическая модель остывания имеет вид

$$\frac{\partial U(r, \tau)}{\partial r} = a^2 \left( \frac{\partial^2 U(r, \tau)}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial U(r, \tau)}{\partial r} \right), R_0 \leq r \leq R, \tau > 0 \quad (10)$$

НУ:

$$U(r, 0) = \phi(r)$$

и ГУ:

$$U(R_0, \tau) = U_1 = \text{const};$$

$$U(R, \tau) = U_1 = \text{const};$$

Исследуем уравнение:

$$U(r, \tau) = v(r, \tau) + \psi(r) \text{ или } v(r, \tau) = U(r, \tau) - \psi(r) \quad (11)$$

$\psi(r)$  – решение диф. ур-я.

$$\frac{d^2\psi}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{d\psi}{dr} = 0 \quad (12)$$

НУ:

$$\psi(R_0) = U_1, \quad \psi(R) = U_2.$$

Используем преобразования «Ханкеля».

$$\begin{aligned} v(r, \tau) &= \frac{\pi^2}{2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\eta_n^2 J_0(\mu_n, R) V_0(\eta_n, r)}{J_0^2(\mu_n, R_0) - J_0^2(\mu_n, R)} \times \\ &\times e^{-a\mu_n^2 \tau} \left\{ \int_{R_0}^R r f(r) V_0(\eta_n, r) dr - \int_{R_0}^R r \psi(r) V_0(\mu_n, R) dr \right\} dr \end{aligned} \quad (13)$$

$U(r, \tau) = v(r, \tau) + \psi(r)$  исследуя это уравнение, получим:

$$\begin{aligned} U(r, \tau) &= \frac{1}{\ln \frac{R}{R_0}} \left[ U_1 \ln \frac{R}{r} + U_2 \ln \frac{r}{R_0} \right] + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{V_0(k_n, r) e^{ak_n \tau}}{I_0^2(\mu_n R_0) - I_0^2(\eta_n R)} \times \\ &\times \left\{ \frac{\pi^2}{2} \mu_n^2 I_0^2(\mu_n R) \int_{R_0}^R r f(r) V_0(\mu_n r) dr - \pi I_0(\mu_n r) \cdot [U_2 I_0(\mu_n R_0) - U_1 I_0(\mu_n R)] \right\} \end{aligned} \quad (14)$$

$\mu_n$  – получим из уравнения:

$$I_0(\mu R) Y_0(\mu R_0) - I_0(\mu R_0) Y_0(\mu R) = 0. \quad (15)$$

$$V_0(\mu_n r) = I_0(\mu_n r) Y_0(\mu_n R_0) - I_0(\mu_n R_0) Y_0(\mu_n r) \quad (16)$$

Окружная и радиальная «термоапряжения» имеет вид:

$$\overline{\sigma_\varphi} = \frac{\sigma_\varphi(1-v)}{\beta E(U_0 - U_c)} \text{ и } \overline{\sigma_r} = \frac{U(\xi, F_0) \cdot U_c}{U_0 - U_c}, \quad (17)$$

Деформацию исследуем по формулам:

$$\overline{\varepsilon_r} = \frac{1}{E} \left[ (1-v^2) \overline{\sigma_r} - (1+v)v \overline{\sigma_\varphi} \right] + (1+v)\beta \cdot U(\xi, F_0); \quad (18)$$

$$\overline{\varepsilon_\varphi} = \frac{1}{E} \left[ (1-v^2) \overline{\sigma_\varphi} - (1+v)v \overline{\sigma_r} \right] + (1+v)\beta \cdot U(\xi, F_0), \quad (19)$$

$U(\xi, F_0)$  определим из уравнения вида (20).

$$U_k(r_k, \tau) = C_{gk} + D_{gk} \ln(r_k) + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{M \left( \frac{\mu_{gn}}{a_{gk}} r_k \right)}{\|M_k\|^2} + \\ + \left\{ \left[ \sum_{k=1}^N \frac{\lambda_{gk}}{a_{gk}^2} \int_{R_{k-1}}^{R_k} r_k [f_k(r_k) - C_{gk} - D_{gk} \ln(r_k)] M \left( \frac{\mu_{gn}}{a_{gk}} r_k \right) dr_k + \int_{R_{k-1}}^{R_k} A(\mu_{gn}, \tau) \cdot e^{\mu_{gn}^2 \tau} d\tau \right] e^{-\mu_{gn}^2 \tau} \right\}, \quad (20)$$

При

$$A_k(r_k, \tau) = \sigma \frac{C_{mk}}{C_{gk}} \frac{d_k}{1-d_k} \frac{\partial m_k(r_k, \tau)}{\partial \tau}.$$

Изображение по «Ханкеля» будет вычисляться по формуле:

$$\overline{A_k(\mu_{gn}, \tau)} = \sigma \frac{C_{mk}}{C_{dk}} \cdot \frac{d_k}{1-d_k} \cdot \sum_{k=1}^N \frac{\lambda_{gk}}{a_{gk}^2} \cdot \int_{R_{k-1}}^{R_k} r_k A_k(r_k, \tau) M \left( \frac{\mu_{gn}}{a_{dk}} r_k \right) dr_k; \quad (21)$$

Переходя от «изображения» к «оригиналу», получим:

$$A_k(r_k, \tau) = -\sigma \cdot \frac{c_{mk}}{c_{gk}} \cdot \frac{d_k}{1-d_k} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\mu_{mn}^2}{c_{mn}} \cdot M \left( \frac{\mu_{mn}}{c_{mk}} r_k \right) \times \\ \times \sum_{k=1}^N \frac{\lambda_{mk}}{c_{mk}^2} \int_{R_{k-1}}^{R_k} r_k [q_k(r_k) - \psi_{mk}(r_k)] \cdot M \left( \frac{\mu_{mn}}{c_{mk}} r_k \right) dr_k \cdot e^{-\mu_{mn}^2 \tau}. \quad (22)$$

### **Библиографический список**

1. Акимов А.И. Решения задачи массообмена на втором этапе полимеризации производства композиционных материалов в установках автоматического ведения технологического процесса аналитическим методом / А.И. Акимов, В.Н. Елисеев // Инженерная физика. – 2022. – № 6. – С. 3–6.
2. Акимов А.И. Исследования теплопередачи в многослойных цилиндрических изделиях в установках Шольца на этапе нагрева композиционных материалов / А.И. Акимов, В.Н. Елисеев // Инженерная физика. – 2022. – № 8. – С. 31–34.
3. Акимов А.И., Козлов В.Н., Фатыхов М.А. Зависимость механических свойств композиционных материалов от температурного режима полимеризации // Инженерная физика. – 2009. – № 9. – С. 19–24.
4. Акимов А.И. Исследование теплопередачи при изготовлении композитов в установках автоматического ведения технологических процессов на всех этапах производства / А.И. Акимов, В.Н. Елисеев // Прикладная физика и математика. – 2022. – № 4. – С. 10–13.

УДК 519.87

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАДАЧИ НЕСТАЦИОНАРНОЙ  
ТЕПЛОМАССОПРОВОДНОСТИ ПОЛОГО ЦИЛИНДРА ИЗ КОМПОЗИТА,  
В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЯЮЩИХСЯ АГРЕГАТНЫХ СОСТОЯНИЙ**

*A.I. Akimov*

д.т.н., доцент, akimoff11@mail.ru

*N.G. Marchenkova*

к.п.н., доцент, nata\_nata1973@mail.ru

*A.C. Kolbinцева*

к.п.н., доцент, kas\_anny@list.ru

Филиал РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина в г. Оренбурге, Оренбург

**Аннотация:** В данной работе анализируются результаты исследования температурного поля и тепломассопередачи в полом цилиндрическом композите в условиях изменяющейся температуры в установках Шольца. Исследования производятся на всех этапах полимеризации. Для решения поставленной задачи используются преобразования Ханкеля.

**Ключевые слова:** полый цилиндр из композита, тепломассопередача, преобразования Ханкеля, коэффициент тепломассопроводности композита, конвективные параметры, температуропроводность композита, синтез решения дифференциального уравнения второго порядка в частных производных, дифференциальное уравнение второго вида в частных производных.

**STUDY OF THE PROBLEM OF NON-STATIONARY HEAT AND MASS  
CONDUCTIVITY OF A HOLLOW CYLINDER MADE OF COMPOSITE, UNDER  
CONDITIONS OF CHANGING STATES OF AGGREGATE**

*A.I. Akimov*

Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor, akimoff11@mail.ru  
Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, evsei86@mail.ru

*A.S. Kolbintseva*

Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, kas\_anny@list.ru

*N.G. Marchenkova*

Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, nata\_nata1973@mail.ru  
Orenburg Branch for Gubkin Russian State University of Oil and Gas (RSU), Orenburg

**Abstract:** This paper analyzes the results of the study of the temperature field and heat and mass transfer in a hollow cylindrical composite under conditions of changing temperature in Scholz installations. The studies are carried out at all stages of polymerization. Hankel transformations are used to solve the problem.

**Keywords:** hollow cylinder made of composite, heat and mass transfer, Hankel transformations, heat and mass conductivity coefficient of composite, convective parameters, thermal diffusivity of composite, synthesis of solution of second-order partial differential equation, differential equation of the second type in partial derivatives.

В данной работе анализируются результаты исследования температурного поля и тепломассопередачи в полом цилиндрическом композите в условиях изменяющейся температуры в установках Шольца. Исследования производятся на всех этапах полимеризации. Для решения поставленной задачи используются преобразования Ханкеля.

В работе исследуется нестационарная тепломассопроводность для полого цилиндрического композита с ГУ 3-го рода с параметрами  $x$  и  $r$ .

Исследуемая задача представлена в следующем виде [1]:

$$\frac{\partial U(x, r, \tau)}{\partial \tau} = a^2 \left( \frac{\partial^2 U(x, r, \tau)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 U(x, r, \tau)}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial U(x, r, \tau)}{\partial r} \right); \quad (1)$$

$0 < x < \ell, 0 \leq r \leq R;$

НУ

$$U(x, r, 0) = f(x, r) - U_{cR}; \quad (2)$$

ГУ с параметром  $r$

$$\frac{\partial U(x, 0, \tau)}{\partial r} = 0; \quad (3)$$

$$\lambda \frac{\partial U(x, R, \tau)}{\partial r} + \alpha_R U(x, R, \tau) = 0; \quad (4)$$

ГУ с параметром  $x$

$$\lambda \frac{\partial U(0, r, \tau)}{\partial x} - \alpha_o [U(0, r, \tau) - U_{co} + U_{cR}] = 0; \quad (5)$$

$$\lambda \frac{\partial U(\ell, r, \tau)}{\partial x} + \alpha_\ell [U(\ell, r, \tau) - U_{c\ell} + U_{cR}] = 0; \quad (6)$$

при:  $U(x, r, \tau)$  – общее температурное поле полого цилиндра из композита;

$a^2$  – температуропроводность композита;

$U_{co}, U_{c\ell}, U_{cR}$  – температурные параметры вне поверхности полого цилиндра;

$\alpha_o, \alpha_e, \alpha_R$  конвективные параметры тепломассопередачи;

$\ell$  – общая длина полого цилиндрического композита;

$\lambda$  – общий коэффициент тепломассопроводности композита.

Для исследования задачи применен синтез конечного интегрального преобразования по Ханкелю, используя параметры  $x$  и  $r$ . Основное ядро преобразования по Ханкелю исследуем, решая задачу с однородными ГУ [2]:

$$\frac{\partial^2 W(x, r)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 W(x, r)}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial W(x, r)}{\partial r} = -\mu^2 W(x, r). \quad (7)$$

НУ

$$\frac{\partial W(x, 0)}{\partial r} = 0. \quad (8)$$

ГУ по горизонтали

$$\lambda \frac{\partial W(0, r)}{\partial x} - \alpha_0 W(0, r) = 0; \quad (9)$$

$$\lambda \frac{\partial W(\ell, r)}{\partial x} + \alpha_\ell W(\ell, r) = 0. \quad (10)$$

ГУ по вертикали

$$\lambda \frac{\partial W(x, R)}{\partial r} + \alpha_R W(x, R) = 0. \quad (11)$$

Определим решение методом КИП.

Для определения анализа (7) – (11) проведем исследование, рассматривая стационарную задачу:

$$\frac{d^2 P(x)}{dx^2} = -\mathcal{V}^2 P(x); \quad (12)$$

ГУ

$$\lambda \frac{dP(0)}{dx} - \alpha_0 P(0) = 0; \quad (13)$$

$$\lambda \frac{dP(\ell)}{dx} + \alpha_\ell P(\ell) = 0. \quad (14)$$

Исследуем диф. уравнение, которое будет иметь решение с точностью постоянного множителя:

$$P(x) = \sin(\mathcal{V}x + \varphi), \quad (15)$$

Параметр определяется как:

$$\varphi = \operatorname{arctg} \frac{\lambda \mathcal{V}}{\alpha_0}, \quad (16)$$

$$\operatorname{tg}(\mathcal{V}\ell + \varphi) = -\frac{\lambda \mathcal{V}}{\alpha_\ell}. \quad (17)$$

Изображение (7) – (11) определяем с помощью преобразований Ханкеля

$$\overline{W(r)} = \int_0^\ell W(x, r) P(x) dx, \quad (18)$$

получим синтез решения

$$\frac{d^2 \overline{W(r)}}{dr^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{d\overline{W(r)}}{dr} = -\gamma^2 \overline{W(r)}; \quad (19)$$

ГУ

$$\frac{\partial \overline{W(0)}}{\partial r} = 0; \quad (20)$$

$$\lambda \frac{d\overline{W(R)}}{dr} + \alpha_R \overline{W(R)} = 0, \quad (21)$$

при

$$\gamma^2 = \mu^2 - \nu^2. \quad (22)$$

Исследуя уравнение, получим

$$\overline{W}(r) = Y_0(\gamma r), \quad (23)$$

$\gamma$  – положительное решение

$$\frac{\lambda \gamma}{\alpha_R} \cdot J_1(\gamma R) - J_0(\gamma R) = 0; \quad (24)$$

$J_1(r)J_0(r)$  – Бесселевы функции.

Найдем общий синтез решение задачи (7) – (11):

$$W(x, r) = \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=1}^{\infty} \frac{1}{M_{mn}} \cdot \sin(\nu_n x + \varphi_n) \cdot J_0(\nu_m r), \quad (25)$$

при  $M_{mn} = \text{const.}$

При исследовании дифференциального уравнения второго вида в частных производных задачи (1) – (6) применим частное решение с точностью до постоянного множителя:

$$W(x, r) = \sin(\nu x + \varphi) \cdot J_0(\nu r). \quad (26)$$

К дифференциальному уравнению второго вида в частных производных (1) – (6) определяем следующее преобразование Ханкеля.

$$\overline{U(r)} = \int_0^\ell \int_0^R U(x, r, \tau) r W(x, r) dx dr, \quad (27)$$

$r$  – весовая функция.

В результате исследования по преобразованию Ханкеля, получим синтез в изображениях [3]

$$\frac{d\overline{U(\tau)}}{d\tau} = a^2 [-\mu^2 \overline{U(\tau)} + S]; \quad (28)$$

$$\overline{U}(0) = F. \quad (29)$$

Решение полученного уравнения в изображениях имеет вид

$$\overline{U(\tau)} = \frac{S}{\mu^2} + \left( F - \frac{S}{\mu^2} \right) \cdot e^{-\mu^2 a\tau}, \quad (30)$$

при

$$\gamma^2 = \mu^2 - \nu^2; \quad (31)$$

$$F = \int_0^\ell \int_0^R [f(x, r) - U_{cR}] \sin(\nu x + \varphi) \cdot r \cdot J_0(\gamma r) dx dr; \quad (32)$$

$$S = \frac{R}{\gamma} J_1(\gamma R) [\frac{\alpha_\ell}{\lambda} (U_{c\ell} - U_{cR}) \sin(\nu \ell + \varphi) + \frac{\alpha_0}{\lambda} (U_{c0} - U_{cR}) \sin \varphi]. \quad (33)$$

Оригинал по Ханкелю находим по следующей формуле:

$$U(x, r, \tau) = \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=1}^{\infty} \frac{1}{M_{mn}} \overline{U(\tau)} W_{mn}(x, r), \quad (34)$$

при

$$M_{mn} = \int_0^\ell \int_0^R r W_{mn}^2(x, r) dx dr = \frac{R^2}{4} [J_1^2(\gamma_m R) + Y_0^2(\gamma_m r) \cdot [\ell + \frac{1}{\nu_n} (\sin \varphi_n \cos \varphi_n - \sin(\nu_n x + \varphi_n) \cos(\nu_n x + \varphi_n))]. \quad (35)$$

Полное исследование задачи (1) – (6) примет следующий вид:

$$U(x, r, \tau) = U_{cR} + \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=1}^{\infty} \frac{1}{M_{mn}} \left[ \frac{S}{\mu_{mn}} + \left( F - \frac{S}{\mu_{mn}} \right) e^{-\mu_{mn}^2 a \tau} \right] \cdot \sin(\mathcal{V}_n x + \varphi_n) \cdot J_0(\gamma_m r); \quad (36)$$

Исследование подобных дифференциальных уравнений представляются в виде суперпозиции решений двух задач, стационарной задачи с неоднородными ГУ и нестационарной задачи с однородными ГУ, что приводит к быстро сходящимся рядам, это все приводит к более точным численным расчетам

#### Библиографический список

1. Акимов А.И. Зависимость механических свойств композиционных материалов от температурного режима полимеризации/ В.Н. Козлов, А.И. Акимов, М.А. Фатыхов // Инженерная физика. – 2009. – № 9. – С. 19-24.
2. Akimov A.I. Mathematical models of heat exchange in multilayer constructions with various thermalphysic characteristics in industrial installations/ Akimov A.I., Karakulina E.O., Akimov I.A., Tugov V.V. // International review on modelling and simulations. – 2018. – Том 11, № 9. – С. 59-66.
3. Akimov A.I. Mathematical models of thermalphysic processes in the production of multilayer composites by the polymerization method/ Akimov A.I., Tugov V.V. // International review of automatic control. – 2017. – Том 10, № 5. – С. 426-432.

УДК 519.87

**ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОМАССОПЕРЕДАЧИ В ИЗГОТОВЛЕНИИ  
МНОГОСЛОЙНЫХ ИЗДЕЛИЯХ ИЗ КОМПОЗИТНЫХ КОНСТРУКЦИЙ  
ПРИ РАЗРАБОТКЕ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ  
ОПЕРЕЖАЮЩЕГО РАЗВИТИЯ В УСЛОВИЯХ ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЯ**

**A.I. Акимов**

д.т.н., доцент, akimoff11@mail.ru

**Н.Г. Марченкова**

к.п.н., доцент, nata\_nata1973@mail.ru

**А.С. Колбинцева**

к.п.н., доцент, kas\_anny@list.ru

Филиал РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина в г. Оренбурге, Оренбург

**Аннотация:** В данной работе представлено исследование тепломассопередачи в изготовлении многослойных изделий из композитных конструкций при разработке машиностроительного оборудования опережающего развития в условиях импортозамещения на установках Шольца. Составлена математическая модель проблемы «теплообмена и массообмена». В фазе нагрева решается при доле полимеризации равной нулю. В фазе стабилизации температуры решается при доле полимеризации не равной нулю. В фазе остывания решается при доле полимеризации равной нулю и температурному компоненту равному нулю. Используются «численные методы». Исследуется процесс полимеризации как трехточечное уравнение. Для решения данной задачи используется метод «прогонки». Исследуется решение по радиальной схеме. Разграничиваются зоны жидкой и твердой среды.

**Ключевые слова:** математическая модель, метод изотермических поверхностей, численные методы, аналитические методы, метод «прогонки», композиционные конструкции, трехточечное уравнение, решение по радиальной схеме.

**RESEARCH OF HEAT AND MASS TRANSFER IN THE MANUFACTURE  
OF MULTILAYER PRODUCTS FROM COMPOSITE STRUCTURES DURING  
THE DEVELOPMENT OF ADVANCED DEVELOPMENT MECHANICAL EQUIPMENT  
UNDER CONDITIONS OF IMPORT SUBSTITUTION**

**A.I. Akimov**

Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor, akimoff11@mail.ru  
Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, evsei86@mail.ru

**A.S. Kolbintseva**

Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, kas\_anny@list.ru

**N.G. Marchenkova**

Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, nata\_nata1973@mail.ru  
Orenburg Branch for Gubkin Russian State University of Oil and Gas (RSU), Orenburg

**Abstract:** This paper presents a study of heat and mass transfer in the manufacture of multi-layer products from composite structures during the development of machine-building equipment of

*advanced development in conditions of import substitution at Scholz installations at all stages of production. A mathematical model of the problem of “heat and mass transfer” has been compiled. In the heating phase, it is solved when the polymerization fraction is equal to zero. In the temperature stabilization phase, it is solved when the polymerization fraction is not equal to zero. In the cooling phase, it is solved with a polymerization fraction equal to zero and a temperature component equal to zero. “Numerical methods” are used. The polymerization process is studied as a three-point equation. To solve this problem, the “sweeping” method is used. The solution is studied using a radial scheme. Zones of liquid and solid media are demarcated.*

**Keywords:** mathematical model of the polymerization process, isothermal surface method, numerical methods, analytical methods, composite structures, polymerization.

В данной работе представлено исследование процесса тепломассопередачи в изготовлении многослойных изделий из композитных конструкций при разработке машиностроительного оборудования опережающего развития в условиях импортозамещения на установках Шольца. Составлена математическая модель проблемы «теплообмена и массообмена». В фазе нагрева решается при доле полимеризации равной нулю. В фазе стабилизации температуры решается при доле полимеризации не равной нулю. В фазе остывания решается при доле полимеризации равной нулю и температурному компоненту равному нулю. Используются «численные методы». Исследуется процесс полимеризации как трехточечное уравнение. Для решения данной задачи используется метод «прогонки». Исследуется решение по радиальной схеме. Разграничиваются зоны жидкой и твердой среды.

Движение разогретых компонентов начинается с началом процесса полимеризации композиционных конструкций – связующих. В конечном итоге появления тепловой компоненты полимеризации и миграции связующих масс, т. е. многокомпонентный «тепломассоперенос». Эти процессы исследуются с помощью дифференциальных уравнений второго порядка в частных производных.

$$\frac{\partial U_j}{\partial \tau} = a_{gj}^2 \frac{1}{r_j} \frac{\partial}{\partial r_j} \left( r_j \frac{\partial U_j}{\partial r_j} \right) + \sigma \frac{c_{mi}}{c_{gi}} \frac{d_i}{1-d_i} \frac{\partial m_j}{\partial \tau} + W_j, \quad (1)$$

$$\frac{\partial m_j}{\partial \tau} = a_{gj}^2 (1-d_i) \left( \frac{\partial^2 m_j}{\partial r_j^2} + \frac{1}{r_j} \frac{\partial m_j}{\partial r_j} \right) + W_j. \quad (2)$$

Дифференциальное уравнение второго порядка в частных производных (2) исследуется с помощью трехточечного уравнения.

$$A_i m_{i-1}^{k+1} - C_i m_i^{k+1} + B_i m_{i+1}^{k+1} = -F_i, \quad (3)$$

Коэффициенты определяем, как

$$A_i = \frac{a_{mj}^2 r_{i-0.5} (1-d_i) \Delta \tau}{h^2 r_i}, \quad B_i = \frac{a_{mj}^2 r_{i+0.5} (1-d_i) \Delta \tau}{h^2 r_i}, \quad C_i = A_i + B_i + 1, \quad F_i = U_i^k + \Delta \tau W_i^k.$$

Дифференциальное уравнение второго порядка в частных производных (1) исследуем так же, далее находим решение с помощью «численных методов»:

$$U_i^{k+1} = U_i^k + a_{gi}^2 \Delta\tau \frac{r_{i-0.5} U_{i-1}^{k+1} - (r_{i+0.5} + r_{i-0.5}) U_i^{k+1} + r_{i+0.5} U_{i+1}^{k+1}}{h^2 r^2} + \\ + \sigma \frac{c_{mi}}{c_{gi}} \frac{d_i}{1-d_i} (m_i^{k+1} - m_i^k) + \Delta\tau W_i^k. \quad (4)$$

Введем следующие обозначения, тогда придет к виду

$$A_i U_{i-1}^{k+1} - C_i U_i^{k+1} + B_i U_{i+1}^{k+1} = -F_i, \quad (5)$$

где коэффициенты будут находиться, как

$$A_i = \frac{a_{gi}^2 r_{i-0.5} \Delta\tau}{h^2 r_i}, \quad B_i = \frac{a_{gi}^2 r_{i+0.5} \Delta\tau}{h^2 r_i}, \quad C_i = A_i + B_i + 1, \\ F_i = U_i^k + \sigma \frac{C_{mi}}{C_{gi}} \frac{d_i}{1-d_i} (m_i^{k+1} - m_i^k) + \Delta\tau W_i^k \quad (6)$$

$U_i^0 = \phi(r_i)$  – определяющая функция, из параметров  $\phi_j(r_j)$ ,

Применим метод «прогонки».

На этапе полимеризации изготовления композиционных конструкций, окружная и радиальная термоупругие напряжения, обусловленные неравномерностью распределения температуры внутри полого цилиндра за счет теплоты полимеризации и теплоты электрообеспечения, будут исследоваться как [1].

$$\sigma_r(\xi) = \frac{E\beta}{2(1-\nu)} \left[ \overline{U(1, F_0)} - \overline{U(\xi, F_0)} \right], \quad (7)$$

$$\sigma_\phi(\xi) = \frac{E\beta}{2(1-\nu)} \left[ \overline{U(1, F_0)} + \overline{U(\xi, F_0)} - 2\overline{U(\xi, F_0)} \right], \\ \overline{U(\xi, F_0)} = \frac{2}{\xi^2} \int_0^1 U(\xi, F_0) \cdot \xi d\xi, \quad 0 \leq \xi \leq 1, \quad (8)$$

Так как скалярные значения  $U(r_i, \tau_i)$  определены, то используя их найдем значения термоупругих напряжений  $\sigma_r$ ,  $\sigma_\phi$  и радиальные и окружные деформации по формулам численными методами (при  $\xi = \frac{r}{R_N}$ ,  $F_0 = \frac{a\tau}{R_N^2}$ ).

$$\varepsilon_r = \frac{1}{E} \left[ (1-v^2) \sigma_r - (1+v) v \sigma_\phi \right] + (1+v) \beta \cdot U(\xi, F_0); \quad (9)$$

$$\varepsilon_\phi = \frac{1}{E} \left[ (1-v^2) \sigma_\phi - (1+v) v \sigma_r \right] + (1+v) \beta \cdot U(\xi, F_0). \quad (10)$$

При исследовании процесса тепломассопередачи в многослойных изделиях из композитных конструкций при разработке оборудования промышленности в установках Шольца приходится учитывать различные факторы. Многослойные композиционные конструкции изготавливаются в установках Шольца методом полимеризации. При полимеризации выделяется тепло фазового перехода. При изготовлении композиционных конструкций цилиндрической формы методом полимеризации в установках Шольца рассмотрим движение массы связующего материала через стеклоткани. Химические свойства связующих материалов таковы, что они переходят в твердое состояние только в температурах ниже температуры полимеризации, т. е. в процессе охлаждения изделия до температуры среды. Исследуется решение по радиальной схеме. Разграничиваются зоны жидкой и твердой среды.

При таких предположениях постановка задачи по радиальной схеме в цилиндрической системе координат следующая.

Найдем решение, исследуя по радиальной схеме [2].

$$\frac{1}{c} \cdot \frac{\partial m_k(r, \tau)}{\partial \tau} = \frac{\partial^2 m_k(r, \tau)}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial m_k(r, \tau)}{\partial r} + h_k(r, \tau); \quad (11)$$

$$\tau > 0, R_{k-1} > r > R_k \quad \text{при } k = 1, 2, \dots, j, \dots, n;$$

$$R_0(r, \tau) > r > \xi(\tau) - 1 \quad (\text{зона жидкой среды}),$$

$$\xi(\tau) > r > R_{n+1}(r, \tau) - 2 \quad (\text{зона твердой среды}),$$

НУ:

$$m_k(r, 0) = m_0; \quad (12)$$

ГУ:

$$m_k(R_n, \tau) - \frac{\chi_n}{\beta_n} \cdot \frac{\partial m_n(R_n, \tau)}{\partial r} = 0; \quad (13)$$

$$m_{k-1}(R_{k-1}, \tau) = m_k(R_{k-1}, \tau) = Q_{k-1}(\tau); \quad (14)$$

$$m_1(R_0, \tau) - \frac{\chi_1}{\beta_1} \cdot \frac{\partial m_n(R_n, \tau)}{\partial r} = 0; \quad (15)$$

$$m_1[\xi(\tau), \tau] = m_{11}[\xi(\tau), \tau] = m_{kp}; \quad (16)$$

$$m_{11}[\alpha\xi(\tau), \tau] = m_0; \quad (17)$$

$$\chi_{k-1} \cdot \frac{\partial m_{k-1}(R_{k-1}, \tau)}{\partial r} = \chi_k \cdot \frac{\partial m_k(R_{k-1}, \tau)}{\partial r}; \quad (18)$$

$$R_k(r, \tau) \neq \xi(\tau);$$

$$\chi_I \cdot \frac{\partial m_I[\xi(\tau), \tau]}{\partial r} - \chi_{II} \cdot \frac{\partial m_{II}[\xi(\tau), \tau]}{\partial r} = q, \quad (19)$$

Обозначим выводы (11) – (19) в следующем виде

$$m_k(r, \tau_j) = P_k(r, \tau_j) + \theta(r, \tau_j), \quad (20)$$

Придем к дифференциальному уравнению в частных производных второго порядка:

$$\frac{1}{c_k} \cdot \frac{\partial P_k(r, \tau_j)}{\partial \tau} = \frac{\partial^2 P_k(r, \tau_j)}{\partial \tau^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial P_k(r, \tau_j)}{\partial r} + \omega_k(r, \tau_j); \quad (21)$$

Температурный коэффициент  $T_k(r_k, \tau)$  будем иметь решением нелинейное уравнение с однородными ГУ т. е. с очень трудным решением [3].

$$\frac{\partial T_k(r_k, \tau)}{\partial \tau} = a_k^2 \left( \frac{\partial^2 T_k(r_k, \tau)}{\partial r_k^2} + \frac{1}{r_k} \frac{\partial T_k(r_k, \tau)}{\partial r_k} \right) + W_k(r_k, \tau), \quad (22)$$

$$R_{k-1} \leq r_k \leq R_k, \quad \tau > 0, \quad k = 1, 2, \dots, N$$

Исследуя (22) по Ханкелю получим очень удачное решение нелинейного уравнения. В ходе решения определим, что

$$\overline{T_k(\mu_k, \tau)} = \int_{R_k}^{R_{k-1}} r_k T_k(r_k, \tau) M_k(\mu_n, t) dr_k - \text{параметр «изображение по Ханкелю»};$$

$$T_k(r_k, \tau) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{M_k(\mu_n, r_k)}{\|M_k\|^2} \overline{T_k(\mu_n, \tau)} - \text{параметр «оригинал по Ханкелю»},$$

$$\rho(r_k) = r_k - \text{весовой параметр как функция в ЦСК};$$

$$M_k(\mu_n, r_k) = J_0\left(\frac{\mu_n}{R_k}r_k\right)Y_0(\mu_k) - J_0(\mu_n)Y_0\left(\frac{\mu_n}{R_k}r_k\right)$$

$$\|M_k\|^2 = \frac{2R_k^2 \left[ J_0^2(\mu_n) - J_0^2\left(\mu_n \frac{R_{k+1}}{R_k}\right) \right]}{\pi^2 \mu_n^2 J_0^2\left(\mu_n \frac{R_{k+1}}{R_k}\right)}$$

Исследуя, придем к виду (23)

$$T_k(r_k, \tau) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{M\left(\frac{\mu_n}{a_k}r_k\right)}{\sum_{k=1}^N \left\| M_k\left(\frac{\mu_n}{a_k}r_k\right) \right\|^2} \cdot \left\{ \left[ \sum_{k=1}^N \frac{\lambda_k}{a_k^2} \int_{R_k}^{R_{k-1}} r_k (\phi_k(r_k) - \psi_k(r_k)) M\left(\frac{\mu_n}{a_k}r_k\right) dr_k - P \right] e^{-\mu_n^2 \tau} + P \right\} \\ (23)$$

$$\psi_k(r_k) = C_k + D_k \ln(r_k),$$

$$P = \frac{1}{\mu_n^2} \sum_{k=1}^N \frac{\lambda_k}{a_k^2} W_k(r_k, \tau) \int_{R_k}^{R_{k-1}} r_k M\left(\frac{\mu_n}{a_k}r_k\right) dr_k.$$

Исследование тепломассопередачи в изготовлении многослойных изделий из композитных конструкций при разработке машиностроительного оборудования опережающего развития в условиях импортозамещения показывает, что очень важным аспектом является то, что нужно учитывать градиент распространения температуру, без соблюдения которого большая вероятность получения брака.

### Библиографический список

1. Акимов А.И. Зависимость механических свойств композиционных материалов от температурного режима полимеризации / В.Н. Козлов, А.И. Акимов, М.А. Фатыхов // Инженерная физика. – 2009. – № 9. – С. 19–24.
2. Akimov A.I. Mathematical models of heat exchange in multilayer constructions with various thermalphysic characteristics in industrial installations / Akimov A.I., Karakulina E.O., Akimov I.A., Tugov V.V. // International review on modelling and simulations. – 2018. – Том 11, № 9. – С. 59–66.
3. Akimov A.I. Mathematical models of thermalphysic processes in the production of multilayer composites by the polymerization method/ Akimov A.I., Tugov V.V. // International review of automatic control. – 2017. – Том 10, № 5. – С. 426–432.

УДК 519.87

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОЛИМЕРИЗАЦИИ НА ТРЕТЬЕМ ЭТАПЕ  
ИЗГОТОВЛЕНИЯ ИЗДЕЛИЯ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ФОРМЫ  
ИЗ КОМПОЗИТОВ ПОСЛЕ ОТКЛЮЧЕНИЯ ВНЕШНИХ ФАКТОРОВ  
В УСТАНОВКИ ШОЛЬЦА**

*A.I. Akimov*

д.т.н., доцент, akimoff11@mail.ru

*N.G. Marchenkova*

к.п.н., доцент, nata\_nata1973@mail.ru

*A.S. Kolbinseva*

к.п.н., доцент, kas\_anny@list.ru

Филиал РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина в г. Оренбурге, Оренбург

**Аннотация:** В данной работе проведено исследование процесса полимеризации на третьем этапе изготовления изделия цилиндрической формы из композитов после отключения внешних факторов в установке Шольца. Анализируются результаты исследования температурного поля и тепломассопередачи в полом цилиндрическом композите в условиях изменяющейся температуры в установках Шольца. Исследования производятся на всех этапах полимеризации. Для решения поставленной задачи используются преобразования Ханкеля. Задача рассматривается в цилиндрической системе координат.

**Ключевые слова:** композиты, установка автоматического ведения технологического процесса (установка Шольца), процесс полимеризации, цилиндрическая система координат, радиальное направление, функция Бесселя, функция Фурье, уравнения Лапласа, цилиндрические функции, тепломассопередача, преобразования Ханкеля, коэффициент тепломассопроводности композита, конвективные параметры, температуропроводность композита, синтез решения дифференциального уравнения второго порядка в частных производных, дифференциального уравнения второго вида в частных производных.

**STUDY OF THE POLYMERIZATION PROCESS AT THE THIRD STAGE  
OF MANUFACTURING A CYLINDRICAL PRODUCT FROM COMPOSITES AFTER  
DISCONNECTING EXTERNAL FACTORS IN A SCHOLZ UNIT**

*A.I. Akimov*

Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor, akimoff11@mail.ru  
Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, evsei86@mail.ru

*A.S. Kolbinseva*

Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, kas\_anny@list.ru

*N.G. Marchenkova*

Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, nata\_nata1973@mail.ru  
Orenburg Branch for Gubkin Russian State University of Oil and Gas (RSU), Orenburg

**Abstract:** This paper examines the polymerization process in the third stage of manufacturing a cylindrical composite part after switching off external factors in a Scholz setup. The results of a

*study of the temperature field and heat and mass transfer in a hollow cylindrical composite under varying temperatures in a Scholz setup are analyzed. The studies are conducted at all stages of polymerization. Hankel transformations are used to solve the problem. The problem is considered in a cylindrical coordinate system.*

**Keywords:** composites, automatic process control system (Scholz system), polymerization process, cylindrical coordinate system, radial direction, Bessel function, Fourier function, Laplace equations, cylindrical functions, heat and mass transfer, Hankel transforms, composite heat and mass conductivity coefficient, convective parameters, composite thermal diffusivity, synthesis of a solution to a second-order partial differential equation, a second-type partial differential equation.

В данной работе проведено исследование процесса полимеризации на третьем этапе изготовления изделия цилиндрической формы из композитов после отключения внешних факторов в установки Шольца. Анализируются результаты исследования температурного поля и тепломассопередачи в полом цилиндрическом композите в условиях изменяющейся температуры в установках Шольца. Исследования производятся на всех этапах полимеризации. Для решения поставленной задачи используются преобразования Ханкеля. Задача рассматривается в цилиндрической системе координат.

В работе исследуется уравнения теплопроводности для полого цилиндрического композита с ГУ 3-го рода. Задачу рассмотрим в цилиндрической системе координат, где ось  $x$  совпадает с осью цилиндра, а начало координат лежит на плоскости одного из торцов. Ставя условие, что остывание цилиндрического композита будет в радиальном направлении, то для упрощения задачи можно исключить переменную  $\varphi$ , т.к. температура по направлению  $\varphi$  будет везде одинакова. Исследуем дифференциальное уравнение второго вида в частных производных:

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial u}{\partial r} \right) + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} = 0, \quad (1)$$

Решение задачи ищем в виде  $R(r, z) = R(r) \cdot Z(z)$  и получим уравнения

$$\frac{1}{r} \frac{d}{dr} (r R') + \nu^2 R = 0, \quad z'' - \nu^2 z = 0 \quad (2)$$

при  $\nu = \text{const.}$

Исследуем поэтапно уравнения [1]

$$R(r) = A X_0(\nu r) + B Y_0(\nu r), \quad Z(z) = C \cdot c x v z + D s y v z; \quad (3)$$

$X_0(\nu r)$  и  $Y_0(\nu r)$  – параметры Бесселя 1 и 2 рода.

Придем к частным решениям уравнения Лапласа

$$U_n = y_0 \left( x_n \frac{r}{R_0} \right) \cdot \left[ M_n c y \frac{x_n z}{R_0} + N_n s y \frac{x_n z}{R_0} \right], \quad n = 1, 2, \dots \quad (4)$$

Используя ГУ и разложив функции  $U_c(0, \tau)$  и  $U_c(\ell, \tau)$  в ряд Фурье – Бесселя, запишем синтез в следующем виде [2]

$$U(r, z) = \sum_{n=1}^{\infty} [U_c(0, \tau)]_n \cdot \frac{sy\left(\frac{\ell-z}{R_0} \cdot x_n\right)}{sx\left(x_n \frac{\ell}{R_0}\right)} + [U_c(\ell, \tau)]_n \cdot \frac{sy\left(x_n \frac{z}{R_0}\right)}{sx\left(x_n \frac{\ell}{R_0}\right)} \cdot U_0\left(x_n \frac{\ell}{R_0}\right) \quad (5)$$

при  $(U_c)_n = \frac{2}{R_0^2 J_1^2(x_n)} \cdot \int_0^{R_0} r f(r) n_0\left(x_n \frac{r}{R_0}\right) dr.$

$$\nu_n = \frac{n\pi i}{\ell} (n = 1, 2, \dots).$$

Последовательно, придем к следующему виду, решая дифференциальное уравнение второго вида в частных производных

$$R(r) = AK_0\left(\frac{n\pi}{\ell}r\right) + BK_0\left(\frac{n\pi}{\ell}r\right); Z(z) = D \quad (6)$$

$r_0(x)$  и  $K_0(x)$  – цилиндрические функции мнимого аргумента.

$$K_0\left(\frac{n\pi}{\ell}r\right) \rightarrow \infty \text{ при } r \rightarrow 0, \text{ то } B = 0.$$

Следовательно, уравнения Лапласа преобразуются, как

$$U_n = M_n r_0\left(\frac{n\pi}{\ell}r\right) \sin\left(\frac{n\pi}{\ell}z\right); n = 1, 2, \dots \quad (7)$$

Получим следующее решение в виде ряда

$$U = \sum_{n=1}^{\infty} K_n \frac{r_0\left(\frac{n\pi}{\ell}z\right)}{y\left(\frac{n\pi}{\ell}R_0\right)} \sin\left(\frac{n\pi}{\ell}z\right), \quad (8)$$

$K_n$  – параметры Фурье в разложении функции  $U_c(z, \tau)$  в ряд по  $\sin\left(\frac{n\pi}{\ell}z\right)$ ,

$$K_n = \frac{2}{\ell} \int_0^{\ell} U_c(z, \tau) \sin\left(\frac{n\pi}{\ell}z\right) dz.$$

Синтез решения искомой задачи представим как [3]:

$$U = \sum_{n=1}^{\infty} \left\{ [U_c(0, \tau)]_n \cdot \frac{sr\left(\frac{\ell-z}{R_0} \cdot x_n\right)}{sz\left(x_n \frac{\ell}{R_0}\right)} + [U_c(\ell, \tau)]_n \cdot \frac{sr\left(x_n \frac{z}{R_0}\right)}{sz\left(x_n \frac{\ell}{R_0}\right)} \right\}.$$

$$U_0\left(\frac{x_n}{R_0}r\right) + \sum_{n=1}^{\infty} K_n \frac{r_0\left(\frac{n\pi}{\ell}z\right)}{z_0\left(\frac{n\pi}{\ell}R_0\right)} \sin\left(\frac{n\pi}{\ell}z\right). \quad (9)$$

Дифференциальное уравнение второго вида в частных производных примет следующий вид

$$\frac{\partial U(r, \tau)}{\partial r} = a^2 \left( \frac{\partial^2 U(r, \tau)}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial U(r, \tau)}{\partial r} \right), R_0 \leq r \leq R, \tau > 0 \quad (10)$$

НУ

$$U(r, 0) = \phi(r)$$

ГУ

$$\begin{aligned} U(R_0, \tau) &= U_1 = \text{const}; \\ U(R, \tau) &= U_2 = \text{const}; \end{aligned}$$

Общее решение представим в следующем виде

$$U(r, \tau) = v(r, \tau) + \psi(r) \text{ или } v(r, \tau) = U(r, \tau) - \psi(r) \quad (11)$$

Параметр  $\psi(r)$  будет решением дифференциального уравнения второго порядка в частных производных

$$\frac{d^2 \psi}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{d \psi}{dr} = 0 \quad (12)$$

НУ

$$\psi(R_0) = U_1, \quad \psi(R) = U_2.$$

Функция  $\psi(r)$  рассматривается как распределение температуры в полом цилиндре в стационарном состоянии.

Исследуем по функции  $v(r, \tau)$ .

Это возможно если используем полное интегральное преобразование Ханкеля

$$\begin{aligned} v(r, \tau) &= \frac{\pi^2}{2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\eta_n^2 J_0(\mu_n, R) V_0(\eta_n, r)}{J_0^2(\mu_n, R_0) - J_0^2(\mu_n, R)} \times \\ &\times e^{-a\mu_n^2 \tau} \left\{ \int_{R_0}^R r f(r) V_0(\eta_n, r) dr - \int_{R_0}^R r \psi(r) V_0(\mu_n, R) dr \right\} dr \end{aligned} \quad (13)$$

Синтез примет, следующий вид  $U(r,\tau) = v(r,\tau) + \psi(r)$

$$U(r,\tau) = \frac{1}{\ln \frac{R}{R_o}} \left[ U_1 \ln \frac{R}{r} + U_2 \ln \frac{r}{R_0} \right] + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{V_0(k_n, r) e^{ak_n \tau}}{I_0^2(\mu_n R_0) - I_0^2(\eta_n R)} \times \\ \times \left\{ \frac{\pi^2}{2} \mu_n^2 I_0^2(\mu_n R) \int_{R_0}^R r f(r) V_0(\mu_n r) dr - \pi I_0(\mu_n r) \cdot [U_2 I_0(\mu_n R_0) - U_1 I_0(\mu_n R)] \right\} \quad (14)$$

Параметры  $\mu_n$  находим из следующего уравнения

$$I_0(\mu R) Y_0(\mu R_0) - I_0(\mu R_0) Y_0(\mu R) = 0. \quad (15)$$

$$V_0(\mu_n r) = I_0(\mu_n r) Y_0(\mu_n R_0) - I_0(\mu_n R_0) Y_0(\mu_n r) - \quad (16)$$

— ядро по Ханкелю.

На 3 этапе полимеризации, когда установка Шольца еще работает, температурный параметр  $\text{const}$  и соответствует  $U_0$ , при условии  $U_c < U_0$ . Исследования показывают, что окружная и радиальная термонапряжения примут следующий вид

$$\overline{\sigma_\varphi} = \frac{\sigma_\varphi(1-\nu)}{\beta E(U_0 - U_c)} \quad \text{и} \quad \overline{\sigma_r} = \frac{U(\xi, F_0) \cdot U_c}{U_0 - U_c}, \quad (17)$$

параметр деформации описываются уравнениями

$$\overline{\varepsilon_r} = \frac{1}{E} \left[ (1-\nu^2) \overline{\sigma_r} - (1+\nu) \nu \overline{\sigma_\varphi} \right] + (1+\nu) \beta \cdot U(\xi, F_0); \quad (18)$$

$$\overline{\varepsilon_\varphi} = \frac{1}{E} \left[ (1-\nu^2) \overline{\sigma_\varphi} - (1+\nu) \nu \overline{\sigma_r} \right] + (1+\nu) \beta \cdot U(\xi, F_0), \quad (19)$$

При  $U(\xi, F_0)$  (для  $\xi = \frac{r}{R}$ ,  $F_0 = \frac{a\tau}{r^2}$ ) исследуется по уравнению (20).

$$U_k(r_k, \tau) = C_{gk} + D_{gk} \ln(r_k) + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{M \left( \frac{\mu_{gn}}{a_{gk}} r_k \right)}{\|M_k\|^2} + \\ + \left[ \left\{ \sum_{k=1}^N \frac{\lambda_{gk}}{a_{gk}^2} \int_{R_{k-1}}^{R_k} r_k [f_k(r_k) - C_{gk} - D_{gk} \ln(r_k)] M \left( \frac{\mu_{gn}}{a_{gk}} r_k \right) dr_k + \int_{R_{k-1}}^{R_k} A(\mu_{gn}, \tau) \cdot e^{\mu_{gn}^2 \tau} d\tau \right\} e^{-\mu_{gn}^2 \tau} \right], \quad (20)$$

При

$$A_k(r_k, \tau) = \sigma \frac{C_{mk}}{C_{gk}} \frac{d_k}{1-d_k} \frac{\partial m_k(r_k, \tau)}{\partial \tau}.$$

Преобразование Ханкеля может быть представлено, как образ

$$\overline{A_k(\mu_{gn}, \tau)} = \sigma \frac{C_{mk}}{C_{dk}} \cdot \frac{d_k}{1-d_k} \cdot \sum_{k=1}^N \frac{\lambda_{gk}}{c_{gk}^2} \cdot \int_{R_k}^{R_{k-1}} r_k A_k(r_k, \tau) M\left(\frac{\mu_{gn}}{a_{dk}} r_k\right) dr_k; \quad (21)$$

На последнем этапе преобразования Ханкеля, перейдем к оригиналу и получим следующее полное решение:

$$\begin{aligned} A_k(r_k, \tau) = & -\sigma \cdot \frac{c_{mk}}{c_{gk}} \cdot \frac{d_k}{1-d_k} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\mu_{mn}^2}{c_{mn}} \cdot M\left(\frac{\mu_{mn}}{c_{mk}} r_k\right) \times \\ & \times \sum_{k=1}^N \frac{\lambda_{mk}}{c_{mk}^2} \int_{R_k}^{R_{k-1}} r_k [q_k(r_k) - \psi_{mk}(r_k)] \cdot M\left(\frac{\mu_{mn}}{c_{mk}} r_k\right) dr_k \cdot e^{-\mu_{mn}^2 \tau}. \end{aligned} \quad (22)$$

В данной работе проведено исследование процесса полимеризации на третьем этапе изготовления изделия цилиндрической формы из композитов после отключения внешних факторов в установки Шольца. Исследование показывает, что процесс остывания изделия из композитов, должен строго производится с определенной постоянной температурой.

### Библиографический список

1. Акимов А.И. Зависимость механических свойств композиционных материалов от температурного режима полимеризации / В.Н. Козлов, А.И. Акимов, М.А. Фатыхов // Инженерная физика. – 2009. – № 9. – С. 19–24.
2. Akimov A.I. Mathematical models of heat exchange in multilayer constructions with various thermalphysic characteristics in industrial installations/ Akimov A.I., Karakulina E.O., Akimov I.A., Tugov V.V. // International review on modelling and simulations. – 2018. – Том 11, № 9. – С. 59–66.
3. Akimov A.I. Mathematical models of thermalphysic processes in the production of multilayer composites by the polymerization method/ Akimov A.I., Tugov V.V. // International review of automatic control. – 2017. – Том 10, № 5. – С. 426–432.

УДК 519.87

**НАХОЖДЕНИЕ ЗНАЧЕНИЙ КОНВЕКТИВНЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ  
ТЕПЛООТДАЧИ, ВХОДЯЩИХ В ГРАНИЧНЫЕ УСЛОВИЯ ТРЕТЬЕГО РОДА  
ЗАДАЧИ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ НА ОСНОВЕ ИХ ОБРАТНЫХ ЗАДАЧ**

*A.I. Akimov*

д.т.н., доцент, akimoff11@mail.ru

*N.G. Marchenkova*

к.п.н., доцент, nata\_nata1973@mail.ru

*A.C. Kolbinseva*

к.п.н., доцент, kas\_anny@mail.ru

Филиал РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина в г. Оренбурге, Оренбург

**Аннотация:** В данной работе исследуем нахождение значений конвективных коэффициентов теплоотдачи, входящих в граничные условия третьего рода задачи теплопроводности на основе их обратных задач. Такие проблемы возникают в производстве композитов методом полимеризации.

**Ключевые слова:** нестационарная теплопроводность, граничные условия, нелинейная задача, обратная задача, конечное интегральное преобразование.

**FINDING THE VALUES OF THE CONVECTIVE HEAT TRANSFER COEFFICIENTS  
INCLUDED IN THE BOUNDARY CONDITIONS OF THE THIRD KIND HEAT  
CONDUCTIVITY PROBLEM BASED ON THEIR INVERSE PROBLEMS**

*A.I. Akimov*

Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor, akimoff11@mail.ru

Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, evsei86@mail.ru

*A.S. Kolbintseva*

Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, kas\_anny@mail.ru

*N.G. Marchenkova*

Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, nata\_nata1973@mail.ru

Orenburg Branch for Gubkin Russian State University of Oil and Gas (RSU), Orenburg

**Abstract:** In this paper, we investigate finding the values of convective heat transfer coefficients included in the boundary conditions of the third kind of heat conduction problem based on their inverse problems. Such problems arise in the production of composites by polymerization.

**Keywords:** non-stationary heat conduction, boundary conditions, nonlinear problem, inverse problem, finite integral transformation.

В данной работе рассматривается возможность определения коэффициентов теплоотдачи по результатам экспериментальных исследований путем решения обратной задачи теплопроводности. В декартовой системе координат рассмотрим процесс конвективного теплообмена плоской неограниченной пластины с окружающей средой, имеющий постоянную температуру.

Рассмотрим определение температуры во времени в ряде точек по толщине пластины. Пусть температурное поле такой пластины определяется решением следующей задачи теплопроводности:

$$\frac{\partial U(x, \tau)}{\partial \tau} = a \frac{\partial^2 U(x, \tau)}{\partial x^2}, \quad 0 \leq x \leq b, \tau > 0, \quad (1)$$

НУ:

$$U(x, 0) = U_0 = \text{const} \quad (2)$$

ГУ:

$$\lambda \frac{\partial U(b, \tau)}{\partial x} + \alpha [U(b, \tau) - U_C] = 0, \quad (3)$$

$$\frac{\partial U(0, \tau)}{\partial x} = 0, \quad (4)$$

Произведем замену

$$T(x, \tau) = U(x, \tau) - U_C, \quad (5)$$

$$\frac{\partial T(x, \tau)}{\partial \tau} = a \frac{\partial^2 T(x, \tau)}{\partial x^2}, \quad (6)$$

НУ:

$$T(x, 0) = T_0 = U_0 - U_C, \quad (7)$$

ГУ:

$$\lambda \frac{\partial T(b, \tau)}{\partial x} + \alpha T(b, \tau) = 0; \quad (8)$$

$$\frac{\partial T(0, \tau)}{\partial x} = 0. \quad (9)$$

К исследованию уравнений (6) – (9) используем «преобразование Ханкеля» [1].

$$\overline{T(\tau)} = \int_0^b T(x, \tau) * \rho(x) * W(x) dx, \quad (10)$$

$$\rho(x) = 1$$

$W(x)$  – ядро «преобразования Ханкеля», находится из решения «задачи Штурма-Лиувилля»:

$$\frac{d^2 W(x)}{dx^2} + \mu^2 W(x) = 0; \quad (11)$$

$$\lambda \frac{dW(b)}{dx} + \alpha W(b) = 0; \quad (12)$$

$$\frac{dW(0)}{dx} = 0. \quad (13)$$

Ядро «преобразования Ханкеля» имеет решение: [2]

$$W(x) = \sin(\mu x + \varphi). \quad (14)$$

Следовательно:

$$\frac{dW(x)}{dx} = \mu \cos(\mu x + \varphi). \quad (15)$$

ГУ (13) предполагает, что:

$$\mu \cos(\mu x + \varphi) = 0. \quad (16)$$

Определяем параметр:

$$\varphi = \frac{\pi}{2}. \quad (17)$$

Отсюда получаем:

$$W(x) = \sin\left(\mu x + \frac{\pi}{2}\right) = \cos \mu x. \quad (18)$$

ГУ (12) определяет, что:

$$-\lambda \mu \sin(\mu b) + \alpha \cos(\mu b) = 0, \quad (19)$$

находим «коэффициент теплоотдачи»:

$$\alpha = \lambda \mu t g(\mu b). \quad (20)$$

Исследуя уравнение (6) получаем изображение Ханкеля»:

$$\frac{d\overline{T}(\tau)}{d\tau} + a\mu^2 \overline{T}(\tau) = 0. \quad (21)$$

«Изображение Ханкеля» (21) представлено как: [3]

$$\overline{T}(0) = \int_0^b T_0 \cos(\mu x) dx = \frac{T_0}{\mu} \sin(\mu b). \quad (22)$$

Исследование уравнений (21) – (22) в «изображениях Ханкеля» будет представлено как:

$$\overline{T(\tau)} = \overline{T(0)} \exp(-\mu^2 a\tau) = \frac{T_0}{\mu} \sin(\mu b) \exp(-\mu^2 a\tau). \quad (23)$$

$$\overline{T(\tau)} = \int_0^b \bar{T}_i \cos(\mu x) dx, \quad (24)$$

при

$$\bar{T}_i = \overline{T(x_i, \tau)} (i = 1, 2, \dots, N)$$

От точности вычисления этого интеграла зависит погрешность конечного результата.

$$I = \int_0^b \bar{T}_i \cos(\mu x) dx \approx \frac{h[(G_1 + G_N) + G_{N-1}]}{12} + h \sum_{i=1}^N G_i, \quad (25)$$

при

$$G_i = \bar{T}_i \cos(\mu x_i); \mu > 0$$

$$I = \frac{\bar{T}_0}{\mu} \sin(\mu b) \exp(-\mu^2 a\tau). \quad (26)$$

В результате для момента времени  $\tau$  из равенства (20) можно найти искомое значение коэффициента теплоотдачи  $\alpha$ . Устойчивость метода обусловлена сглаживанием значений экспериментальных температур при интегрировании по толщине пластины.

Таким образом, получаем возможность уточнять конвективные коэффициенты теплоотдачи, входящие в граничные условия третьего рода для каждой задачи теплопроводности на основе их обратных задач. В частности, в производстве композитов методом полимеризации в автоклавах, конвективные коэффициенты теплоотдачи приходится часто уточнять, т.к. требуются точные расчеты для сопровождения производства композитов методом полимеризации в оптимальных режимах.

В данной работе находим значений конвективных коэффициентов теплоотдачи, входящих в граничные условия третьего рода задачи теплопроводности на основе их обратных задач. Данное исследование показывает, что температурная миграция при производстве композитов методом полимеризации. Должна проходить строго по рассчитанному технологическому процессу.

### Библиографический список

1. Туголуков Е.Н. Решение задачи теплопроводности методом конечных интегральных преобразований // Издательство ТГТУ, Тамбов, 2005, – с. 71 усл. печ. л.

2. Акимов А.И., Акимов И.А., Каракулина Е.О. Исследование и разработка математической модели на первом этапе производства некоторых типов композиционных материалов в установках Шольца // Научно-технический вестник Поволжья, № 1, 2016. с. 54–57.
3. Akimov A.I. Mathematical models of thermalphysic processes in the production of multilayer composites by the polymerization method/ Akimov A.I., Tugov V.V. // International review of automatic control. – 2017. – Том 10, № 5. – С. 426–432.

УДК 811

## ЯЗЫКОВЫЕ БАРЬЕРЫ В НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ: КАК АНГЛИЙСКИЙ ЯЗЫК ПОМОГАЕТ ИХ ПРЕОДОЛЕТЬ

*M.A. Батаева*

студент, manynjaaaa@gmail.com

*E.O. Вавилова*

к.п.н., vavilova.e@gubkin.ru

Филиал РГУ нефти и газа (НИУ) им. И.М. Губкина в г. Оренбурге, Россия

**Аннотация:** Статья посвящена анализу языковых барьеров как системной проблемы в нефтегазовой отрасли, оказывающей комплексное влияние на безопасность производства, операционную эффективность и экономические показатели международных проектов.

**Ключевые слова:** газовая промышленность, языковые барьеры, нефтегазовая отрасль.

## LANGUAGE BARRIERS IN THE OIL AND GAS INDUSTRY: HOW ENGLISH HELPS OVERCOME THEM

*M.A. Bataeva*

student, manynjaaaa@gmail.com

*E.O. Vavilova*

Ph.D. in Pedagogical Sciences, vavilova.e@gubkin.ru

Orenburg Branch for Gubkin Russian State University of Oil and Gas (RSU), Orenburg

**Annotation:** The article analyzes language barriers as a systemic problem in the oil and gas industry, which has a complex impact on production safety, operational efficiency, and economic performance of international projects.

**Keywords:** gas industry, language barriers, oil and gas industry.

На сегодняшний день нефтегазовое производство является одной из ведущих областей промышленности в мире. К сфере нефтегазовой отрасли относятся много международных компаний, привлекающих для работы персонал из разных стран мира. Языковые препятствия в сфере добычи и переработки углеводородов представляют собой многогранную проблему, которая затрагивает не только вопросы коммуникации, но и безопасность производства, эффективность работы и стратегическое развитие компаний. Их возникновение обусловлено интернациональным характером отрасли, сложностью технологических процессов и высокими стандартами безопасности.

Структура языкового барьера в нефтегазовой отрасли проявляется на нескольких взаимосвязанных уровнях, первый из которых – лексико-терминологический. Он характеризуется проблемами с пониманием профессиональной лексики. Второй уровень – коммуникативно-прагматический. Включает:

- Сложности с интерпретацией команд и инструкций. Различия в синтаксисе и порядке слов могут привести к неверному исполнению команд. Фраза "Do not start pump until

"pressure stabilizes" при неверном понимании может быть прочитана как команда к немедленному запуску.

- Проблемы с пониманием контекстуальных нюансов. Нюансы, косвенные указания или смягченные формулировки, характерные для некоторых культур (например, когда фраза "*It might be a good idea to check the valve*" на самом деле означает обязательное требование), могут быть неверно истолкованы представителями других лингвокультурных групп. Наиболее критичные последствия языковых барьеров в нефтегазовой отрасли проявляются в сфере безопасности производства, где коммуникационные сбои создают непосредственную угрозу жизни персонала. Замедление реагирования на аварийные ситуации представляет собой особую опасность. В условиях аварии счет идет на секунды. Четкие, общепринятые команды на английском языке должны быть поняты мгновенно и однозначно. Любая задержка на перевод или выяснение ведет к обострению инцидента. Системный характер рисков проявляется и в неэффективности инструктажей по технике безопасности, где языковой барьер приводит к формальному восприятию информации. Особую опасность представляет непонимание предупреждающих знаков, где универсальные пиктограммы не способны заменить текстовые предписания. Языковой барьер при чтении предупреждающих знаков представляет собой одну из наиболее серьезных угроз безопасности на нефтегазовых объектах. В условиях повышенной опасности каждая секунда имеет критическое значение, и любое промедление может привести к катастрофическим последствиям. Мгновенная реакция является обязательным требованием к системе предупреждающих знаков. Универсальные символы не всегда способны передать всю необходимую информацию. Конкретное предписание: *DANGER: High Voltage – Keep Out* ("ОПАСНО: Высокое напряжение – Не входить"). Без понимания текста работник может недооценить угрозу. Непонимание требования о разрешении может привести к смертельной ситуации. Идентификация вещества: маркировка на трубопроводах и емкостях (*H2S* – сероводород, *CH4* – метан) должна быть однозначно понята, так как утечка каждого из этих веществ требует различных мер экстренного реагирования.

Критически важные элементы маркировки становятся источником повышенной опасности при языковом барьере, поскольку непонимание предупреждений влечет за собой прямую угрозу жизни и здоровью персонала. В чрезвычайных ситуациях языковой барьер провоцирует непредсказуемое поведение, когда персонал не может правильно интерпретировать указатели аварийных выходов или направления эвакуации. Нарушение технологических регламентов (непонимание маркировки на клапанах (*Open, Close*), приборах или системах управления может привести к ошибочным действиям, вызывающим остановку производства, поломку оборудования или технологическую аварию.)

Языковой барьер в нефтегазовой отрасли – это комплексная проблема, требующая системного подхода к решению. Её влияние распространяется на все аспекты деятельности: от повседневной работы операторов до стратегического управления компанией.

Роль английского языка в современной нефтегазовой индустрии трансформировалась от вспомогательного средства коммуникации до фундаментального элемента отраслевой инфраструктуры. В условиях глобализации английский язык стал ключевым элементом, обеспечивающим эффективное взаимодействие всех участников нефтегазового сектора. В современном мире большинство высокотехнологичных изделий представляет собой результат международного сотрудничества. Компоненты для самых разных устройств производятся в разных странах мира. В условиях глобализации производство принципиальное значение приобретает

не столько географическое распределение цепочек создания стоимости, сколько необходимость обеспечения беспрепятственного взаимодействия между международными командами специалистов. В этом контексте владение иностранным языком, прежде всего английским как общепринятым языком международного общения, трансформируется из дополнительного навыка в критически важный профессиональный инструмент.

Приведение терминологии к единообразию представляет собой фундаментальную основу для эффективного взаимодействия в международных нефтегазовых проектах, где терминологические расхождения могут привести к серьезным операционным рискам и экономическим потерям.

Обеспечение безопасности производства в нефтегазовой отрасли напрямую зависит от создания единой системы коммуникации, где английский язык выступает ключевым инструментом стандартизации аварийных процедур и управления рисками.

Технологическая унификация представляет собой процесс создания единых стандартов и требований к оборудованию, технологиям и процессам в нефтегазовой отрасли. Это ключевой фактор повышения эффективности производства и снижения издержек.

Внедрение единого профессионального языка демонстрирует комплекс положительных эффектов, включая повышение безопасности операций, улучшение межподразделенческой коммуникации, ускорение принятия решений и снижение количества ошибок. Как унифицированные технические стандарты обеспечивают совместимость оборудования, так и английский язык создает коммуникационную инфраструктуру, позволяющую согласованно работать международным командам специалистов.

Подобно единому стандарту технических параметров, английский язык создает единое коммуникационное пространство, обеспечивающее бесперебойную работу всех элементов производственной системы. Это делает его критически важным активом для успешного функционирования международных нефтегазовых проектов.

Для обмена опытом и изучения новых методов компании активно участвуют в международных конференциях и симпозиумах. Знание профессионального английского позволяет корректно эксплуатировать технику, что снижает затраты на ремонт и ускоряет внедрение инноваций. В этом контексте владение языком становится ключевым инструментом для самообразования и доступа к актуальной информации.

### **Библиографический список**

1. Кочетова М.Г. Английский язык и культура межнационального общения // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 19. Лингвистика и межкультурная коммуникация. 2018. № 2. С. 23–30.
2. Кульчицкий В. Инженеры сегодня встроены в глобальный процесс [Электронный ресурс] // <http://nanonewsnet.ru/news/2013/inzhenery-segodnyavstroeny-v-globalnyi-protsess>.
3. Старшинова, Т.А. Интегративная подготовка инженера в глобализированном мире / Т.А. Старшинова, О.А. Ларионова, Р.С. Сайфуллин // Самарский научный вестник. – 2016. – в. 2 (15). – С. 181–184.

УДК 66.067

## ВОДОПОДГОТОВКА НА НЕФТЕПРОМЫСЛАХ

*A.V. Богданова*

студент, destructiva1707@gmail.com

*Л.И. Шакирова*

студент, lina.shakirova.2005@mail.ru

Научный руководитель: *О.В. Бузова*, к.т.н., доцент, buzova\_olga@inbox.ru

Филиал РГУ нефти и газа (НИУ) имени И. М. Губкина в г. Оренбурге, Оренбург

**Аннотация:** В условиях современного производства, особенно в таких отраслях, как нефтегазовая горнодобывающая, обеспечение качественной водоподготовки становится одной из ключевых задач. Неэффективная система водоподготовки может привести к серьезным экологическим последствиям, ухудшению качества продукции и увеличению затрат на эксплуатацию оборудования.

**Ключевые слова:** пластовая вода, ППД, исследование, требования.

## WATER TREATMENT IN OIL FIELDS

*A.V. Bogdanova*

student, destructiva1707@gmail.com

*L.I. Shakirova*

student, lina.shakirova.2005@mail.ru

Scientific adviser: *О.В. Бузова*, Ph.D., Associate Professor, buzova\_olga@inbox.ru

Orenburg Branch for Gubkin Russian State University of Oil and Gas (RSU), Orenburg

**Abstract:** In modern production conditions, especially in industries such as oil and gas mining, providing high-quality water treatment is a key task. An inefficient water treatment system can lead to serious environmental consequences, poor product quality, and increased equipment maintenance costs.

**Keywords:** formation water, pressure maintenance, research, requirements.

Показатель нефтеотдачи пластов характеризует эффективность извлечения нефти из нефтяных резервуаров. Высокий коэффициент нефтеотдачи позволяет максимизировать объемы добычи, однако, со временем, по мере истощения резервуаров, он может снижаться, что приводит к уменьшению объемов извлекаемой нефти.

Основными способами увеличения нефтеотдачи пластов являются, во-первых, методы поддержания пластового давления (ППД) путем закачки воды или газа, во-вторых, паротепловое воздействие на пласт и, в-третьих, химические и гидродинамические методы [1].

Способы повышения нефтеотдачи пластов – очень дорогостоящие сложные процессы, продуктивность которых в реальных условиях зависит от большого количества факторов. Затраты на добывчу 1 т нефти эти методами в 5–10 раз выше, чем при обычном заводнении, чем и обуславливается актуальность данной работы [2].

Попутно добываемая вода, сбрасываемая на установках предварительного сброса, далее используется как рабочий агент системы ППД [3] и, соответственно, по качеству должна удовлетворять нормативным требованиям, а именно действующему отраслевому стандарту ОСТ 39-225-88. Закачиваемую воду необходимо очистить от нефти, взвешенных веществ, тяжелых металлов, агрессивных газов, сульфатвосстановливающих бактерий, содержание которых оказывает существенное влияние на коэффициент извлечения нефти.

Для исследования были взяты образцы пластовой воды, отделенной от сырой нефти при отстаивании и воды, после блока водоподготовки на промысле.

*Определение механических примесей (метод фильтрации):*

1. Вода из пласта – на фильтре осадилась остаточная нефть из пробы;
2. Сепарированная вода – примесей не обнаружено (Рис. 1).



*Рисунок 1 – Слева колба с пластовой водой, отделенной от сырой нефти при отстаивании (№ 1), справа колба с водой, после блока водоподготовки на промысле (№ 3)*

*Определение pH (при помощи pH-метра):*

1. Вода из пласта pH = 3,5;
2. Сепарированная вода pH = 5,0.

*Определение гидрокарбонатов и щелочности среды (титрованием):*

1. Вода из пласта – отрицательный результат;
2. Сепарированная вода – щелочность составляет 50мг/дм<sup>3</sup> (Рис. 2).



*Рисунок 2 – Вода, после блока водоподготовки на промысле*

*Определение концентрации кислорода, растворенного в воде (йодометрическое титрование):*

В пробах при испытании обнаружен белый осадок. Данное явление может свидетельствовать о наличии нерастворимых соединений, образующихся в результате химических реакций между компонентами подтоварной воды и кислородом (Рис. 3).



*Рисунок 3 – Слева колба с пластовой водой, отделенной от сырой нефти при отстаивании (№ 1), справа колба с водой, после блока водоподготовки на промысле (№ 3)*

*Определение общего содержания ионов железа (качественный анализ):*

1. Вода из пласта – ионы  $\text{Fe}^{3+}$  и  $\text{Fe}^{2+}$  отсутствуют;
2. Сепарированная вода – ионы  $\text{Fe}^{3+}$  и  $\text{Fe}^{2+}$  отсутствуют (Рис. 4).



*Рисунок 4 – Колба № 1 – вода из пласта + $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ ;  
Колба № 2 – вода из пласта + $\text{NH}_4\text{SCN}$ ; Колба № 3 – сепарированная вода + $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ ;  
Колба № 4 – сепарированная вода + $\text{NH}_4\text{SCN}$*

*Определение содержания сероводорода:*

1. Вода из пласта: Концентрация сероводорода в воде, отделенной от сырой нефти при отстаивании, составляет 0,2 мг (в 10 мл);
2. Сепарированная вода: Концентрация сероводорода в воде после блока водоподготовки снизилась до 0,005 мг (в 10 мл).

*Седиментация с применением коагулянтов:*

1. Вода из пласта – полупрозрачная;
2. Сепарированная вода – мутная (Рис. 5).



*Рисунок 5 – Колба № 1 – вода из пласта + $Al_2(SO_4)_3$ ; Колба № 2 – вода из пласта + $FeCl_3$ ; Колба № 3 – сепарированная вода + $Al_2(SO_4)_3$ ; Колба № 4 – сепарированная вода +  $FeCl_3$*

Полупрозрачная вода из пласта указывает на успешное удаление большинства взвешенных частиц и на наличие в ней относительно чистых компонентов, что может способствовать более эффективной эксплуатации скважин. В то же время мутная сепарированная вода указывает на наличие остатков взвешенных частиц, которые не были полностью удалены в процессе коагуляции, что может негативно сказаться на дальнейшей обработке этой воды. Исследуемые образцы подтоварной воды относятся к хлоридно-натриевому типу подземных вод, имеют кислую реакцию.

Таким образом, в соответствии с отраслевыми нормативными такими воды по содержанию нефти можно закачивать только в высокопроницаемые коллектора, по содержанию взвешенных веществ ни одна из 2 проб не соответствует нормативам качества, что неминуемо приведет к падению приемистости скважин. Концентрация железа в двух пробах не превышает рекомендуемые значения, что не скажется на приемистости скважин. Концентрация сероводорода лишь слегка превышает норматив качества воды, что означает необходимость дальнейшей сепарации воды до полного удаления  $H_2S$ .

#### **Библиографический список**

1. А.Р. Хафизов, В.В. Чеботарев, Н.В. Пестрецов, В.В. Шайдаков, А.Б. Лаптев, Д.Е. Бугай, А.Н. Емельянов, Л.Е. Каштанова, К.В. Чернова, Сбор, подготовка и хранение нефти. Технология и оборудование. Учеб. пособие. – М.: Изд-во УГНТУ, 2009. – с. 551.
2. Шешегова И. Г., Бусарев А. В., Нестеров Н. В. Некоторые аспекты подготовки технической воды для заводнения нефтеносных горизонтов: сб. докладов XII Международной научно-технической конференции, посвященной памяти академика РАН Яковлева С.В. Яковлевские чтения / МГСУ. М., 2017. С. 217–220.
3. Е.А. Хохрякова, Я.Е. Резник, Водоподготовка: Справочник. – М.: Аква-Терм, 2007. – 240 с.

4. Назаров В.Д., Назаров М.В., Гузайров И.Ш., Иванов М.Е. Подготовка подтоварных вод для использования в системе ППД низкопроницаемых коллекторов нефти // Нефтепромысловое дело. 2017. № 6. с. 35–56.
5. Закшевская Л.В. Требования к качеству вод, используемых в системах ППД ООО «Лукойл-Пермь» // Инженерная практика. 2015. № 1. с. 64–70.
6. Шешегова И.Г., Бусарев А.В., Нестеров Н.В. Некоторые аспекты подготовки технической воды для заводнения нефтеносных горизонтов: сб. докладов XII Международной научно-технической конференции, посвященной памяти академика РАН Яковлева С.В. Яковлевские чтения / МГСУ. М., 2017. С. 217–220.

УДК 628.147.22

## ПОЛИМЕРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ В АНТИКОРРОЗИОННОЙ ЗАЩИТЕ ТРУБОПРОВОДОВ НЕФТЕПРОМЫСЛОВ

**Л.И. Шакирова**

студент, lina.shakirova.2005@mail.ru

**Е.П. Родькина**

студент, rodkinaliza555@gmail.com

**А.А. Федосеев**

студент, fedosh05@list.ru

**Ю.А. Полич**

студент, Julia.polich.05@mail.ru

Научный руководитель: **Л.И. Мухамедьярова**, к.х.н., доцент

mukhamedyarova.l@gubkin.ru

Филиал РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина в г. Оренбурге, Оренбург

**Аннотация:** Рассматривается проблема коррозии нефтепромысловых трубопроводов и анализируется применение полимерных материалов для их антакоррозионной защиты. Обсуждаются преимущества полимерных покрытий, такие как химическая стойкость и долговечность, а также их роль в повышении надежности трубопроводных систем.

**Ключевые слова:** полимерные материалы, антакоррозионная защита, коррозия, полимерные покрытия, защита от коррозии.

## POLYMER MATERIALS IN ANTI-CORROSION PROTECTION OF OILFIELD PIPELINES

**L.I. Shakirova**

student, lina.shakirova.2005@mail.ru

**E.P. Rodkina**

student, rodkinaliza555@gmail.com

**A.A. Fedoseev**

student, fedosh05@list.ru

**Y.A. Polich**

student, julia.polich.05@mail.ru

Scientific adviser: **L.I. Mukhamedyarova**, Ph.D., Associate Professor

mukhamedyarova.l@gubkin.ru

Orenburg Branch for Gubkin Russian State University of Oil and Gas (RSU), Orenburg

**Abstract:** This article addresses the problem of corrosion in oilfield pipelines and analyzes the use of polymeric materials for their anticorrosive protection. The advantages of polymer coatings, such as chemical resistance and durability, are discussed, along with their role in enhancing the reliability of pipeline systems.

**Keywords:** polymeric materials, antikorrosion protection, corrosion, polymer coatings, corrosion protection.

Наибольший материальный ущерб трубопроводной сети нефтепромыслов наносит коррозия, которая приводит к сокращению сроков ее службы, возникновению аварийных ситуаций, повышению эксплуатационных и ремонтных расходов, приводит к потерям транспортируемой продукции, снижению ее качества и загрязнению окружающей среды [1].

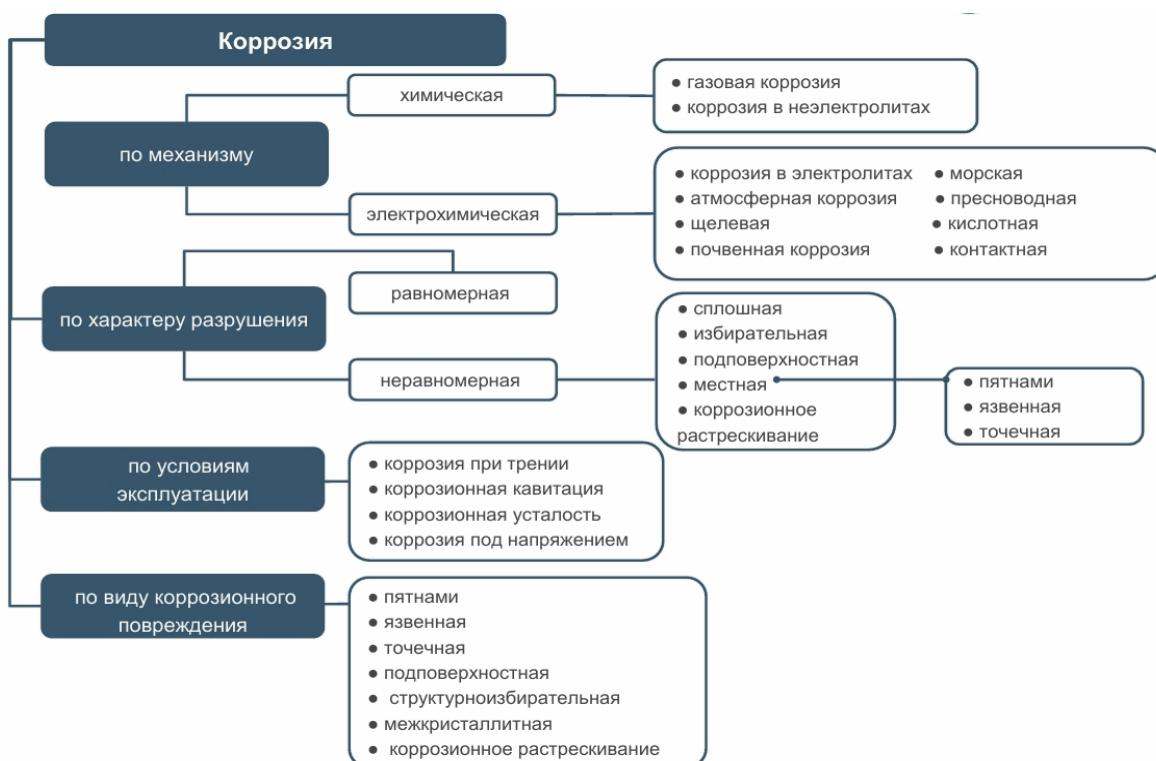
Опыт эксплуатации стальных трубопроводов, транспортирующих высоко агрессивные среды нефтепромыслов, показывает, что средний срок их службы сокращается с 12–15 лет до 2–3 лет.

Общая протяженность российских промысловых и технологических трубопроводов превышает 300 тыс. км и ежегодно увеличивается. При этом каждые 15 лет часть из них из-за износа требует ремонта и реконструкции. Так, до 70% металлических труб выводится из эксплуатации по причине коррозии.

*Коррозия – это разрушение металла вследствие его химического или электрохимического взаимодействия с окружающей коррозионной средой [2].*

По механизму протекания коррозионные процессы делятся на химическую и электрохимическую коррозию (таблица 1).

**Таблица 1 – Виды коррозии**



Использование труб из полимерных и композитных материалов в нефтегазовой отрасли началось в конце 1950-х годов.

Полимерные трубы используются на промыслах в нефтяной промышленности как альтернатива стальным трубам. Их применяют для строительства технологических трубопроводов, в основном систем подготовки нефти, газа, воды. Также полимерные трубы используют в качестве транспортировки НСЖ непосредственно на промысле.

*Материалы и применение:*

**1. Полиэтилен (ПЭ):** наиболее распространенный материал для производства труб. Обладает высокой эластичностью и устойчивостью к низким температурам. Используется для транспортировки газа и нефти. Особенно эффективен в *промышленных трубопроводах* и системах поддержания пластового давления.

**2. Сшитый полиэтилен (РЕХ):** полиэтилен с улучшенными характеристиками благодаря специальной обработке («сшивке»). Благодаря повышенной термостойкости используется для транспортировки **горячих жидкостей и пара**.

**3. Полипропилен (ПП):** часто используется для создания **обсадных колонн в скважинах**, а также в технологических трубопроводах на объектах нефтепереработки благодаря своей высокой химической стойкости.

**4. Стеклопластиковые и композитные трубы:** высокотехнологичные многослойные трубы, армированные стекловолокном или другими прочными материалами. Их используют в морских проектах, а также в магистральных трубопроводах для транспортировки газа.

Полимерные армированные трубы (ПАТ) отличаются коррозионной стойкостью, гибкостью, износостойкостью, долговечностью, простотой транспортировки, высокой скоростью монтажа и низкими затратами на обслуживание трубопроводов, поэтому они приобретают все большую популярность [3].

Полиэтилен – термопластичный полимер этилена, является вязкоупругим материалом, поведение которого в деформированном состоянии зависит от нагрузки, температуры и времени.

Для труб со связанными слоями наличие в размещённого в полимерной матрице стального корда совершенно не влияет на надёжность, так как в связанных слоях не происходит накопления и скопления агрессивных сред [4].

Основу конструкции трубы составляет жесткий решетчатый каркас, выполненный из стальной проволоки, который обеспечивает прочность и устойчивость к механическим нагрузкам. Этот каркас окружен слоем полимерного материала, который образует как внутренние, так и внешние поверхности трубы [5]. Полимерный слой защищает сталь от коррозии, что особенно важно в условиях нефтегазодобычи, где трубы подвергаются воздействию агрессивных сред, таких как нефть, газ и минерализованные воды (Рис. 1).

Благодаря сочетанию стальной арматуры и полимерного покрытия, труба обладает высокой прочностью, устойчивостью к износу и коррозии, а также способностью выдерживать высокие давления и температуры.



*Рисунок 1 – Полимерная труба, армированная сетчатым каркасом*

В России уже действуют 8 актуальных ГОСТов, учитывающих полимерные решения для промысловых трубопроводов. Столько же нормативных документов находится в стадии планирования и доработки. Отраслевое лоббирование и организация профессиональных консультаций при разработке технических документов будут способствовать усилению позиций полимерной продукции в нефтегазовом секторе.

Таким образом, **полимерные трубы** – это не только защита от коррозии, но и **существенная экономия** в долгосрочной перспективе, несмотря на первоначальные инвестиции. Это инвестиция в надежное и эффективное будущее нашей трубопроводной сети.

### **Библиографический список**

1. Ангал Р. Коррозия и защита от коррозии: учеб. пособие: пер. с англ. / Р. Ангал. – Долгопрудный: Издательский Дом «Интеллект», 2014. – 344 с.
2. Жук Н.П. Курс теории коррозии и защиты металлов: учеб. пособие / Н.П. Жук. – Москва: Металлургия, 2006. – 472 с.
3. Бердник М.М. Анализ применения полимерных армированных труб на объектах промысловых и магистральных трубопроводов / М.М. Бердник, М.Е. Благинина // Перспективы развития геологии, горного и нефтегазового дела: материалы научно-практической конференции, Москва, 29 сентября 2023 года. – Москва: Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы, 2023. – С. 58–60. – EDN ANJHUA.
4. Агапчев В.И., Виноградов Д.А. Трубопроводы из полимерных и композиционных материалов М.: Изд-во «Интер», 2004 – 228 с.
5. Агапчев В.И., Виноградов Д.А., Ращепкин А.К., Исламов А.Р. Металлопластовые трубы для обустройства нефтегазопромыслов // Нефтегазовое дело. – Уфа: УГНТУ, 2004, – № 2. – С. 129–135.

УДК 546.34

## ХИМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СОДЕРЖАНИЯ ЛИТИЯ И СТРОНЦИЯ В ПЛАСТОВЫХ ВОДАХ ОНГКМ

*V.O. Богомолова*

студент, vikasinginsingin18@gmail.com

Научный руководитель: *Курякова Т.А.*, канд. тех. наук, доцент, kuryakova.t@gubkin.ru  
Филиал РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина в г. Оренбурге, Оренбург

**Аннотация:** Пластовые воды Оренбургского нефтегазоконденсатного месторождения (ОНГКМ) представляют собой перспективный источник ценных компонентов, таких как литий и стронций. В данной работе представлены результаты лабораторных исследований по химическому анализу пластовых вод ОНГКМ на содержание лития и стронция.

**Ключевые слова:** пластовые воды, литий, стронций, фотометрия, титрование, химический анализ, Оренбургское нефтегазоконденсатное месторождение (ОНГКМ).

## CHEMICAL ANALYSIS OF LITHIUM AND STRONTIUM CONTENT IN OIL AND GAS FIELD WATERS

*V.O. Bogomolova*

student, vikasinginsingin18@gmail.com

Scientific adviser: *T.A. Kuryakova*, Candidate of Technical Sciences, docent,  
kuryakova.t@gubkin.ru

Orenburg Branch for Gubkin Russian State University of Oil and Gas (RSU), Orenburg

**Abstract:** The reservoir waters of the Orenburg Oil and Gas Condensate Field (OOGCF) are a promising source of valuable components such as lithium and strontium. This paper presents the results of laboratory studies on the chemical analysis of the reservoir waters of the OOGCF for lithium and strontium content.

**Keywords:** reservoir water, lithium, strontium, photometry, titration, chemical analysis, Orenburg Oil and Gas Condensate Field (OOGCF).

Пластовые воды Оренбургского нефтегазоконденсатных месторождений (ОНГКМ) представляют собой перспективный источник ценных компонентов, таких как литий и стронций, о чем свидетельствует их высокая минерализация [1].

Анализ лития в пластовой воде проводился с применением фотометрического и титриметрического методов. Для обеспечения точности результатов пробу подготовили в 4 этапа.

Первым этапом подготовки пробы пластовой воды стала процедура фильтрации с целью удаления взвешенных механических примесей. Для проведения процесса использовали установку для вакуумной фильтрации, состоящую из колбы Бунзена, воронки Бюхнера и вакуумного насоса. В качестве фильтрующего материала применялся бумажный фильтр «синяя лента» с номинальным размером пор 1–3 мкм [2].

Эта процедура необходима для удаления механических примесей – частиц нефти, песка и глины. Такие примеси не только засоряют поры ионообменной смолы, снижая её эффективность, но и искажают оптические измерения из-за светорассеяния. Содержание механических примесей считается по формуле 1.

После фильтрации было посчитано содержание механических примесей по формуле:

$$\omega = \frac{(m(\text{фильтр} + \text{примеси}) - m(\text{фильтр})) * 10^3}{V} = \frac{(1,37 - 0,57) * 10^3}{0,5} = 1740 \frac{\text{мг}}{\text{л}}, \quad (1)$$

где  $\omega$  – содержание механических примесей, мг/кг;

$m(\text{фильтр} + \text{примеси})$  – масса фильтра с примесями после фильтрации, г;

$m(\text{фильтр})$  – масса чистого фильтра до анализа, г;

$V$  – объём пробы воды, м<sup>3</sup>.

Далее провели ионообменную очистку для устранения мешающих катионов. Очистка проводилась методом ионообменной хроматографии на катионите КУ-2-8 в H<sup>+</sup>-форме, откалиброванном по ГОСТ 10896-78 «Смолы ионообменные. Методы определения обменной емкости» [3].

Если их не удалить, они конкурируют с литием за активные центры смолы и реагентов, что приводит к ложным результатам. Так, при фотометрии ионы Mg<sup>2+</sup> и Ca<sup>2+</sup> могут маскировать сигнал лития из-за схожести спектров поглощения их комплексов с хромогенами. Для оптимальной работы смолы скорость пропускания пробы через колонку поддерживали на уровне 2 мл/мин, а pH среды регулировали в диапазоне 6,5–7,0.

Однако также катионит связывает катионы стронция, поэтому для анализа на стронций была проведена другая процедура очистки. В стакане на 500 мл с отфильтрованной пластовой водой добавляем капельно щелочь до достижения pH значением в 10.

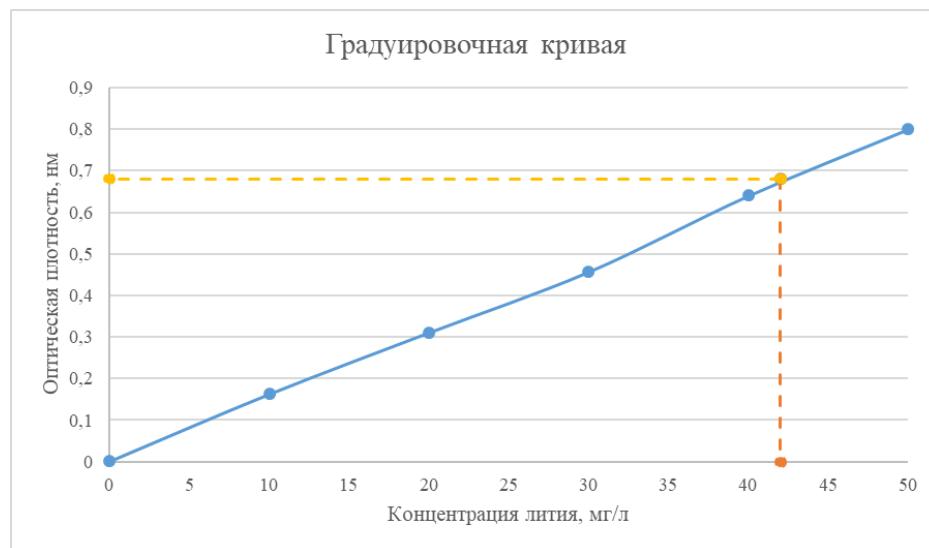
Фотометрическое определение массовой концентрации лития в подготовленной пробе пластовой воды было проведено на спектрофотометре КФК-2 с использованием в качестве хромогенного реагента пирокатехина, образующего в щелочной среде специфический окрашенный комплекс с ионами лития Li<sup>+</sup>. Для обеспечения максимальной чувствительности и селективности анализа значение pH анализируемого раствора было доведено до оптимального диапазона 10–11 путем добавления раствора гидроксида натрия.

Предварительно была приготовлена серия стандартных растворов лития известной концентрации для построения калибровочного графика, который использовался для установления количественной зависимости между оптической плотностью и концентрацией определяемого элемента.

Корректировку pH выполняли растворами HCl и NaOH. Для построения калибровочной кривой (Рисунок 1) использовали серию рабочих растворов лития с концентрациями 0–50 мг/л, стабилизированных аммиачно-ацетатным буфером. После добавления реагента раствору дают отстояться 10–15 минут. Это время необходимо для завершения реакции. Результаты представлены в Таблице 1:

**Таблица 1 – Полученные при градуировке данные**

Стандарт, мг/л	Оптическая плотность ( $\lambda = 470$ нм)
0,0	0,001
10,0	0,163
20,0	0,311
30,0	0,457
40,0	0,640
50,0	0,800

*Рисунок 1 – Полученная градуировочная кривая*

По значениям оптической плотности образца в 0,682 нм была использована калибровочная кривая для определения концентрации лития в пробе.

Полученные данные о концентрации лития в пластовой воде 40–42 мг/л свидетельствуют о его значительном содержании, что открывает перспективы для промышленного извлечения.

Анализ пластовых вод на стронций был проведен при помощи комплексонометрическим титрованием. Титrimетрический метод основан на взаимодействии стронция с эриохромом черным T, которая связывает ионы  $Sr^{2+}$ , исходя из этого составляется формула 2. В пробу добавляют несколько капель индикатора. Через бюретку медленно добавляют раствор ЭДТА при постоянном перемешивании. Титрование продолжается до смены окраски раствора, что указывает на завершение реакции от красного к синему окрашиванию.

Содержание стронция вычисляют по формуле:

$$C_{Sr} = \frac{V_{\text{ЭДТА}} \cdot C_{\text{ЭДТА}} \cdot M(Sr)}{V_{\text{пробы}}} = \frac{29,6 * 0,05 * 87,62}{0,5} = 259 \frac{\text{мг}}{\text{л}}, \quad (2)$$

где  $V_{\text{ЭДТА}}$  – объём израсходованного титранта (мл);

$C_{\text{ЭДТА}}$  – молярная концентрация ЭДТА;

M(Sr) – молярная масса стронция (87,62 г/моль);

V пробы – объём анализируемой пробы (л).

Таким образом, концентрация стронция составляет 259 мг/л, лития – 40–42 мг/л, а содержание механических примесей достигает 1740 мг/л. Для определения стронция использовано титрование с ЭДТА и эриохромом чёрным Т, литий измерен методом фотометрии с пирокатехином, а механические примеси рассчитаны по разнице массы фильтра до и после фильтрации. Полученные результаты свидетельствуют о высоком потенциале пластовых вод ОНГКМ в качестве техногенного источника стратегически важных металлов. Ключевой сложностью является высокое содержание механических примесей и сопутствующих солей жёсткости. Они создают высокую конкуренцию за активные центры сорбентов и реагентов, что делает необходимой разработку высокоселективных методов извлечения или введение дополнительных стадий отчистки, что экономически и экологически невыгодно.

### **Библиографический список**

1. Богомолова В.О. Лабораторные исследования пластовых вод Оренбургского НГКМ для выявления содержания лития и стронция / В.О. Богомолова, Т.А. Курьякова // ИННОВАЦИИ. ИНТЕЛЛЕКТ. КУЛЬТУРА: материалы VIII Международной научно-практической конференции. – Тюмень, 2025. – С. 16–18.
2. ГОСТ 31861-2012 Вода. Общие требования к отбору проб: межгосударственный стандарт. – Введ. 2014-01-01. – Текст: электронный // Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии: [сайт]. – URL: <http://protect.gost.ru/document.aspx?control=7&id=202915> (дата обращения: 18.09.2025).
3. ГОСТ 10896-78 Иониты. Подготовка к испытанию: межгосударственный стандарт. – Введ. 1980-01-01. – Текст: электронный // Meganorm.ru: [сайт]. – URL: <https://meganorm.ru/Index2/1/4294840/4294840000.htm> (дата обращения: 18.09.2025).

УДК 504.75

## ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА НА НЕФТЕГАЗОВУЮ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ОРЕНБУРГСКОЙ ОБЛАСТИ

*А.Д. Быкова*

студент, bykovaangelina50@gmail.com

Научный руководитель: *Л.И. Мухамедьярова*, к.х.н, L554005@mail.ru

Филиал РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина в г. Оренбурге

**Аннотация:** В статье рассматривается комплексное воздействие наблюдаемых и прогнозируемых изменений климата на нефтегазовый комплекс Оренбургской области – одного из ключевых энергетических регионов России. Проанализированы прямые и косвенные риски, связанные с повышением средних температур, изменением режима осадков, увеличением частоты экстремальных погодных явлений.

**Ключевые слова:** изменение климата, нефтегазовая отрасль, Оренбургская область, риски, адаптация, инфраструктура.

## THE IMPACT OF CLIMATE CHANGE ON OIL AND GAS ACTIVITIES IN THE ORENBURG REGION

*A.D. Bykova*

Scientific supervisor: *L.I. Mukhamedyarova*, Ph.D. in chemistry

Orenburg Branch for Gubkin Russian State University of Oil and Gas (RSU), Orenburg

**Abstract:** The article examines the complex impact of observed and projected climate change on the oil and gas complex of the Orenburg Region, one of the key energy regions in Russia. It analyzes the direct and indirect risks associated with rising average temperatures, changing precipitation patterns, and increasing the frequency of extreme weather events.

**Keywords:** climate change, oil and gas industry, Orenburg Region, risks, adaptation, and infrastructure.

Земля претерпевает постоянное изменение климата. По информации Всемирной метеорологической организации (ВМО), в 2023 году средняя глобальная температура была примерно на 1,45° С выше доиндустриального (1850–1900 гг.) уровня. 2023 год считается одним из самых теплых за 174 года [1].

Оренбургская область располагает внушительными запасами природных богатств, в особенности минеральных ресурсов, таких как нефть, природный газ, уголь и прочие. Регион входит в число лидеров России по объему добычи нефти и газа (рис. 1). В последние годы, начиная с 2019 года, наблюдаются колебания в объемах добычи нефти. В 2021 году произошло увеличение объемов добычи, однако в 2022 году наблюдалось резкое снижение, что негативно сказалось на бюджете региона [2]. Эти изменения указывают на важность изучения влияния климатических изменений на нефтедобычу в регионе, так как они могут оказывать влияние на доступность ресурсов, условия труда и, в конечном итоге, на экономическую стабильность региона.

В последние десятилетия изменение климата стало глобальным вызовом, оказывающим значимое влияние на все сектора экономики, особенно на инфраструктурно-зависимые, к которым относится нефтегазовая отрасль. Для Оренбургской области, расположенной в зоне с континентальным климатом, последствия климатических изменений проявляются в виде роста средних температур, смещения климатических сезонов и увеличения частоты опасных гидрометеорологических явлений. Целью данной работы является оценка специфических рисков и потенциальных последствий изменения климата для нефтегазовой деятельности в Оренбургской области и определение возможных направлений адаптационных мер.



*Рисунок 1 – Расположение предприятий нефтегазовой отрасли на территории Оренбургской области*

Климат Оренбургской области характеризуется умеренно континентальными условиями, что проявляется в значительных температурных колебаниях между зимним и летним сезонами, а также в низком уровне осадков. Однако в течении последних лет данные показатели стали отклоняться от своей нормы. По информации на 2023 год, из-за глобального потепления средняя температура воздуха на Южном Урале за последние 50 лет повысилась на 1,2–1,8° С. Примерно каждые 10 лет температура зимой повышается на 1 градус [4]. На данный момент в области зафиксированы следующие климатические изменения: увеличение числа жарких дней (температура выше +30° С), сокращение продолжительности холодного периода и уменьшение глубины промерзания грунта, изменение режима атмосферных осадков: рост неравномерности их выпадения, учащение периодов засухи, с одной стороны, и ливневых дождей, приводящих к паводкам, – с другой, усиление повторяемости таких опасных явлений, как сильные ветры, шквалы, град. Данные тенденции создают новые вызовы для устойчивой работы объектов нефтегазовой инфраструктуры.

Климатические риски – это потенциальные риски, которые могут оказывать влияние на финансовое состояние компаний ввиду изменения климата. Воздействие климатических рисков на нефтегазовую промышленность бывает прямое и косвенное.

Прямые воздействия: климатические изменения приводят к увеличению числа экстремальных погодных явлений(штормы, наводнения, засухи и др.), которые могут стать причиной дополнительных затрат; из-за увеличения температуры более чем на +25° С возможно снижение производительности компрессорных станций, что может привести к уменьшению объемов добываемого газа, непредвиденное колебание температуры увеличивает риск

поломок оборудования; повышенная влажность увеличивает риск возникновения эрозии, которая является причиной ухудшения состояния нефтяных месторождений и состояния нефти; возникновение таких природных явлений как паводки и наводнения влечёт за собой риск подтопления скважин, что приводит к приостановке работы на данном месторождении.

Косвенные воздействия: нефтегазовая промышленность критически зависит от водных ресурсов, которые необходимы для таких процессов, как приготовление буровых растворов, функционирование систем охлаждения и поддержание пластового давления, учащающиеся засухи создают риск дефицита воды в регионе; изменение климата ведет к ужесточению требований к углеродному следу продукции, включая природный газ и нефть, для Оренбургской области, где добыча сопровождается значительными выбросами попутного нефтяного газа и парниковых газов на ГПЗ, это означает необходимость масштабных инвестиций в модернизацию для снижения выбросов, улавливания и хранения углерода, а также риск снижения конкурентоспособности продукции на международных рынках.

Президентом РФ была подписана климатическая доктрина, которая представляет собой основу для разработки и реализации новой климатической политики [5]. Её главной целью является сокращение количества выбросов парниковых газов, которые представляют собой основную причину увеличения темпов глобального потепления. В условиях изменения климата на нефтегазовые компании накладываются определённым обязательства, поскольку они должны заблаговременно реагировать на потенциальные угрозы.

Нефтегазовые предприятия Оренбургской области, которые больше всего загрязняют атмосферу: ОАО «Оренбургнефть» (на его долю приходится 89,4% от выбросов загрязняющих веществ по этому региону), ООО «Газпром добыча Оренбург», ОАО «Орскнефтеоргсинтез» (основной источник выбросов фенола и сероводорода в атмосферу Орска) [6].

Стоит взять во внимание, что инвесторы чаще всего ориентируются на компании с более высокой экологической ответственностью. «Газпромнефть-Оренбург» в 2021 году внедрила инновационную блочно-модульную установку отбензинивания газа, что позволило снизить выбросы углекислого газа на 7%, компания также достигла высокого уровня утилизации попутного нефтяного газа (98,5%) на восточном участке Оренбургского месторождения, помимо этого, предприятие активно участвует в экологических инициативах, таких как высадка деревьев (более 3000 за последние годы) и очистка берегов рек Урал и Бердянка. За свою экологическую деятельность компания неоднократно отмечалась наградами в конкурсе «Лидер экономики Оренбургской области». В 2024 году компания «Оренбургнефть» вложила значительные средства (более 3,2 млрд рублей) в экологические проекты, охрану и восстановление природы: повышение прочности трубопроводов, внедрение энергосберегающих технологий, развитие экологического волонтёрства, участие в сохранении природных ландшафтов региона.

Проведенное исследование демонстрирует, что изменение климата является значимым фактором, оказывающим комплексное негативное влияние на нефтегазовую отрасль Оренбургской области. Как прямые, так и косвенные климатические риски уже сейчас вынуждают компании нести дополнительные затраты и могут негативно сказываться на экономических показателях. Ответом на эти вызовы становятся адаптационные меры, включающие инвестиции в модернизацию оборудования, внедрение ресурсосберегающих технологий и реализацию природоохранных программ, примеры которых уже есть в практике местных компаний.

### **Библиографический список**

1. United in Science 2020. Greenhouse Gas Concentrations in the Atmosphere – Global Atmosphere Watch (GAW). WMO. URL: [https://public.wmo.int/en/resources/united\\_in\\_science](https://public.wmo.int/en/resources/united_in_science) (Дата обращения: / Accessed: 25.11.2020).
2. Иневатова О.А., Гореликова-Китаева О.Г., Дьяконова Ю.П. «Анализ современного состояния и тенденции развития нефтегазового комплекса Оренбургской области» – Экономические – науки 2024, № 11 – УДК 332 DOI: 10.14451/1.240.158. – 158–163 с.
3. Соколов Ю.И. Риски экстремальных погодных явлений // Проблемы анализа риска. Т. 15. 2018. № 3. С. 6–21. [Sokolov Yu.I. Risks of extreme weather events // Issues of Risk Analysis. Vol. 15. 2018. No. 3. P. 6–21. (In Russ.)].
4. Третий оценочный доклад об изменениях климата и их последствия на территории РФ. Общее резюме. – СПб.: Наукомкие технологии, 2022. – 124 с.
5. Указ Президента РФ от 26 октября 2023 г. № 812 «Об утверждении Климатической доктрины Российской Федерации».
6. Шабанова С.В., Голофаева А.С., Сердюкова Е.А., Мозалова Н.П. «Загрязнение окружающей среды предприятиями нефтегазового комплекса Оренбургской области» – Охрана труда и техника безопасности на промышленных предприятиях № 11, 2017, изд. дом «Панорама» УДК: – 632.15.

УДК 514.18

**ОЦЕНКА УРОВНЯ ГЕОМЕТРО-ГРАФИЧЕСКИХ ЗНАНИЙ У СТУДЕНТОВ  
НАПРАВЛЕНИЯ «НЕФТЕГАЗОВОЕ ДЕЛО»**

*M.A. Ванчинова*

к.п.н., доцент, dpo.oren@gubkin.ru

*E.A. Афанасьева*

к.фил.н., доцент, afanas0811@mail.ru

*O.V. Салихова*

к.и.н., доцент olgavk1983@mail.ru

*A.S. Колбинцева*

к.п.н., доцент kas\_anny@list.ru

Филиал РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина в г. Оренбурге, Оренбург

**Аннотация:** Исследование заключалось в определении критериев обеспечения развития базового уровня геометро-графических знаний у студентов направления «Нефтегазовое дело». В качестве инструментария исследования использованы способы имитационного моделирования и статистической обработки эмпирических данных, с применением визуальных и геометрических методов анализа.

**Ключевые слова:** геометро-графические знания, графика, инженерное образование, преподавание.

**ASSESSMENT OF THE LEVEL OF GEOMETROGRAPHIC KNOWLEDGE  
OF STUDENTS IN THE OIL AND GAS INDUSTRY TRAINING PROGRAM**

*M.A. Vanchinova*

Ph.D., Associate Professor, dpo.oren@gubkin.ru

*E.A. Afanasyeva*

Ph.D., Associate Professor, afanas0811@mail.ru

*O.V. Salikhova*

Ph.D., Associate Professor olgavk1983@mail.ru

*A.S. Kolbintseva*

Ph.D., Associate Professor kas\_anny@list.ru

Orenburg Branch for Gubkin Russian State University of Oil and Gas (RSU), Orenburg

**Abstract:** The study was aimed at determining the criteria for ensuring the development of a basic level of geometric and graphic knowledge among students in the field of oil and gas engineering. The study used simulation modeling and statistical processing of empirical data, as well as visual and geometric analysis methods.

**Keywords:** geometric and graphic knowledge, graphics, engineering education, teaching.

Перспективная система высшего образования предполагает три уровня обучения: базовое высшее образование, специализированное высшее образование и послевузовское (дополнительное) образование. Базовое образование, включающее инженерное, длится от 4 до

6 лет в зависимости от курса обучения. Общий переход на новую систему высшего образования в России намечен на 2025 год [1].

В контексте предстоящих реформ ситуация для вузов складывается таким образом, что вновь предстоит разработка образовательных программ или коррекция существующих. При этом нужно максимально учитывать опыт работы в условиях Болонской системы, в основе которой лежит фундаментальность образования. К сожалению, российскому высшему образованию в настоящий момент свойственна фрагментарность и снижение базового уровня, что во многом обусловлено общим кризисом российской системы образования, падением престижа знаний и науки, а также ослаблением кадрового потенциала высшей школы [3].

Созданием интерактивных инструментов для поддержки обучения техническому черчению также заняты преподаватели из стран Балтии. Модрис Добелис из Рижского технического университета с коллегами из Польши и Словакии разрабатывают интерактивные и анимационные материалы для обучения студентов черчению. Предполагается, что обучение будет доступно на онлайн-платформе. Проблемы преподавания геометро-графических дисциплин в условиях жесткого сокращения учебных часов коллеги, занятые в Болонском процессе, не описывают, из чего можно сделать предположение об отсутствие таких проблем.

Все инженерные вузы России, и, частично, стран постсоветского пространства и бывшего «соцлагеря», пошли по пути увеличения блока гуманитарных дисциплин за счет дисциплин технического профиля, к которым следует отнести дисциплины графического цикла. Недостаточное количество аудиторных часов предлагается компенсировать путем упрощения курсов. В связи с сокращением объема контактной работы, и, как следствие, увеличением объема работы самостоятельной, делаются попытки перевода обучения в формат дистанционного, с применением цифровых технологий.

Как обеспечить качественную геометро-графическую подготовку таким образом, чтобы добиться воспитания талантливых инженеров и, как следствие, достижения технологического суверенитета страны. Для этого, по мнению авторов, необходимо решить ряд задач:

- оценить качество довузовской геометро-графической подготовки, и перспективы качества подготовки абитуриентов;
- определить влияние объема учебных часов, выделенных дисциплинам графического блока, на качество геометро-графической подготовки студентов;
- определить эффективность объединения в одно целое дисциплин графического блока (введение в обучение дисциплин – «коктейлей») на качество геометро-графической подготовки студентов;
- выявить влияние числа семестров, выделенных дисциплинам графического блока, на качество геометро-графической подготовки.

В качестве инструментальной базы использовать методы имитационного моделирования и статистической обработки экспериментальных данных, с привлечением визуальных и геометрических методов анализа. Данные для исследования взяты из учебных планов подготовки специалистов набора 2022–24 гг., находящихся в открытом доступе, а также документации промежуточной аттестации (экзаменационных и зачетных ведомостей) филиала РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина. Авторы использовали ПО CurveExpert 1.4 (программа подбора одномерных геометрических моделей по экспериментальным данным) и SMath Studio – математический пакет, позволяющий

производить разнообразные научные и инженерные расчеты. На первом этапе был проделан анализ изменения качества подготовки абитуриентов на основе результатов единого государственного экзамена. Результаты проведенного моделирования позволяют сделать промежуточный вывод о том, что процесс определения проходного балла и баллов локальных предметов имеют общую закономерность и без изменения подхода к их определению нельзя изменить их значений. Поскольку эти показатели косвенно связаны с качеством обучения, то можно сделать вывод что, повышение качества довузовской подготовки будущих абитуриентов ничем не обоснована.

Оценка качества геометро-графической подготовки будущего специалиста, по мнению авторов статьи, определяется двумя компонентами: уровнем довузовской подготовки и уровнем подготовки в вузе. Получение информации о качестве довузовской геометро-графической подготовки задача в нашем случае практически не разрешимая. Можно предположить, что косвенно с этой компонентой может быть связан проходной балл ЕГЭ. При этом следует отметить, что влияние довузовской компоненты на уровень подготовки инженера не значительно и, практически, приближается к нулю. Это и послужило логической основой для факта, что уровень довузовской подготовки – величина постоянная, не превышающая средней статистической ошибки. Такое предположение, на первом этапе исследования, позволило ее не учитывать, без всякой потери общности.

Для анализа влияния вузовской компоненты формирования геометро-графической подготовки были выбраны группы студентов направления «Нефтегазовое дело» различных профилей подготовки, с разными учебными планами, и соответственно, разным количеством часов, отведенных на дисциплины графического блока. Соответствие средних значений баллов ЕГЭ вузовской системе оценок было установлено по методике функции желательности Харрингтона. Анализ данных этих таблиц позволяет предположить наличие достаточно приемлемой геометро-графической подготовки низшего уровня.

Анализ числовой информации показывает, что почти во всех учебных планах подготовки бакалавров по различным профилям содержатся компоненты с объемом практических занятий 16–18 часов в семестр. Или, если рассматривать недельный график подготовки, один час в неделю на практические и лабораторные занятия плюс один час в неделю лекционные занятия в первом семестре. Следовательно, на занятиях студент может присутствовать один раз в две недели, т. е. теоретически не более девяти раз за семестр. С учетом объективных и необъективных причин, число занятий может сократиться до трех или даже до двух. Таким образом, очное образование в вузе постепенно по количеству контактной работы приближается к заочному, очно-заочное (модульное) полностью его дублирует. Основная нагрузка, в этом случае, приходится на самостоятельную работу. Дисциплины геометро-графического цикла самостоятельно освоить студенту с выявленной базовой подготовкой, практически, невозможно.

Блок графических дисциплин ориентирован на теорию и практику моделирования объектов трехмерного пространства и пространств различной размерности. Другими словами, все чертежи – это модели геометрических объектов на двумерной плоскости. Построение таких моделей требует не только знаний, но и умения. Опираясь на многолетний стаж преподавания геометро-графических дисциплин авторы склонны считать, что передача знаний, умений и навыков, а также накопленного опыта, возможна только в результате взаимодействия обучаемого с наставником. И этот процесс не одномоментный.

### **Библиографический список**

1. Вузы России перейдут на новую систему образования к 2026 году. Какие изменения ждут студентов [Электронный ресурс] /rg.ru: Российская газета – 2023. – 6 июля. – URL: <https://rg.ru/2023/06/07/ushla-na-bazu.html?ysclid=lrby322dfy965852348> (дата обращения: 13.01.2024).
2. Семагина Ю.В. О проблемах преподавания геометро-графических дисциплин в контексте реформирования системы высшего образования [Электронный ресурс] / Ю.В. Семагина, М.А. Ванчинова // Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры: сб. материалов Всерос. науч.-метод. конф., Оренбург, 26–27 янв. 2023 г. / Оренбург. гос. ун-т ; ред. А.В. Пыхтин. – Оренбург: ОГУ, 2023. С. 2810–2814.
3. Черников А.В. Болонская система образования как средство разрушения русской цивилизации <https://danilevsky.ru/wp-content/uploads/2019/07/17-Chernikov-AV-Bolonskaya-sistema-obrazovaniya.docx>.

УДК 004.056

## ВОЗМОЖНОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИИ КИБЕРБЕЗОПАСНОСТИ В ЭПОХУ IoT

*I.N. Vashchuk*

к.п.н., доцент, vintag@list.ru

Филиал РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина в г. Оренбурге, Оренбург

**Аннотация:** В статье рассмотрена возможность унификации оборудования DPI с разных направлений использования, а именно производительность, гибкость, поддержка SDN, модульность и масштабируемость.

**Ключевые слова:** облачные вычисления, безопасность трафика, сетевая безопасность, Интернет вещей, распределенные ресурсы.

## POSSIBILITIES OF IMPLEMENTING CYBERSECURITY TECHNOLOGY IN THE IoT ERA

*I.N. Vashchuk*

Ph.D., Associate Professor, vintag@list.ru

Orenburg Branch for Gubkin Russian State University of Oil and Gas (RSU), Orenburg

**Abstract:** The article considers the possibility of unifying DPI equipment from different directions of use, namely performance, flexibility, SD support, modularity and scalability.

**Keywords:** cloud computing, traffic security, network security, Internet of Things, distributed resources.

Современный мир пронизан Интернетом вещей (IoT), где множество устройств постоянно обмениваются данными. Этот растущий и усложняющийся сетевой трафик, наряду с повсеместным распространением облачных вычислений, ставит новые вызовы безопасности. Облачные технологии, предлагая гибкое распределение ресурсов, создают динамичную среду с частой смешанной виртуальных машин, что открывает новые уязвимости. Традиционные методы защиты, основанные на физическом разделении, не справляются с этой гибкостью. Однако, промышленность уже разрабатывает решения. Технологии, такие как глубокий анализ пакетов (DPI) для идентификации трафика, программно-определяемые сети (SDN) для гибкого управления потоками и автоматизации безопасности, а также виртуализация сетевых функций (NFV) для создания общих пулов безопасности, становятся основой для нового поколения сетевого оборудования. Эти технологии, в совокупности, необходимы для эффективной защиты в эпоху IoT. В контексте телекоммуникаций, где доходы от передачи данных растут, DPI становится ключевым инструментом для оптимизации услуг, разработки новых предложений и усиления сетевой защиты.

Чтобы приложения глубокой инспекции пакетов (DPI) верхнего уровня могли работать независимо от аппаратного обеспечения нижнего уровня, а также для обеспечения масштабируемости и совместимости с различным оборудованием, унифицированный интерфейс DPI устанавливает требования к поддержке аппаратных интерфейсов. В зависимости от того, где

будет развернуто оборудование DPI в телекоммуникационной сети, оно должно поддерживать входящий и исходящий сетевой трафик на скоростях 1G/10G в сетях WAN/LAN, 2.5G/10G POS или 100 GbE.

Для интеграции оборудования DPI в сеть, необходимые сетевые интерфейсы должны быть встроены непосредственно в само устройство. Использование внешних устройств, таких как сплиттеры, коммутаторы или преобразователи протоколов, запрещено, чтобы избежать дополнительных рисков, связанных с этими дополнительными компонентами. Таким образом, помимо обеспечения достаточного количества портов и пропускной способности, унифицированное оборудование DPI должно также предлагать гибкую настройку сетевых вводов-выводов. Это означает, что должна быть возможность выбирать соответствующие интерфейсные модули для адаптации к различным условиям развертывания.

Чтобы соответствовать потребностям различных приложений DPI, универсальное DPI-оборудование должно обладать не только функциями распознавания протоколов и сбора статистических данных, но и сложными механизмами контроля над трафиком. Для обеспечения гранулированного управления, необходимого продвинутым приложениям, DPI-системы должны управлять потоками на основе результатов идентификации сетевого трафика. Помимо этого, они должны гарантировать минимальную скорость передачи данных, ограничивать максимальную скорость, а также предоставлять возможность разрешения или блокировки определённых потоков.

Для задач обеспечения сетевой безопасности критически важна поддержка DPI-оборудованием политики "белых" и "чёрных" списков, основанных на информации о потоках, включающей IP-адреса отправителя и получателя, тип протокола, порты отправителя и получателя, доменные имена и идентификаторы пользователей. Реализация этих функций традиционными методами не только усложняет процесс, но и препятствует будущим обновлениям и расширениям.

Программно-определяемые сети (SDN) могут применяться для классификации трафика с использованием многомерных метаданных. Активное внедрение SDN в индустрии позволяет реализовывать разнообразные стратегии управления потоками данных, помогая преодолеть размытость границ безопасности в виртуализированных средах. SDN способна направлять целевой трафик на виртуальные устройства сетевой безопасности, осуществляя перенаправление и объединение потоков. Более того, при перемещении виртуальных машин, благодаря своей гибкости и возможности программирования, SDN обеспечивает автоматическую миграцию соответствующих политик сетевой безопасности. Интеграция DPI с SDN-архитектурой открывает широкий спектр возможностей, выходящих за рамки простого анализа трафика. Она позволяет реализовать централизованное управление безопасностью, мультиплексирование, сбор статистики и другие функции.

Ключевые компоненты DPI-оборудования, такие как вычислительные модули и коммутаторы, должны поддерживать "горячее" резервирование. Важнейшие узлы системы, например, блоки питания и вентиляторы, должны иметь избыточность и возможность замены без остановки работы. Для устройств, которые работают в последовательной цепочке, необходим механизм обхода при сбое или отключении питания. В подобных ситуациях канал связи автоматически переключается на байпасный блок, обеспечивая непрерывность сервиса.

Поскольку данные генерируются пользователями и проходят через различные сегменты сети, от локальной до магистральной, мониторинг трафика эффективен при

размещении DPI в ключевых узлах. China Mobile определяет такие точки как: сторона пользователя, транзит через глобальную и региональную сети, а также межсетевой трафик. Объем трафика и требования к интерфейсам различаются в этих точках, поэтому универсальное устройство не всегда оптимально. Однако для снижения затрат и обеспечения масштабируемости, многие операторы предпочитают единую, масштабируемую платформу, подходящую для большинства сценариев. Решением является модульная конструкция оборудования с возможностью линейного расширения вычислительных ресурсов

Понимая критическую важность глубокой инспекции пакетов (DPI) и безопасности облачных вычислений в современном мире IoT, ADLINK представила инновационную серию компьютерных платформ CSA. Эти платформы, разработанные с учетом передовых технологий, таких как NFV, SDN и аппаратные ускорители, обеспечивают высокую производительность для DPI и закладывают фундамент для будущих поколений сетевых защитных систем. В ответ на растущие требования к производительности оборудования DPI в телекоммуникациях и облачных средах, а также на потребность в поддержке SDN для гибкости и расширенных функций, серия CSA от ADLINK предлагает решение, соответствующее тренду на использование стандартных, готовых к применению платформ (COTS). Интегрируя ключевые требования к сетевой безопасности следующего поколения на базе открытых вычислительных архитектур, платформы CSA помогут провайдерам безопасности создавать сервисы, отвечающие самым строгим стандартам DPI и облачных вычислений в эпоху IoT. Будущее предоставления услуг за облачными вычислениями, что влечет за собой глубокие преобразования в сфере традиционных ИКТ. В прошлом оборудование проектировалось по устаревшей схеме: вычислительные мощности, хранилища и устройства ввода-вывода объединялись в один физический блок, рассчитанный на пиковые нагрузки. Это часто требовало дорогостоящих переделок даже для незначительных изменений в требованиях приложений. Ключевое отличие облачных вычислений – предоставление ресурсов по мере необходимости. Это означает, что вычислительные мощности, хранение и ввод-вывод могут быть гибко скомбинированы для удовлетворения любых потребностей приложения. Для реализации такого подхода, на этапе проектирования вычисления, хранение и ввод-вывод должны быть выделены в отдельные, независимые модули. Затем, в зависимости от конкретного приложения, эти модули компонуются в нужное аппаратное решение. Архитектура OCCERA от ADLINK Technology разработана именно для этой цели. Она интегрирует новейшие технологии дата-центров, включая NFV и SDN, обеспечивая возможность модернизации ИКТ-инфраструктуры и плавный переход к стандартам ОСР. Одновременно OCCERA включает в себя лучшие практики промышленного вычислительного оборудования, такие как модульная конструкция, аппаратное ускорение и надежность операторского класса. Благодаря OCCERA, передовые технологии NFV и SDN становятся доступны для промышленных вычислений, сохраняя при этом их ключевые особенности. Это открывает для производителей видео, сетевой безопасности и телекоммуникационного оборудования легкий и эффективный путь к освоению облачных технологий. Модульная архитектура платформы CSA была выбрана для обеспечения максимальной совместимости между всеми продуктами линейки и минимизации совокупной стоимости владения. ADLINK дополнительно облегчила процесс разработки для своих клиентов, интегрировав готовые программные компоненты и промежуточное ПО с открытым исходным кодом.

Для достижения высокой пропускной способности, необходимой для сетевых решений следующего поколения, и поддержки передовых открытых компьютерных и

коммуникационных технологий, продукты CSA ADLINK оснащены аппаратным дизайном высокой плотности. Это позволяет пользователям получить доступ к широкому набору инновационных функций, которые помогут им справиться с вызовами сетевой безопасности в условиях Интернета вещей.

#### **Библиографический список**

1. Бородакий Ю.В., Лободинский Ю.Г. Эволюция информационных систем (современное состояние и перспективы) // М.: Горячая линия – Телеком. 2011. 368с. ISBN978-5-9912-0199-5.
2. Бондаренко О.А., Волович К.И., Кондрашев В.А. Мониторинг информационной безопасности как облачный сервис//Системы и средства информатики. 2014. Т. 24. № 3. С. 169-175.
3. <https://www.cta.ru/articles/cta/oborudovanie/setevoe-oborudovanie/124332/>.

УДК 531.8

## ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕМАТИЧЕСКИХ ЗАВИСИМОСТЕЙ ПЛОСКОГО ТЕЛА

**Ю.Л. Власов**

к.т.н., доцент, ulvlasov@mai.ru

Филиал РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина в г. Оренбурге, Оренбург

**А.К. Афанасьева**

студент, safanas2707@mail.ru

УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, Екатеринбург

**Аннотация:** В работе рассмотрено определение кинематических зависимостей между двумя точками тела, совершающего плоское движение. Определены зависимости между скоростями и ускорениями.

**Ключевые слова:** кинематика, плоское движение, скорость, ускорение.

## INVESTIGATION OF KINEMATIC DEPENDENCIES OF A FLAT BODY

**Y.L. Vlasov**

Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor, ulvlasov@mai.ru

Orenburg Branch for Gubkin Russian State University of Oil and Gas (RSU), Orenburg

**A.K. Afanasyeva**

student, safanas2707@mail.ru

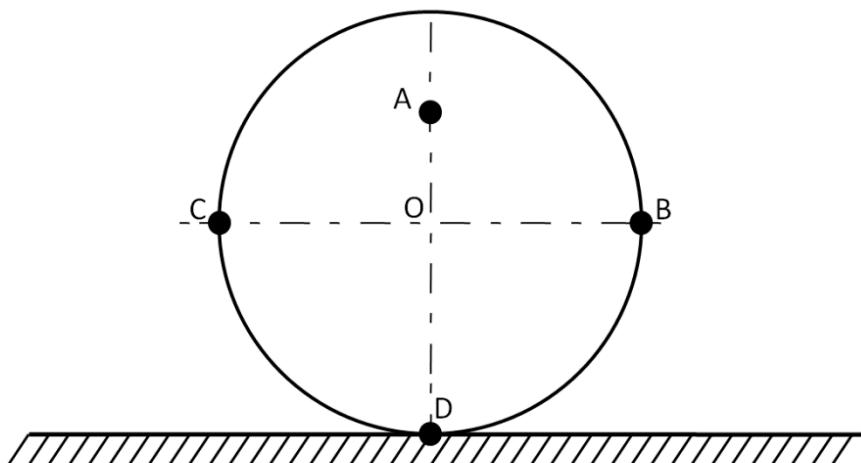
Yeltsin UrFU, Ural Federal University, Ekaterinburg

**Abstract:** The paper considers the definition of kinematic dependencies between two points of a body performing a plane motion. The dependences between velocities and accelerations are determined.

**Keywords:** kinematics, plane motion, speed, acceleration.

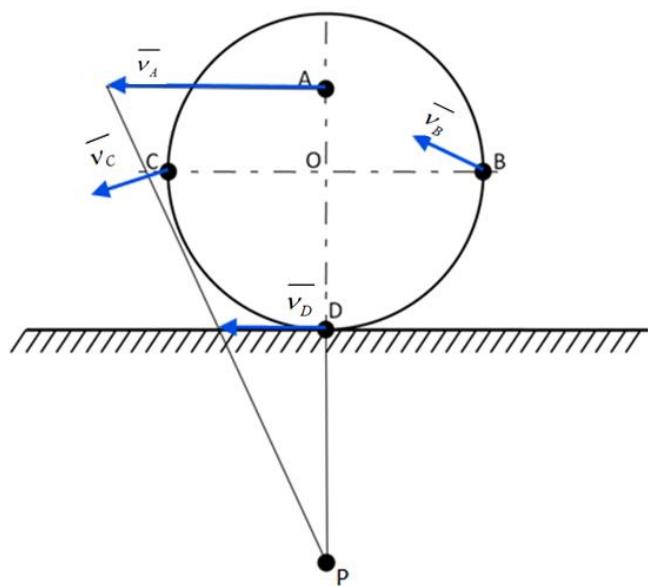
Известно, что скорости точек тела, совершающего плоскопараллельное движение, различны.

Целью работы является нахождение соотношения скоростей для двух точек, лежащих на ободе колеса, совершающего плоскопараллельное движение со скольжением. Это значит, что точка соприкосновения колеса с поверхностью не является мгновенным центром скоростей и ее скорость отлична от нуля. Определим соотношение между точками *C* и *D*. На рисунке 1 представлен круг с радиусом *r*, который считаем однородным диском. Этот диск катится с проскальзыванием по горизонтальной поверхности с угловой скоростью. На чертеже обозначены несколько точек так, что *O* – центр диска, точка *A* расположена так, что  $AO = \frac{r}{2}$ ; а также точки *C*, *D*, *B*. Также на чертеже показана горизонтальная поверхность, которая обозначает плоскость, по которой движется диск.



*Рисунок 1 – Объект исследования*

Так как диск катится с проскальзыванием с постоянной угловой скоростью, то покажем на рисунке 2 мгновенный центр скоростей (МЦС) и скорости точек А, В, С, Д.



*Рисунок 2 – Скорости точек диска*

Предположим, что МЦС расположен так, как показано на рисунке 2.

Так как скорости точек А и В равны (по условию), то:

$$V_A = \omega \cdot AP,$$

$$V_A = \omega \cdot BP,$$

$$\omega \cdot AP = \omega \cdot BP.$$

Отсюда следует, что  $AP = BP$ , тогда треугольник  $OBP$  прямоугольный.

Произведя последующие вычисления

$$AO + OD + DP = \sqrt{OP^2 + OB^2};$$

$$\frac{r}{2} + r + DP = \sqrt{(r + DP)^2 + r^2};$$

$$\left(\frac{r}{2} + r + DP\right)^2 = r^2 + DP^2 + 2 * DP * r + r^2;$$

$$\frac{r^2}{4} + \frac{r^2}{2} + \frac{r}{2} \cdot DP + \frac{r^2}{2} + r^2 + r \cdot DP + DP \cdot \frac{r}{2} + DP \cdot r + DP^2 = r^2 + DP^2 + 2 \cdot DP \cdot r + r^2;$$

$$\frac{r^2}{4} + 2 * r^2 + 3 * DP * r + DP^2 = 2 * r^2 + DP^2 + 2 * DP * r;$$

$$\frac{r^2}{4} + DP * r = 0;$$

приходим к следующему результату

$$DP = -\frac{r^2}{4 * r}.$$

Можно сделать вывод о том, что первоначальное утверждение неверно.

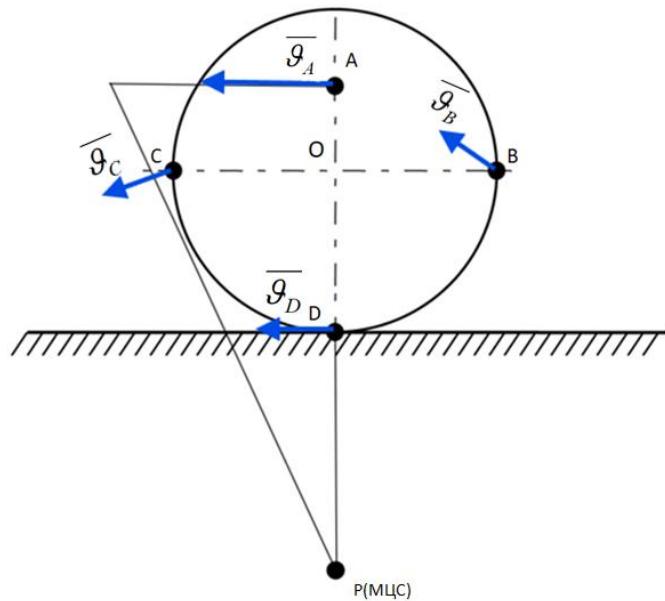


Рисунок 3 – Истинное положение МЦС

Рассмотрим второй случай, когда МЦС находится, как показано на рисунке 3:  
Тогда:  $AP = BP$  (так как их скорости равны).

$$AO + OP = \sqrt{OB^2 + OP^2};$$

$$\frac{r}{2} + OP = \sqrt{r^2 + OP^2};$$

$$\left(\frac{r}{2} + OP\right)^2 = r^2 + OP^2;$$

$$\frac{r^2}{4} + OP^2 + 2 \cdot \frac{r}{2} \cdot OP = r^2 + OP^2;$$

$$-\frac{3 \cdot r^2}{4} + 2 \cdot \frac{r}{2} \cdot OP = 0;$$

$$OP = \frac{3 \cdot r}{4}$$

Тогда:

$$\frac{V_C}{V_D} = \frac{\omega \cdot CP}{\omega \cdot DP} = \frac{\sqrt{CO^2 + OP^2}}{\frac{1}{4} * r} = \frac{\sqrt{r^2 + \left(\frac{9 \cdot r^2}{16}\right)}}{\frac{1}{4} * r} = \frac{\frac{5}{4} \cdot r}{\frac{1}{4} \cdot r} = 5.$$

Так как  $AO = \frac{r}{2}$  (по условию),  $OD$  – радиус диска, то:

$$\frac{r}{2} + r + DP = BP.$$

Рассмотрим треугольники  $COP$  и  $BOP$ , в них:

- 1)  $CO = OB$  (радиусы диска)
- 2)  $OP$  – общая сторона, отсюда следует, что  $COP = BOP$  (по двум катетам), значит:

$$CP = B,$$

$$\frac{r}{2} + r + DP = CP.$$

По методу МЦС определим скорости для точек D и C:

$$V_D = \omega \cdot DP,$$

$$V_C = \omega \cdot CP,$$

$$V_C = \omega \cdot \left( \frac{r}{2} + r + DP \right),$$

где  $V_D$  – скорости точек D.

Найдем соотношение скоростей для точек C и D.

$$\frac{V_C}{V_D} = \frac{\omega \cdot CP}{\omega \cdot DP} = \frac{\omega \cdot \left( \frac{r}{2} + r + DP \right)}{\omega \cdot DP} = \frac{\frac{r}{2} + r + DP}{DP} = \frac{3r + 2 \cdot DP}{2 \cdot DP}.$$

Теперь определим и покажем на рисунке 3 ускорения точек D и C относительно полюса O.

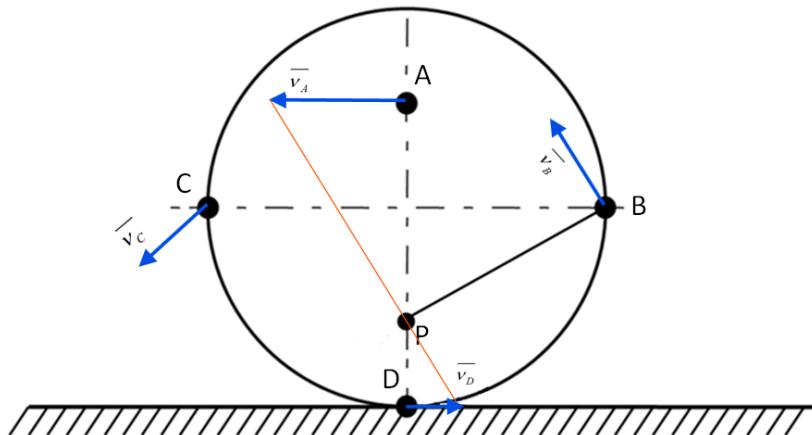


Рисунок 4

Для определения отношений ускорений точек воспользуемся теоремой о сложении ускорений точек и учтем, что ускорения являются векторными величинами:

$$\frac{\bar{a}_C}{\bar{a}_D} = \frac{\bar{a}_O + \bar{a}_{CO}^u + \bar{a}_{CO}^{ep}}{\bar{a}_O + \bar{a}_{DO}^u + \bar{a}_{DO}^{ep}}$$

$$a_{CO}^u = \omega^2 \cdot OC$$

$$a_{DO}^u = \omega^2 \cdot OD$$

$$a_{CO}^{ep} = \omega^2 \cdot OC$$

$$a_{DO}^{ep} = \omega^2 \cdot OD$$

где  $\bar{a}_C$  – ускорение точки C,  
 $\bar{a}_D$  – ускорение для точки D,

$\bar{a}_{CO}^{bp}$  – вращательное ускорение точки С вокруг полюса О,

$\bar{a}_{DO}^{bp}$  – вращательное ускорение точки D вокруг полюса О,

$a_{CO}^u$  – центростремительное ускорение точки С вокруг полюса О,

$\bar{a}_{DO}^u$  – центростремительное ускорение точки D вокруг полюса О,

$\bar{a}_O$  – ускорение полюса О,

$\varepsilon$  – угловое ускорение.

Определим проекции ускорений точек С и D на оси x и y:

$$a_{Cx} = a_0 - a_{CO}^u = a_0 - \omega^2 R ;$$

$$a_{Cy} = -a_{CO}^{sp} = -\varepsilon R ;$$

$$a_{Dx} = a_O + a_{DO}^{sp} = a_O + \varepsilon R ;$$

$$a_{Dy} = -a_{DO}^u = \omega^2 R .$$

Связь скоростей двух точек позволяет найти точку тела, у которой мгновенно скорость равна нулю. Это особенно важно для упрощения анализа движения – вокруг МЦС можно рассматривать тело как вращающееся, что облегчает вычисления.

В дальнейшем при проектировании механизмов (рычажные системы, роботы и др.) определение зависимости скоростей дает возможность рассчитывать движение элементов системы.

Также зная полученные зависимости, можно осуществлять контроль и диагностику механической системы, что позволяет по скорости одной точки судить о состоянии всей конструкции.

### Библиографический список

1. Мещерский И.В. Сборник задач по теоретической механике. – М.: Наука, 1986. – 448 с.
2. Тарг С.М. Курс теоретической механики. – М.: Высш. шк., 1986. – 418 с.
3. Бутенин Н.В. Курс теоретической механики / Н.В. Бутенин, Я.Л. Лунц, Д.Р. Меркин. – СПб.: Лань, 2023. – 732 с.
4. Яблонский А.А. Курс теоретической механики / А.А. Яблонский, В. М. Никифорова. – М.: КноРус, 2011. – 603 с.
5. Теоретическая механика / Ю.В. Денисов, Н.А. Клинских; [науч. ред. С.А. Берестова]. – Екатеринбург: УрФУ, 2013. – 474 с.
6. Седов Л.И. Механика сплошной среды. – Т. 1. – М.: Наука, 1970. – 492 с.

УДК 3.08

## НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ РЕШЕНИЯ КАДРОВЫХ ПРОБЛЕМ В НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ (НА ПРИМЕРЕ ОРЕНБУРГСКОЙ ОБЛАСТИ)

Ю.А. Галактионова

студент, ogalaktionowa@yandex.ru

Филиал РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина в г. Оренбурге, Оренбург

**Аннотация:** Статья посвящена анализу причин дефицита квалифицированного персонала в нефтегазовом секторе РФ, в частности Оренбургской области. Выделены факторы, негативно отражающиеся на эффективности работы отрасли. Сделаны выводы о необходимости привлечения внимания государства, нефтяных и нефтесервисных компаний. Предложены приоритетные направления решения проблемы.

**Ключевые слова:** нефтедобыча, нефтесервис, персонал, повышение квалификации, дефицит квалифицированных работников, мотивация, стимулирование.

## SOME ISSUES OF SOLVING PERSONNEL PROBLEMS IN THE OIL AND GAS INDUSTRY (USING THE EXAMPLE OF THE ORENBURG REGION)

Y.A. Galaktionova

student, ogalaktionowa@yandex.ru

Orenburg Branch for Gubkin Russian State University of Oil and Gas (RSU), Orenburg

**Abstract:** The article is devoted to the analysis of the causes of the shortage of qualified personnel in the oil and gas sector of the Russian Federation, in particular the Orenburg region. The factors that negatively affect the efficiency of the industry are highlighted. Conclusions are drawn about the need to attract the attention of the state, oil and oilfield service companies. Priority directions for solving the problem are proposed.

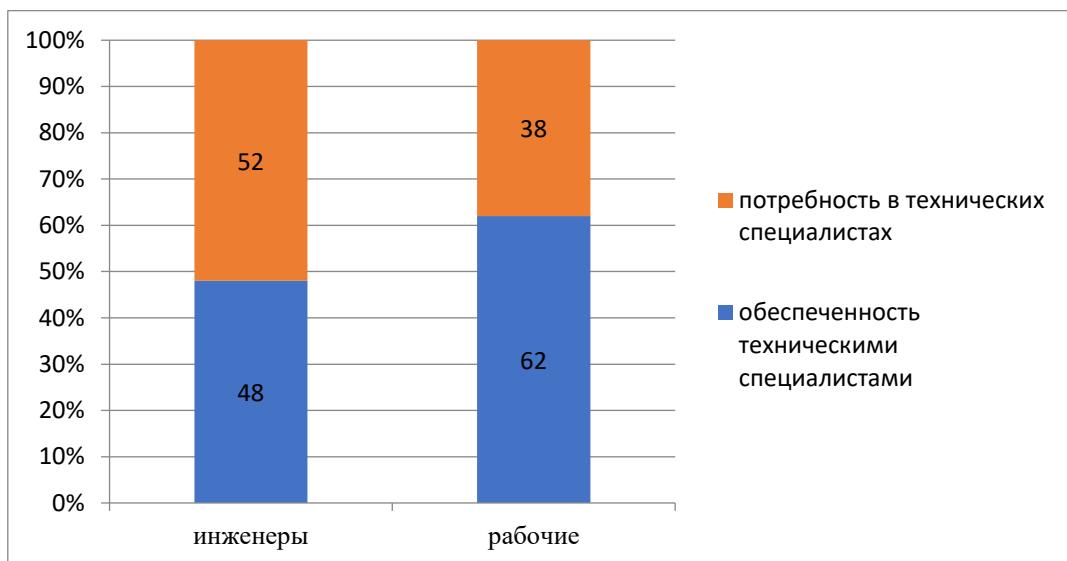
**Keywords:** oil production, oilfield services, personnel, professional development, shortage of qualified workers, motivation, stimulation.

### Введение (Introduction)

Нефтедобыча является одной из самых значимых отраслей экономики Российской Федерации. Отрасль сталкивается с различными проблемами, в том числе и кадровыми. Дефицит и старение квалифицированных кадров является наиболее значимой проблемой сферы. В настоящее время рынок труда России полон заявок от соискателей. Работники отрасли оказывают прямое влияние на экономическое благосостояние населения.

### Методы (Methods)

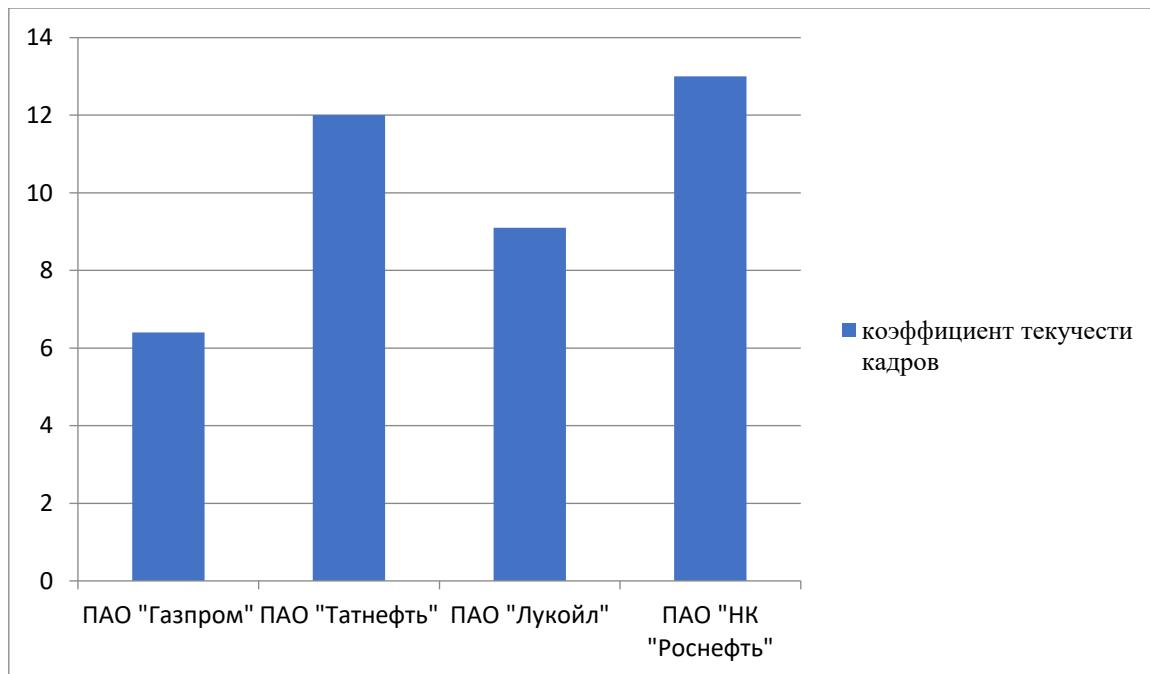
В результате проведенного анализа данных на общероссийском уровне было выявлено, что в настоящее время кадровое обеспечение нефтегазового сектора Российской Федерации столкнулось с рядом проблем. Таковой проблемой является нехватка опытных специалистов. Наиболее востребованными являются технические специалисты (инженеры) и рабочий персонал (рис. 1).



*Рисунок 1 – Обеспеченность и потребность нефтегазовых компаний России в технических специалистах на 2022 г. [1]*

На протяжении длительного времени инженерно-технические специальности не пользовались популярностью в России поступающих школьников. В связи с чем, на рынке наблюдается недостаток специалистов. Стоит отметить, что одной из главных причин такого дефицита является старение кадров в нефтегазовой сфере.

Кроме того, на кадровое обеспечение отрасли влияет высокая текучесть кадров. Низкий коэффициент текучести кадров говорит о высоком уровне социальной защищенности сотрудников (рис. 2).



*Рисунок 2 – Коэффициент текучести кадров в отраслевых компаниях, % [1]*

Проблема дефицита кадров в промышленных предприятиях России особенно остро проявилась в начале 2021 года и до сих пор ее актуальность только растет.

Таким образом, основные причины кадрового дефицита на предприятиях нефтегазовой сферы:

1. Увеличение количества рабочих мест.
2. Возраст большинства работников отрасли.
3. Несоответствие потребности в персонале нефтегазовых компаний-работодателей квалификации, практическому опыту и профессиональным компетенциям соискателей.

### Результаты и обсуждения (Results and discussion)

Топливно-энергетический комплекс Оренбургской области является важной составляющей промышленности области и занимает 42% в объеме промышленного производства Оренбуржья. По данным Росстата на 2022 год в нефтегазовой сфере задействовано всего 1,7% всех работающих в России, а в Оренбургской области этот процент составляет 9,86, что свидетельствует об экономической важности отрасли в рамках региона, которая фактически стала градообразующей для областного центра. Поскольку занятое население составляет 48,1% от общей численности, следовательно, нефтегазовый сектор является опорным в формировании экономики Оренбургской области. Наш подсчет по [3, 7].

Объясняет причину нехватки кадров высокая скорость развития технологий, которая не позволяет многим специалистам адаптироваться к происходящим изменениям. Так возникает потребность в сокращении персонала и привлечении на освободившиеся места новых специалистов, обладающих требуемым набором знаний и профессиональных умений. Такие навыки специалист приобретает при получении высшего образования. Следовательно, актуальной становится проблема недостаточного количества работников с высшим инженерным образованием по соответствующим специальностям.

Каждые два года Росстат собирает сведения от предприятий о наличии у них потребности в работниках для замещения вакантных мест по профессиональным группам. Данные диаграммы показывают, что востребованной категорией являются специалисты, умеющие управлять техникой и производственными механизмами.



Рисунок 3 – Потребность в работниках для замещения вакантных рабочих мест на предприятиях добывчи полезных ископаемых по РФ (по состоянию на 31 октября 2022 г.) [1]

Помимо перечисленных факторов, растущий дефицит кадров в нефтегазовой отрасли также объясняется спецификой работы в сложных природно-климатических условиях, удаленностью от мест комфортного проживания, вахтовым методом организации труда.

По данным Росстата можно сказать о тенденции роста потребности в подготовке квалифицированных специалистов с высшим образованием в том числе и по Оренбургской области в период с 2022 по настоящее время по специальностям «прикладная геология», «горное дело», «нефтегазовое дело» и «геодезия». Стоит отметить, что в перечень организаций Оренбургской области, испытывающих потребность в привлечении работников по востребованным профессиям, попали такие компании нефтегазового сектора, как АО «Завод бурового оборудования», АО «Оренбургнефть» [2].

Важно отметить, что средний возраст работников нефтегазового сектора на 2022 год по России приблизительно совпадает с данными по Оренбургской области [3]. Более того, в рамках области средний возраст специалистов, занятых на производстве, за последние шесть лет продолжает расти в сторону увеличения [4]. Следовательно, отрасль нуждается в молодых инженерах, готовых к изучению нового и постоянному совершенствованию старых навыков.

Рассмотрим на структуру занятых по уровню образования, видам экономической деятельности и по возрасту на 2022 год по Оренбургской области.

**Таблица 1 – Структура занятых по уровню образования и видам экономической деятельности в 2022 году (в %) [5]**

Вид деятельности	Высшее	Среднее профессиональное	Среднее общее	Основное общее	Не имеют основного общего
Добыча полезных ископаемых	28,2	53,9	14,6	3,3	0,1

Исходя из выше представленных данных, можно сделать вывод, что в отрасли только четверть работающих в отрасли имеет высшее образование, а соответственно нефтегазовый сектор нуждается в высококлассных молодых специалистах с профильным высшим образованием.

**Таблица 2 – Структура занятых по возрастным группам и видам экономической деятельности на 2022 год (в процентах). [5]**

Вид деятельности	15–19	20–29	30–34	35–39	40–49	50–59	60–64	65–69	70 и старше
Добыча полезных ископаемых	0,1	15,6	17,5	17,3	27,1	18,9	3,0	0,5	0,0

Более того, исходя их данных Таблицы 2, возрастная группа от 40 до 64 лет составляет в сумме 59% – это свидетельствует о старении работников, занятых в отрасли и необходимости подготовки квалифицированных кадров.

Так, возникает потребность в предоставлении обучения на территории области, чтобы молодые потенциальные выпускники школ и колледжей не уезжали из родного края для получения высшего образования, ведь таким образом повышается риск утечки кадров.

### **Заключение (Conclusion)**

На данный момент на территории области профильное высшее образование можно получить в двух учебных заведениях города Оренбурга: Оренбургский государственный университет и Филиал Российской государственного университета нефти и газа (НИУ) им. И.М. Губкина в г. Оренбурге. Стоит отметить, что в ОГУ направление «Нефтегазовое дело» открылось только в 2024 году. Филиала РГУНГ им. И.М. Губкина в г. Оренбурге имеет длинную историю, которая подтверждает востребованность специалистов и как следствие важность улучшения кадровой политики в этом секторе экономики. Он открывался для того, чтобы решить кадровый вопрос, стоящий остро в то время в области в связи с освоением Оренбургского газоконденсатного месторождения. Так, к началу открытия вечернего факультета МИНХиГП им. И.М. Губкина на предприятиях ВПО «Оренбурггазпром» только 11,2% работали по профилю нефтегазовой отрасли [8].

Таким образом, на сегодняшний день остро встает вопрос о нехватке квалифицированных молодых рабочих как в стране, так и в Оренбургской области с профильным высшим образование в нефтегазовой отрасли. Данная проблема вызвана рядом фактором, начиная от старения кадров, заканчивая трудными условиями труда. Изменить такого вида тенденцию можно посредством внедрения новых образовательных программ в высшие учебные заведения, популяризацией этого направления подготовки и работы в отрасли в целом.

### **Библиографический список**

1. Бузлаев Д.Д. Мониторинг рынка труда в нефтегазовом комплексе, Устойчивое развитие науки и образования. – 2019. – № 10. – С. 45–49.
2. Потребность Оренбургской области в профессиональных кадрах [Электронный ресурс] // mintrud.orb.ru: информ. – справочный портал. – Режим доступа: <https://mintrud.orb.ru/activity/10784/>.
3. Труд и занятость в России [Электронный ресурс] // rosstat.gov.ru: информ.-справочный портал, 2023.–Режим доступа: [https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Trud\\_2023.pdf](https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Trud_2023.pdf).
4. Численность рабочей силы в возрасте 15 лет и старше [Электронный ресурс] // 56.rosstat.gov.ru: информ. – справочный портал. Режим доступа: <https://56.rosstat.gov.ru/storage/mediabank/n7.xls>.
5. Оренбургская область в цифрах [Электронный ресурс] // 56.rosstat.gov.ru: информ. – справочный портал, 2023. – Режим доступа: [https://56.rosstat.gov.ru/storage/document/document\\_statistic\\_collection/2023-Оренбургская%20область%20в%20цифрах.pdf](https://56.rosstat.gov.ru/storage/document/document_statistic_collection/2023-Оренбургская%20область%20в%20цифрах.pdf).
6. Промышленность Оренбургской области – Основные показатели [Электронный ресурс] // minpromenergo.orb.ru: информ. – справочный портал. – Режим доступа: [https://minpromenergo.orb.ru/upload/uf/4d9/1.-Pokazateli\\_-\\_pdf.io\\_.pdf](https://minpromenergo.orb.ru/upload/uf/4d9/1.-Pokazateli_-_pdf.io_.pdf).
7. Статистические данные по Оренбургской области [Электронный ресурс] // 56.rosstat.gov.ru: информ. – справочный портал. Режим доступа: <https://56.rosstat.gov.ru/ofstatistics>.

8. Кузнецова О.В. Вехи становления и развития филиала РГУ нефти и газа (НИУ)имени И.М. Губкина в г. Оренбурге: исторический обзор // Нефтегазовое производство – основа научно-технического прогресса и экономической стабильности, Под общей редакцией С.Г. Горшенина – 2020. – С. 172–182.
9. Теньковская С.А., Власов А.В. Дефицит квалифицированного персонала как одна из важнейших проблем российского нефтесервиса, – 2016. – № 11. – С. 89–93.
10. Статистические данные Приволжский Федеральный округ [Электронный ресурс] //rosstat.gov.ru: информ. – справочный портал. – Режим доступа: [https://rosstat.gov.ru/storage/2024/04-05/OJKXo0zE/Sbornik\\_Reg\\_Sub-2023/PFO.xlsx](https://rosstat.gov.ru/storage/2024/04-05/OJKXo0zE/Sbornik_Reg_Sub-2023/PFO.xlsx).
11. Статистические данные по Российской Федерации [Электронный ресурс] // rosstat.gov.ru: информ. – справочный портал. – Режим доступа: <https://rosstat.gov.ru/>.

УДК 531.8

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАКОНА ДВИЖЕНИЯ ВЕДОМОГО ЗВЕНА ПЛОСКОГО МЕХАНИЗМА

**Ю.А. Галактионова**

студент, ogalaktionowa@yandex.ru

филиал РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина в г. Оренбурге,

**Ю.Л. Власов**

к.т.н., доцент, ulvlasov@mai.ru

филиал РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина в г. Оренбурге, Россия

**Аннотация:** В статье рассмотрен механизм, изменяющий скорость и направление поступательного движения поршня. Данный тип механизмов используется в нефтегазовой промышленности и других отраслях машиностроения. Рассмотрен один способ определения закона движения ведомого поршня механизма как функцию от времени в зависимости от закона движения ведущего звена.

**Ключевые слова:** механизм, закон движения, кинематика, плоское движение.

## DETERMINATION OF THE LAW OF MOTION OF THE DRIVEN LINK OF A FLAT MECHANISM

**Yu.A. Galaktionova**

student, ogalaktionowa@yandex.ru

Orenburg Branch for Gubkin Russian State University of Oil and Gas (RSU), Orenburg

**Y.L. Vlasov**

Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor, ulvlasov@mai.ru

Orenburg Branch for Gubkin Russian State University of Oil and Gas (RSU), Orenburg

**Abstract:** The article discusses the crank-rocker mechanism. This type of mechanism is used in the oil and gas industry and other branches of engineering. The main focus is on the mathematical modeling of the movement of these mechanisms, as well as the analysis of their kinematic and dynamic characteristics. The basic principles of operation of the crank-rocker mechanism, including their designs and functional features, are described.

**Keywords:** mechanism, crank, rocker arm, kinematics, plane movement.

Пластина в виде равностороннего треугольника CDO вращается с постоянной угловой скоростью  $\omega$  вокруг точки О. К треугольнику в точках С и D шарнирно присоединены стержни, концы А и В которых двигаются вдоль горизонтальной оси х.

Целью работы является определение кинематической зависимости между расстоянием положениями поршней А и В, как функцию времени  $t$ , если  $AC = CD = DB = a$  (рисунок 1). Данная зависимость позволит в дальнейшем предсказать и описать движение всего механизма, зная движение лишь одного его элемента. Нахождение кинематических зависимостей позволяет инженеру понимать, как работает механизм и предсказывать его поведение под

нагрузкой. В дальнейшем можно рассчитывать нагрузки на детали для обеспечения прочности, чтобы выполнять нужные задачи с требуемой точностью и эффективностью.

Определим скорости точек  $C$  и  $D$

$$V_C = \omega \cdot a;$$

$$V_D = \omega \cdot a.$$

Так как  $AC = CD = DB = a$  и треугольник  $CDO$  – равносторонний, то  $AC = CD = DB = DO = CO = a$ .

Значит треугольники  $ACO$  и  $ODB$  – равнобедренные.

Введем угол  $\varphi$  – между сторонами  $AC$  и  $AE$  в треугольнике  $ACO$ . Так как треугольник равнобедренный, то углы при основании равны. Аналогично, для треугольника  $ODB$ .

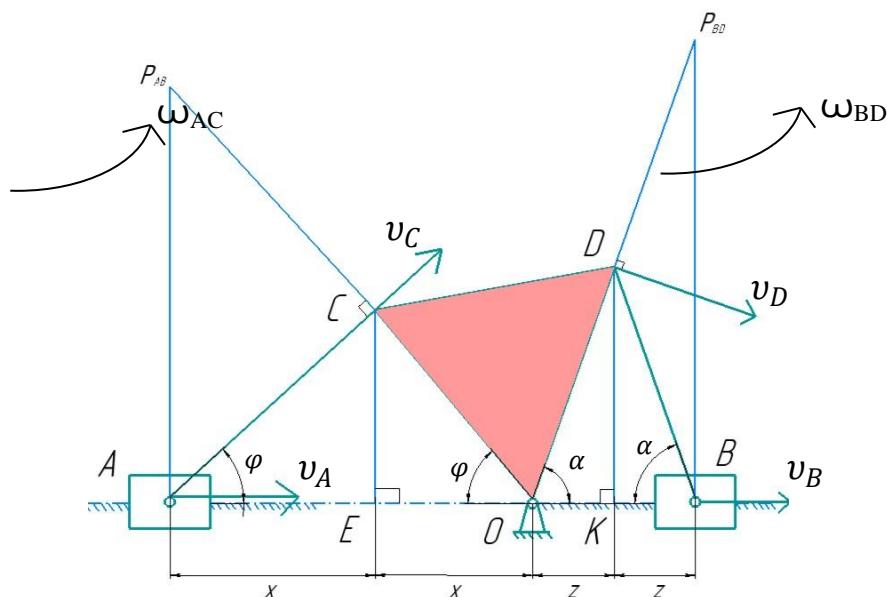


Рисунок 1

Учтем, что  $\angle \alpha = 90 - \varphi$ .

Запишем закон движения для отрезков  $x$  и  $z$

$$x = a \cdot \cos \omega t,$$

$$x = a \cdot \cos(90 - \omega t).$$

По формулам приведения:

$$\cos(90 - \omega t) = \sin \omega t.$$

Тогда

$$z = a \cdot \sin \omega t.$$

$$AB = 2a \cdot \cos \omega t + 2a \cdot \sin \omega t = 2a \cdot (\cos \omega t + \sin \omega t).$$

Графическая интерпретация полученного закона движения представлена рисунке 2.

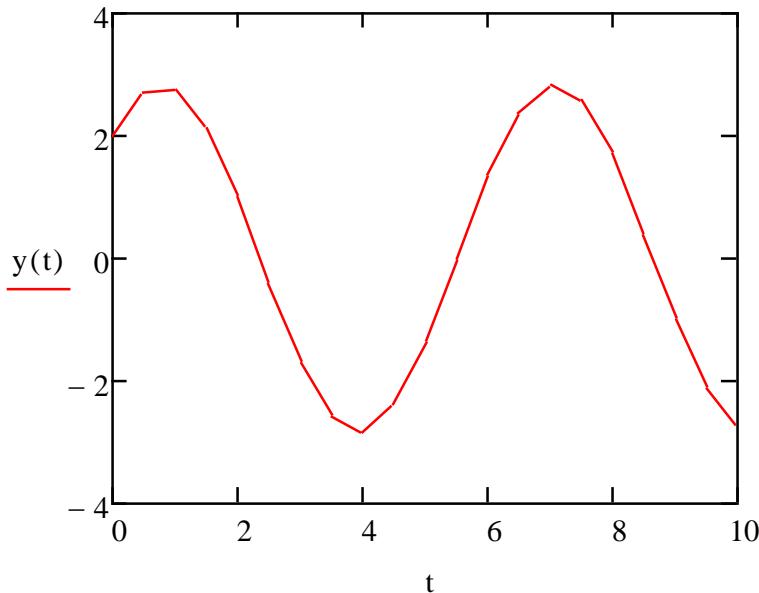


Рисунок 2 – Графическая интерпретация закона движения

Полученная зависимость позволяет прогнозировать положение точек при работе механизма в различных условиях нагружения ведущего звена.

Нахождение кинематических зависимостей позволит, в дальнейшем, предсказывать поведение механизма под нагрузкой и проводить расчеты нагрузки на детали для обеспечения прочности.

### Библиографический список

- 1 Кухарь В.Д. Теоретическая механика / В.Д. Кухарь. – М.: – АСВ, – 2016. – 148 с.
- 2 Васько Н.Г. Теоретическая механика: Учебник / Н.Г. Васько, В.А. Волосухин, А.Н. Кабельков. – Рн/Д: Феникс, – 2012. – 302 с.
- 3 Диевский В.А. Теоретическая механика: Учебное пособие / В.А. Диевский. – СПб.: Лань, – 2016. – 336 с.

УДК 547

**СОВРЕМЕННЫЕ БЕНЗИНЫ:  
ПЕРЕХОД НА ЭТИЛ-ТРЕТ-БУТИЛОВЫЙ ЭФИР  
ВМЕСТО МЕТИЛ-ТРЕТ-БУТИЛОВОГО ЭФИРА**

***И.В. Галинская***

студент, irinagalinskaia73@gmail.com

Научный руководитель: **С.Г. Безрядин**, к.х.н., доцент, sergbezryadin@mail.ru  
Филиал РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина в г. Оренбурге, Оренбург

**Аннотация:** Проведен сравнительный анализ свойств метил-трет-бутилового эфира (МТБЭ) и этил-трет-бутилового эфира (ЭТБЭ). Показана актуальность перехода с МТБЭ на ЭТБЭ в производстве бензинов в России, учитывая как экологические, так и технологические аспекты. Развитие более безопасных и эффективных методов производства ЭТБЭ открывает возможность для модернизации существующих производств и снижения негативных эко сред.

**Ключевые слова:** этил-трет-бутиловый эфир, метил-трет-бутиловый эфир, катализатор, технология, изобутан.

**MODERN GASOLINE: TRANSITION TO ETHYL TERT-BUTYL ETHER  
INSTEAD OF METHYL TERT-BUTYL ETHER**

***I.V. Galinskaya***

student, irinagalinskaia73@gmail.com

Scientific adviser: **S.G. Bezryadin**, Ph.D., Associate Professor, sergbezryadin@mail.ru  
Orenburg Branch for Gubkin Russian State University of Oil and Gas (RSU), Orenburg

**Abstract:** A comparative analysis of the properties of methyl tert-butyl ether (MTBE) and ethyl tert-butyl ether (ETBE) has been performed. The relevance of the transition from MTBE to ETBE in gasoline production in Russia is shown, taking into account both environmental and technological aspects. The development of safer and more efficient methods of ETBE production opens up an opportunity to modernize existing production facilities and reduce negative environmental conditions.

**Keywords:** ethyl tert-butyl ether; methyl tert-butyl ether; catalyst; technology; isobutane.

Бензины, поступающие на продажу, представляют собой объединенные компоненты бензиновых смесей. Наибольшим октановым числом характеризуются бензины риформинга, изомеризации бензиновых фракций, алкилирования. Наименьшее октановое число у прямогонных бензинов, а также бензиновых фракций, образующихся в различных термических процессах [1]. Современные действующие экологические стандарты, такие, как ЕВРО-4 и ЕВРО-5 регламентируют содержание ряда компонентов этих фракций, поэтому получение бензинов оптимального качества и характеристик достигается путем добавления к смеси фракций присадок.

На данный момент наиболее часто используемыми присадками выступают: метил-трет-бутиловый эфир (МТБЭ), диизопропиловый эфир (ДИПЭ), этил-трет-бутиловый эфир (ЭТБЭ); монометиланилин (ММА).

Наибольшим спросом пользуется МТБЭ, который производится с 1979 года. Метил-трет-бутиловый эфир (МТБЭ) представляет собой высокооктановый компонент, с помощью которого происходит компаундирование базовых бензинов и обеспечивается значительное повышение детонационных свойств моторных топлив. Сырьем для получения МТБЭ являются метанол и изобутилен, получаемый дегидрированием изобутана, или извлекаемый из продуктов пиролиза. МТБЭ – это соединение как компонент автомобильных бензинов уникально во всех отношениях. Но существуют некоторые экологические проблемы с использованием МТБЭ – вероятность его накопления в почвах и грунтовых водах в случае утечек, а также, выявлены показатели острой токсичности метил-трет-бутилового эфира у мышей, крыс и собак. Исследуемое вещество при остром внутрижелудочном введении животным оказывает слабое токсическое действие, угнетающее центральную нервную систему, обусловленное наркотическим эффектом метил-трет-бутилового эфира. Как химическое вещество метил-третбутиловый эфир, согласно ГОСТу 12.1.007–76, отнесен к 4-му классу опасности (малоопасные вещества) [2].

На данный момент существует тенденция по замене МТБЭ в качестве присадки к топливу этил-трет-бутиловый эфир (ЭТБЭ). Особенно наглядно данная тенденция наблюдается в странах Европы и США, где на законодательном уровне ограничивается доля МТБЭ в топливе. Россия, в целом, стремится следовать в общемировом тренде, однако, темпы промышленного развития, интересы крупного нефтяного бизнеса и отсутствие достаточного количества доступного сырья не позволяют нашей стране отказаться от использования МТБЭ в ближайшие 100–150 лет [3].

Регламентированное использование ЭТБЭ в топливе (до 15%) открывает возможности для модернизации существующих производств МТБЭ. ЭТБЭ демонстрирует ряд преимуществ по сравнению с МТБЭ, включая более широкую доступность биоэтанола и лучшую биоразлагаемость. Несмотря на незначительно более низкое антидетонационное число, его эффективность в топливе остается высокой.

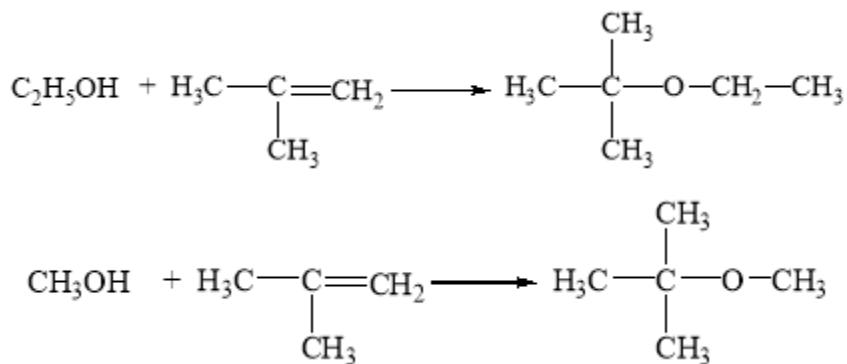
В то время как Россия является крупным игроком на рынке МТБЭ, производство ЭТБЭ в стране пока отсутствует. Ключевыми направлениями для развития производства ЭТБЭ являются разработка передовых катализаторов и повышение эффективности технологических процессов. В связи с этим, переориентация существующих мощностей по производству МТБЭ на выпуск ЭТБЭ представляет собой важную и своевременную задачу. При добавлении в бензин ЭТБЭ в количестве до 15% об., содержание вредных выбросов в атмосферу снижается на 20% [4].

ЭТБЭ получают в аналогичных условиях и на том же оборудовании, что и метил-трет-бутиловый эфир. Условия синтеза ЭТБЭ из изобутилена и этилового спирта: температура ниже 100° С и давление 1–2 МПа в условиях кислотного катализа.

Основное технологическое изменение заключается в замене метанола на этанол в качестве исходного реагента.

Химические свойства этанола и метанола демонстрируют высокую степень сходства, проявляясь в идентичных химических реакциях, за исключением внутримолекулярной

дегидратации метанола. Реакция алcoxилирования с алкенами в присутствии кислотных катализаторов описывается следующими уравнениями:



Возможность использования идентичной технологии для получения ЭТБЭ обусловлена тем, что реакция алcoxилирования изобутилена протекает для этанола в тех же условиях, что и для метанола.

Для определения возможности модернизации существующих производственных линий МТБЭ и их переоборудования под выпуск ЭТБЭ, были рассмотрены различия в физических свойствах соответствующих кислородсодержащих соединений [5].

Ниже представлена характеристика кислородсодержащих соединений (Таблица 1).

**Таблица 1 – Качественные характеристики кислородсодержащих соединений [7]**

Характеристика	МТБЭ	Метанол	ЭТБЭ	Этанол
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	746	810	750	794
Температура кипения, °С	55,3	64,7	72,8	78,3
Теплота сгорания, низшая кДж/л	26260	22700	26910	21285
Теплота испарения кДж/кг	337	1172	321	854
ИОЧ смеси (без ТЭС)	118	116	118	120
МОЧ	101	98	101	99
Чувствительность (ИОЧ-МОЧ)	17	18	17	21
Растворимость в воде, % мас. (при 20° С)	4,5	100	0,1	100

ЭТБЭ обладает превосходными качествами как усилитель октанового числа по сравнению с МТБЭ; этил-трет-бутиловый эфир может быть произведён из возобновляемых источников, например, таких как биоэтанол, целлюлоза, биомасса или других продуктов сельского хозяйства.

Следовательно, его производство создает дополнительные рынки сбыта зерновых и сельскохозяйственных отходов, потому что биоэтанол, который используется в качестве сырья при производстве ЭТБЭ, может быть получен из сельскохозяйственного сырья. Этил-трет-бутиловый эфир обладает более высоким октановым числом, более высокой температурой кипения, более низкой температурой вспышки, более низким давлением паров, достаточно высоким содержанием кислорода. Он также имеет более низкую летучесть и растворимость в воде по сравнению с метил-трет-бутиловым эфиром.

Благодаря выгодным свойствам ЭТБЭ, это соединение способствует меньшему загрязнению окружающей среды, чем любая другая топливная добавка. Таким образом, он показывает более низкий уровень выбросов оксидов азота и других находящихся в воздухе загрязняющих веществ, таких как формальдегид и окись углерода, по сравнению с МТБЭ.

ЭТБЭ производится с помощью реакции изобутилена и этанола. В промышленности синтез ЭТБЭ осуществляется за счет использования жидкой фазы изобутилена и этанола в качестве реагентов, обычно катализируется макропористой сульфокислотой или цеолитами при температуре ниже 80°C под давлением 0,6 МПа. Реакция между этанолом и изобутиленом с образованием ЭТБЭ является обратимой и умеренно экзотермической (теплота реакции – 35 кДж/моль при 298К) [6, 7].

Скорость и селективность реакции синтеза ЭТБЭ существенно зависят от химической природы и типа используемых кислотно-основных катализаторов, в качестве которых применяют ионообменные смолы, глины, оксиды и цеолиты.

Катализатор играет критическую роль в производстве ЭТБЭ, как в газовой, так и в жидкой фазе, обеспечивая быстрое завершение реакции. Следовательно, выбор оптимального катализатора является одним из определяющих факторов для производительности процесса.

Особое место среди них принадлежит синтетическим кристаллическим алюмосиликатам – цеолитам, обладающим рядом ценных специфических свойств. Более того, возможности плавного регулирования кислотно основных свойств, а, следовательно, активности и селективности, дают предположить, что наиболее перспективными являются цеолитные катализаторы, которые могут регенерироваться на самих установках.

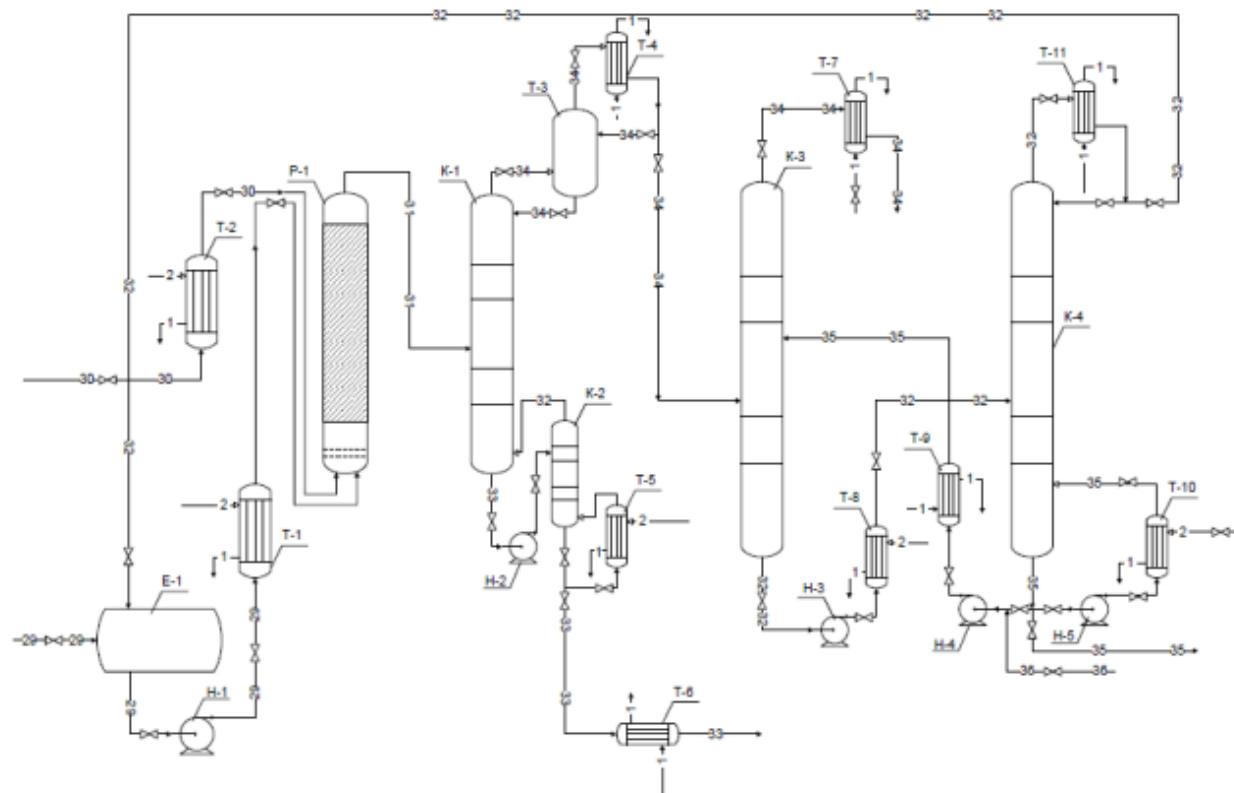


Рисунок 1 – Установка синтеза этил-трет-бутилового эфира [3]

Технологическая схема производства ЭТБЭ должна включать следующие стадии:

В начале процесса бутан-бутиленовую фракцию и этанол необходимо нагреть до заданных температур: 60° С для бутан-бутиленовой фракции и 50–60° С для этанола.

В химической и нефтехимической промышленности для нагрева жидкостей до умеренных температур (до 180–200° С) часто используют водяной пар под давлением (до 12 атмосфер). Для этой цели хорошо подходят кожухотрубные теплообменники.

Синтез этил-трет-бутилового эфира (ЭТБЭ) из изобутилена и этанола происходит в жидкой фазе с использованием твердых катализаторов (ионообменных смол). Реакция проводится при температуре 50–80° С и давлении 6–12 атмосфер в течение 30–40 минут.

Основным реакционным аппаратом является адиабатический реактор с неподвижным слоем катализатора. Катализатор размещается на полках внутри реактора.

Поскольку в полученном ЭТБЭ содержится небольшое количество примесей, для отделения этанола и углеводородов можно использовать сухую отпарку, которая дешевле ректификации. Отпарка проводится в колонне с тарелками и кипятильником. Исходная смесь подается в верхнюю часть колонны, где стекает вниз, обогащаясь ЭТБЭ. Пары этанола и углеводородов поднимаются вверх и направляются в ректификационную колонну первой ступени. Очищенный ЭТБЭ отводится из нижней части колонны отпарки.

Перед отправкой на хранение ЭТБЭ необходимо охладить. Это можно сделать в кожухотрубном теплообменнике, используя обратную воду.

Пары, выходящие из верхней части ректификационной колонны первой ступени, содержат этанол, отработанную бутан-бутиленовую фракцию, воду и небольшое количество ЭТБЭ. Эту смесь необходимо сконденсировать в кожухотрубном конденсаторе. Часть конденсатаозвращается в ректификационную колонну в качестве флегмы для контроля температуры и соотношения потоков.

Сконденсированную жидкость необходимо разделить на углеводородную фракцию и водный этанол. Из-за большой разницы в растворимости бутан-бутиленовой фракции и этанола в воде, разделение можно осуществить экстракцией этанола водой.

Экстракцию целесообразно проводить непрерывно в колонном аппарате, совмещающем экстракцию и отстаивание. Для улучшения массообмена в колонне могут быть установлены тарелки или насадки. Затем обводненный этанол подвергается ректификации для отделения воды и возврата этанола в процесс.

Технологический процесс получения ЭТБЭ путем реакции бутилена с этанолом соответствует следующим критериям:

- Максимальная эффективность производства этил-трет-бутилового эфира из заданного сырья.
- Получение продукции, соответствующей установленным стандартам качества.
- Оптимальное использование сырьевых и энергетических ресурсов, включая возврат тепла отходящих потоков и повторное использование непрореагировавших реагентов.
- Обеспечение экологической безопасности производственного процесса.

В статье была рассмотрена сравнительная характеристика этил-трет-бутиловый эфир и метил-трет-бутилового эфира. Можно сделать вывод, что синтез этил-трет-бутилового эфира на цеолитном катализаторе является перспективным направлением в области производства кислородсодержащих добавок.

### **Библиографический список**

1. Ахметов С.А. Технология глубокой переработки нефти и газа: учебное пособие для вузов / С.А. Ахметов – Уфа: Гилем, 2002. – 672 с.
2. Сайфутдинов Рафик Галимзянович, Трифонова Элла Викторовна Острая токсичность метил-трет-бутилового эфира // Казанский мед. ж. 2010. № 3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ostraya-toksichnost-metil-tret-butilovogo-efira>.
3. Кравченко Н.А. Разработка технологии производства этил-трет-бутилового эфира на базе технологической схемы производства метил-трет-бутилового эфира / Н.А. Кравченко, А.Д. Морковкина, Н.А. Рахимова. – Текст: непосредственный // Молодой учёный. – 2017. – № 45 (179). – С. 28–32. – URL: <https://moluch.ru/archive/179/46434/>.
4. Kerry Rock, Maurice Korpelshoek. Bioethers impact on the gasoline pool// Biofuels. 2007. P. 1–9.
5. Вильданов Ф.Ш., Латыпова Ф.Н., Чанышев Р.Р., Дамниев Р.Р. Производство этил-трет-бутилового эфира – перспективное направление использования биоэтанола в России. // Башкирский химический журнал, том 20, № 3, (2019), 145–149.
6. O. Françoisse, F.C. Thyrian, Chem. Eng. Process. 30 (1991) 141–149.
7. Ozbau N. Thermodynamic Study of Liquid Phase Synthesis of Ethyl tert-Butyl Ether Using tert-Butyl Alcohol and Ethanol / N. Ozbau, N. Oktar // J. Chem. Eng. Data. – 2005. – No. 10. – P. 2011–2016.

УДК 547

## ПРЯМОЕ ГЕТЕРОГЕННО-КАТАЛИТИЧЕСКОЕ ОКИСЛЕНИЕ ПОПУТНЫХ НЕФТЯНЫХ ГАЗОВ

**I.V. Галинская**

студент, irinagalinskaia73@gmail.com

Научный руководитель: **Л.И. Мухамедьярова**, к.х.н., доцент, L554005@mail.ru  
Филиал РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина в г. Оренбурге, Оренбург

**Аннотация:** Основная мысль статьи заключается в том, что переход от традиционных методик переработки к более современным и экологически безопасным методам, таким как этапы прямого гетерогенно – каталитического окисления сероводорода до элементарной серы, поможет не только решить проблему загрязнения окружающей среды, но и повысить экономическую эффективность нефтегазовых предприятий.

**Ключевые слова:** попутные нефтяные газы (ПНГ), сероводород, экологическая безопасность, экономическая эффективность, процесс Клауса, прямое гетерогенно – каталитическое окисление, сероводородсодержащие газы.

## DIRECT HETEROGENEOUS-CATALYTIC OXIDATION OF ASSOCIATED PETROLEUM GASES

**I.V. Galinskaya**

student, irinagalinskaia73@gmail.com

Scientific adviser: **L.I. Mukhamedyarova**, Ph.D., Associate Professor, L554005@mail.ru  
Orenburg Branch for Gubkin Russian State University of Oil and Gas (RSU), Orenburg

**Abstract:** The main idea of the article is that the transition from traditional processing methods to more modern and environmentally friendly methods, such as the stages of direct heterogeneous catalytic oxidation of hydrogen sulfide to elemental sulfur, will help not only solve the problem of environmental pollution, but also increase the economic efficiency of oil and gas enterprises.

**Keywords:** associated petroleum gases (APG), hydrogen sulfide, environmental safety, economic efficiency, Claus process, direct heterogeneous catalytic oxidation, hydrogen sulfide gases.

Вопросы переработки попутных нефтяных газов (ПНГ) становятся всё более актуальными в условиях растущих требований к экологической безопасности и экономической эффективности нефтегазовой отрасли. Одной из ключевых проблем является высокое содержание сероводорода в ПНГ, что приводит к значительным экологическим и технологическим проблемам.

Нефтегазовая промышленность в Оренбургской области относится к одной из стратегически важных отраслей экономики. Газоконденсатные месторождения с наличием сероводорода достаточно широко известны, при этом, основная их часть относится к разряду высокосернистых. Месторождение содержит до 6% сероводорода, а пласты богаты попутным нефтяным газом.

ПНГ является не просто побочным продуктом нефтедобычи, но и ценным ресурсом. К 2020 году ООО «Газпромнефть-Оренбург» удалось повысить уровень полезного использования ПНГ до 98% на Восточном участке месторождения [1].

Вовлечение таких газов в топливно-энергетический баланс позволит сэкономить до 1 млн/год условного топлива. Однако высокое содержание сероводорода (1–6% об.) исключает их использование в качестве углеводородного топлива, реализуемого населению, промышленным предприятиям и в качестве сырья для синтеза химических продуктов.

В целях предотвращения загрязнения атмосферного воздуха выбросами вредных веществ и сокращения эмиссии парниковых газов, образующихся при сжигании попутного нефтяного газа, Правительство РФ установило жесткие требования к объемам сжигания ПНГ на факельных установках и увеличило размеры штрафов в случае превышения этих показателей.

Транспортировка попутного нефтяного газа по трубопроводам к специализированным установкам сероочистки (НПЗ, ГПЗ) является экономически и технологически нецелесообразной, поскольку попутный нефтяной газ характеризуется исключительно малым дебитом (100–1000 нм<sup>3</sup>/час) и низким избыточным давлением (до 0,5 МПа) [2].

Предприятия, ведущие разведку, добычу, транспортировку и переработку такого углеводородного сырья, являются основным фактором загрязнения экосферы токсичными сернистыми соединениями (сероводород, диоксид серы, серная кислота), выбросы которых насчитывают миллионы тонн.

Применяемый в настоящее время для утилизации сероводорода процесс Клауса включает факельное сжигание сероводорода на первой ступени с последующим взаимодействием H<sub>2</sub>S и диоксида серы в трех последовательных каталитических конверторах. Установки с использованием процесса Клауса являются многостадийными, характеризуются высокими капитальными и эксплуатационными затратами, низкой экологической безопасностью, что связано с наличием в технологической цепи высокотемпературной печи – источника образования токсичных побочных компонентов.

Актуальным с точки зрения исключения возможности загрязнения окружающей среды является необходимость повышения эффективности процессов очистки газовой продукции от сероводорода за счёт использования дополнительных методов борьбы с сероводородом.

В Институте катализа под руководством академика В.Н. Пармона были начаты поиски альтернативных способов очистки сероводородсодержащих газов на основе одностадийного процесса прямого гетерогенно – каталитического окисления сероводорода до элементарной серы:

Процесс обладает рядом существенных преимуществ, основными из которых являются:

- одностадийность и непрерывность процесса;
- «мягкие» условия реализации процесса (T = 220–280° С), благодаря использованию высокоактивных катализаторов, что позволяет окислять сероводород непосредственно в составе углеводородных газов.

Окисление сероводорода в составе различных газов осуществляется в реакторе в кипящем слое катализатора ИК-12-72 при температуре 220–300° С. Реакция экзотермична, протекает в одну стадию следующим образом:



где: n = 2, 4, 6, 8. (1)

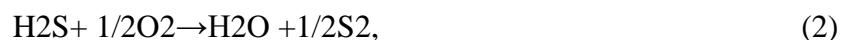
Изменение параметров процесса ведёт к появлению побочных продуктов. Так, при избытке кислорода воздуха по отношению к сероводороду в продуктах реакции появляется сернистый ангидрид, т. е. возможно протекание конкурентной реакции:  $\text{H}_2\text{S} + 3/2 \text{O}_2 \leftrightarrow \text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O}$  (2).

Повышение температуры в зоне реакции до  $400^\circ\text{C}$  и выше также приводит к образованию диоксида серы.

Окисление углеводородов, содержащихся в газах, начинается при температурах выше  $450^\circ\text{C}$ . Реакции взаимодействия углеводородов с серой, углекислого газа с сероводородом, приводящие к образованию серооксида углерода и сероуглерода протекают при температурах выше  $520\text{--}550^\circ\text{C}$ . Исходя из вышеизложенного, можно сделать вывод, что в реакторе протекает только реакция окисления сероводорода в серу (1), а остальные компоненты «кислого» газа остаются неизменными.

На следующей стадии – в котле – утилизаторе происходит конденсация паров серы:  $\text{S}_n(\text{газ}) \leftrightarrow 1/n \text{S}_8(\text{жид.})$  (3) где  $n = 2, 4, 6, 8$ .

Газообразная сера, образующаяся в реакции (3), состоит из нескольких равновесных модификаций:  $\text{S}_2, \text{S}_6, \text{S}_8$ .



В температурном диапазоне  $25\text{--}727^\circ\text{C}$  константа равновесия реакции окисления сероводорода кислородом до элементной серы в среднем на 10 порядков выше, чем при окислении диоксидом серы. Следовательно, вероятность образования элементной серы по реакциям прямого окисления выше, чем по реакциям взаимодействия  $\text{H}_2\text{S}$  и  $\text{SO}_2$  [3].

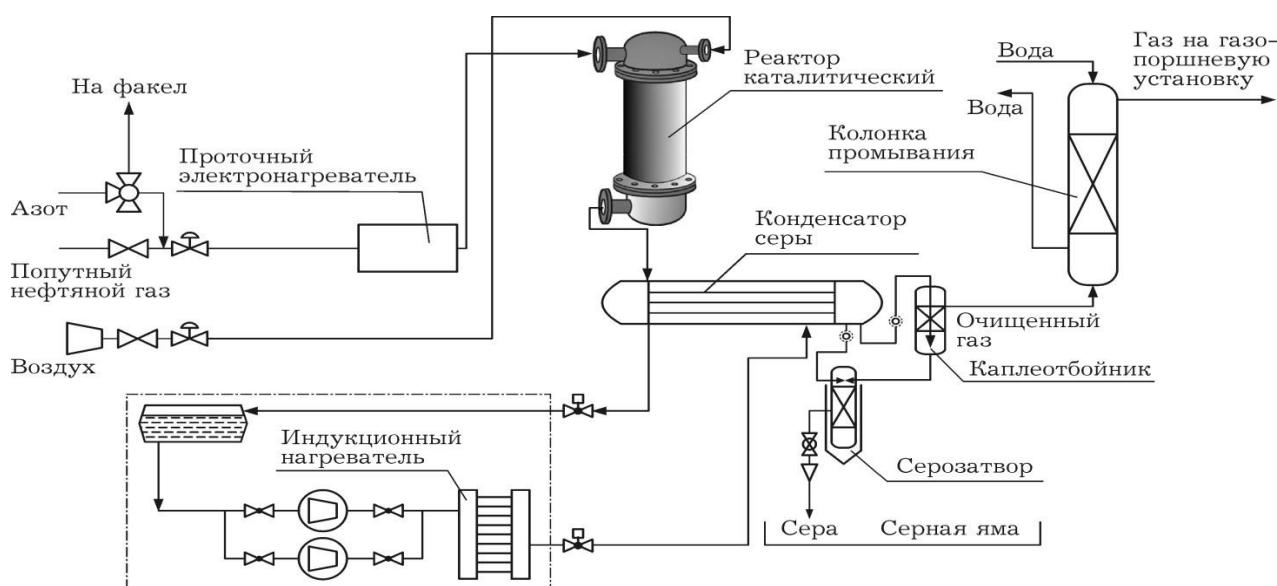
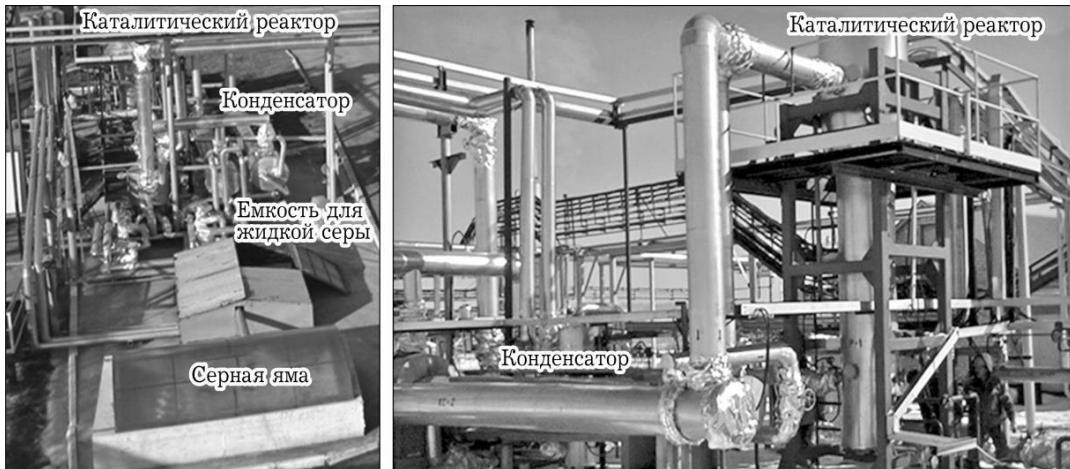


Рисунок 1 – Процесс прямого гетерогенно- каталитического окисления ПНГ [3]

К катализаторам процесса прямого окисления сероводорода в элементную серу предъявляются специфические требования, связанные с особенностью реакции. При подборе катализаторов селективного окисления сероводорода в элементную серу следует учитывать термодинамику процесса, а также возможность гомогенного протекания процесса по цепному механизму при повышении температуры и конденсацию серы при снижении температуры процесса [4].



*Рисунок 2 – Внешний вид установки. [3]*

Катализаторы прямого окисления сероводорода в серу используются в диапазоне температур 200–350° С. Нижний предел используемых температур определяется точкой росы серы. Верхний предел – возможностью протекания в заметной степени реакции окисления серы и сероводорода до диоксида серы, что приводит к существенному падению селективности реакции.

В институте катализа им. Г.К. Борескова СОРАН г. Новосибирск был разработан катализатор, который удовлетворяет всем заявленным требованиям. Катализатор ИК-12-72 алюмо-магнийхромовый на гранулированном носителе из оксида алюминия.

Шарики тёмно-зелёного цвета, размер гранул 1,6–2 мм, в состав входят Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO, остальное – Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, объем загрузки 50 кг [5].

В данной статье был рассмотрен метод прямого гетерогенно-катализитического окисления сероводорода в ПНГ. Технология обеспечивает полное прекращение сжигания сероводорода и доведение выбросов сернистого ангидрида до предельно допустимых значений, что минимизирует негативное воздействие на окружающую среду, наблюдается снижение удельных показателей затрат, связанных с эксплуатацией, а также применение катализаторов, произведённых в России, способствует развитию внутреннего рынка.

Данная технология исключается возможность коррозии металлических элементов оборудования и трубопроводов, вызванной присутствием сероводорода, и позволяет получать товарную серу с высоким выходом на единицу перерабатываемой продукции, так как весь поступающий сероводород используется для её получения, минуя стадию сжигания.

### **Библиографический список**

1. Гидрогеологические особенности газовых и газоконденсатных месторождений в связи с условиями их активного обводнения (Сб. науч. тр.) / НПО «Союзгазтехнология», ВНИИ природ. газов; [Отв. ред. В.Н. Корценштейн]. – М.: ВНИИ газ, 1989. – 173 с., [5] л. табл. ил.
2. Постановление Правительства РФ от 8 ноября 2012 года № 1148 «Об особенностях исчисления платы за негативное воздействие на окружающую среду при выбросах в атмосферный воздух загрязняющих веществ, образующихся при сжигании на факельных установках и (или) рассеивании попутного нефтяного газа».
3. Хайрулин С.Р., Исмагилов З.Р., Пармон В.Н., Садыков А.Ф., Голованов А.А., Яруллин Р.С., Гибадулов М.М., Мазгаров А.М., Тахаутдинов Ш.Ф., Закиев Ф.А., Гарифуллин Р.Г. Прямое катализитическое окисление сероводорода – процесс для очистки попутных нефтяных газов. Опыт эксплуатации первой промышленной установки // Газохимия. – 2011. – № 3–4 – (19–20). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/pryamoe-kataliticheskoe-okislenie-serovodoroda-protsess-dlya-ochistki-poputnyh-neftyanyh-gazov-opyt-ekspluatatsii-pervoy>.
4. Чурикова Л.А. Методы и перспективы борьбы с сероводородом на нефтяных месторождениях / Л.А. Чурикова, Д.Д. Уарисов. – [Текст] // Молодой ученый. – 2016. – № 21 (125). – С. 232–236.
5. Хайрулин С.Р., Кузнецов В.В., Батуев Р.А., Теряева Т.Н., Трясунов Б.Г., Гарифуллин Р.Г., Филимонов С.Н., Сальников А.В., Исмагилов З.Р. Методы очистки коксового газа от сероводорода: процессы утилизации H<sub>2</sub>S. Окислительные процессы (обзор) часть 2 // Альтернативная энергетика и экология. 2014, № 4, С. 60–78.

УДК622.276

## ИНТЕГРАЦИЯ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ В ПРОЦЕССЫ ОПТИМИЗАЦИИ РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

*A.Sh. Гафаров*

к.т.н., a\_gafarov@vniigaz.gazprom.ru  
ООО «Газпром ВНИИГАЗ»

*O.V. Лукиных*

O\_Lukinykh@vniigaz.gazprom.ru  
ООО «Газпром ВНИИГАЗ»

*A.A. Галин*

O\_Galin@vniigaz.gazprom.ru  
ООО «Газпром ВНИИГАЗ»

**Аннотация:** Рассмотрена интеграция современных технологий обработки геолого-промышленных данных при разработке Оренбургского нефтегазоконденсатного месторождения. Единая база данных обеспечивает комплексный анализ и повышение точности прогнозов. Программная инженерия ускоряет аналитику, автоматизирует процессы и снижает риски ошибок. Подтверждена универсальность подхода и его эффективность.

**Ключевые слова:** Оренбургское нефтегазоконденсатное месторождение; геолого-промышленная информация; база данных; гидродинамическое моделирование; программная инженерия; интенсификация добычи; капитальный ремонт скважин; оптимизация разработки.

## INTEGRATION OF ADVANCED DATAPROCESSING TECHNOLOGIES INTO THE OPTIMIZATION OF HYDROCARBON FIELD DEVELOPMENT

*A.Sh. Gafarov*

Ph.D. in Engineering Science, a\_gafarov@vniigaz.gazprom.ru  
Gazprom VNIIGAZ LLC

*O.V. Lukinikh*

O\_Lukinykh@vniigaz.gazprom.ru  
Gazprom VNIIGAZ LLC

*A.A. Galin*

A\_Galin@vniigaz.gazprom.ru  
Gazprom VNIIGAZ LLC

**Abstract:** This paper discusses the integration of modern technologies for processing geological and production data in the development of the Orenburg oil and gas condensate field. The creation of a unified database enables comprehensive analysis and improves the accuracy of forecasting. The application of software engineering accelerates data analytics, automates processes, and reduces the likelihood of errors. The approach has demonstrated both its universality and effectiveness in practice.

**Keywords:** Orenburg oil and gas condensate field; geological and production information; database; hydrodynamic modeling; software engineering; well stimulation; well workover; field development optimization.

Современное развитие нефтегазовой отрасли России связано с необходимостью решения задач по повышению эффективности эксплуатации месторождений в условиях усложняющейся геологической среды, истощения запасов и высоких требований к качеству исходных данных. Одним из ключевых инструментов выступает интеграция современных технологий обработки информации и использование их в системах моделирования и оптимизации разработки.

Оренбургское нефтегазоконденсатное месторождение (ОНГКМ) является одним из крупнейших в стране. Оно открыто в 1966 году и расположено на юго-востоке Волго-Уральской нефтегазоносной провинции. Месторождение характеризуется значительным содержанием сероводорода и гелия, что предопределяет сложные условия разработки и эксплуатации.

Для обеспечения полноты информации по ОНГКМ проводится постоянная работа по актуализации базы данных, включающей результаты гидродинамических исследований, материалы промыслового-геофизических исследований, геолого-технические отчёты, сведения по строительству, освоению и ремонту скважин, а также технологические режимы эксплуатации. Источниками информации выступают дочерние предприятия ПАО «Газпром». Все данные проходят проверку и структуризацию перед занесением в базу. Принципиальной особенностью системы является её историческая полнота: сведения аккумулируются с момента промышленного ввода месторождения.

Структура базы охватывает десятки таблиц и сотни атрибутов, что позволяет объединять разнотипные цифровые и текстовые материалы в единое информационное пространство. Перенос данных на серверные мощности специализированных научных подразделений сопровождается применением программного обеспечения на базе отечественной ОС, что обеспечивает соответствие требованиям информационной безопасности и возможности интеграции с корпоративными ресурсами.

Эффективность интеграции информационных систем подтверждается примерами аналогичных проектов. Так, при разработке подземного хранилища газа в Ленинградской области [1] учёт особенностей геологического строения и исторических данных эксплуатации позволил построить гидродинамическую модель, описывающую процессы формирования залежи и перемещения газо-водяного контакта. Сценарные расчёты эксплуатационных режимов обеспечили прогнозирование и верификацию результатов, что подтвердило важность комплексного анализа архивной информации.

Другой пример связан с крупными сеноманскими залежами Западной Сибири [2], где поэтапный ввод объектов добычи привёл к неравномерному распределению пластовой энергии и формированию депрессионных воронок. Ретроспективное моделирование показало перераспределение запасов газа между зонами и значительные внутрипластовые перетоки, что снижало энергетическую эффективность разработки. Для повышения результативности были предложены меры по регулированию добычи и дополнительному бурению эксплуатационных скважин, что позволило повысить коэффициенты газоотдачи.

Эти примеры демонстрируют универсальность подхода к интеграции архивных и текущих данных в гидродинамические модели, а также необходимость их постоянной актуализации для предотвращения энергетических потерь и повышения эффективности эксплуатации.

Помимо цифровизации данных, важное значение имеют прикладные технологии интенсификации добычи. При эксплуатации скважин в условиях пластовых давлений ниже давления насыщения нефти газом эффективность разработки снижается из-за ухудшения фильтрационных свойств. Одним из решений является использование специальных составов, способствующих повышению концентрации жидких углеводородов в призабойной зоне, что снижает давление насыщения и улучшает фазовую проницаемость нефти.

Перспективным направлением также является применение кислотных обработок призабойной зоны с использованием кислотообразующих гидрофобных эмульсий [3]. Эта технология предназначена для карбонатных коллекторов со сложной поровой структурой и пониженными давлениями. Результаты лабораторных исследований и опыт внедрения на ряде объектов Оренбургской области показали увеличение дебитов скважин в среднем на 50%, что подтверждает высокую практическую значимость метода.

Подбор эффективных технологий интенсификации и капитального ремонта скважин становится возможным именно на основе интеграции актуальных данных и применения программной инженерии. Современные базы данных позволяют выделять скважины-кандидаты для проведения мероприятий, обосновывать выбор технологий воздействия и прогнозировать ожидаемый эффект. Такой подход обеспечивает более рациональное использование финансовых ресурсов и позволяет минимизировать риски при планировании долгостоящих работ по восстановлению продуктивности.

Дополнительным фактором, способствующим росту эффективности разработки ОНГКМ, является внедрение принципов программной инженерии в процессы сбора, анализа, хранения и представления геологической и геолого-промышленной информации. Совершенствование методов обработки данных позволяет интегрировать информацию, поступающую из различных источников, и использовать её для комплексного анализа состояния разработки и эксплуатации месторождения. Благодаря этому создаётся единое информационное пространство, где данные об эксплуатационных режимах, результатах исследований и мероприятиях по ремонту и освоению скважин объединяются в связный массив.

Использование программной инженерии даёт возможность оптимизировать рабочие процессы за счёт сокращения времени на обработку и анализ данных, автоматизировать рутинные операции, снижать вероятность допущения ошибок, а также обеспечивать передачу и сохранение накопленного опыта. Особо важно, что внедрение таких технологий не только формирует современные инструменты для молодых специалистов, но и даёт старшему поколению инженеров возможность реализовывать свои идеи в рамках научноёмких и конкурентоспособных проектов.

Интеграция современных технологий обработки геолого-промышленной информации в процессы разработки месторождений позволяет создавать систематизированные базы данных, необходимые для построения гидродинамических моделей, прогнозирования добычи и повышения эффективности эксплуатации. Рассмотренные примеры – от подземного хранения газа до сеноманских залежей Западной Сибири и методов интенсификации добычи при пониженных давлениях – подтверждают универсальность подхода и его значимость для развития нефтегазовой отрасли России.

Комплексный подход, сочетающий цифровизацию данных, внедрение инновационных технологий воздействия на пласты, подбор оптимальных решений для капитального ремонта и использование инструментов программной инженерии, формирует основу для устойчивого повышения коэффициента извлечения углеводородов и оптимизации разработки на стадиях падающей добычи.

### **Библиографический список**

1. Гафаров А.Ш. Особенности гидродинамического моделирования Гатчинского ПХГ // Научно-технический сборник Вести газовой науки. – 2012. – № 2 (10). – С. 113–115.
2. Гереш Г.М., Гафаров А.Ш., Исхаков Р.Р. Использование результатов гидродинамического моделирования для оценки прогнозного состояния газовой залежи // Научно-технический сборник Вести газовой науки. – 2014. – № 4 (20). – С. 45–49.
3. Андреев В.Е., Гафаров А.Ш., Кувандыков Э.Ш. Повышение продуктивности скважин эксплуатирующихся при пластовых давлениях ниже давления насыщения нефти газом // Нефтегазовое дело. – 2008. – Т. 6. № 1. – С. – 51–54.

УДК 614.849

## ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ПРИ ХРАНЕНИИ НЕФТЕПРОДУКТОВ

*П.С. Горшкова*

студент, chemiiiiistryyyyy@gmail.com

Научный руководитель: **T.A. Курякова**, к.т.н., доцент, kuryakova.t@gubkin.ru  
Филиал РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина в г. Оренбурге, Оренбург

**Аннотация:** В статье представлены ключевые проблемы и их решения промышленной безопасности при хранении нефтепродуктов в резервуарах.

**Ключевые слова:** нефтепродукты, резервуар, хранение, безопасность, БПЛА, РЭБ.

## INDUSTRIAL SAFETY IN THE STORAGE OF PETROLEUM PRODUCTS

*P.S. Gorshkova*

student, chemiiiiistryyyyy@gmail.com

Scientific adviser: **T.A. Kuryakova**, Ph. T., Associate Professor, kuryakova.t@gubkin.ru  
Orenburg Branch for Gubkin Russian State University of Oil and Gas (RSU), Orenburg

**Abstract:** The article presents the key problems and their solutions to industrial safety in the storage of petroleum products in tanks.

**Keywords:** petroleum products, reservoir, storage, security, UAV, electronic warfare.

Нефтепродукты – это смеси углеводородов, а также индивидуальные химические соединения, получаемые из нефти и нефтяных газов. Они играют ключевую роль в современной экономике и повседневной жизни, поскольку используются в различных отраслях и для различных целей. Нефтепродукты можно классифицировать по различным критериям, включая их физические и химические свойства, способы получения и области применения.

Хранение нефтепродуктов – это важный аспект управления ими, который включает в себя меры по обеспечению безопасности, предотвращению утечек и загрязнений, а также соблюдению нормативных требований. Правильное хранение нефтепродуктов необходимо для защиты окружающей среды, здоровья человека и обеспечения надежности поставок.

Основные аспекты хранения нефтепродуктов заключаются в следующем. В типах хранилищ: наземные резервуары (они используются для хранения больших объемов нефтепродуктов, могут быть цилиндрическими или прямоугольными и часто имеют защитные конструкции для предотвращения утечек), подземные хранилища (включают в себя подземные резервуары и соляные каверны, эти методы позволяют минимизировать воздействие на окружающую среду), морские танкеры и терминалы (используются для временного хранения и транспортировки нефтепродуктов). Условия хранения: температура и давление (нефтепродукты должны храниться при контролируемых температурах и давлениях, чтобы предотвратить испарение, разложение или образование опасных смесей), вентиляция (необходимо обеспечить достаточную вентиляцию для предотвращения накопления паров, которые могут быть взрывоопасными). Безопасность и охрана окружающей среды: системы мониторинга

(установка датчиков для контроля уровня жидкости, температуры и давления, а также обнаружения утечек), пожарная безопасность (необходимы противопожарные системы и обучение персонала действиям в экстренных ситуациях), план действий на случай аварий (разработка и внедрение планов по ликвидации последствий разливов и других инцидентов).

В данной статье мы рассмотрим проблемы промышленной безопасности при хранении нефтепродуктов в наземных резервуарах. Основной из них являются утечки и разливы, которые могут происходить из-за коррозии, механических повреждений, неправильного монтажа или старения материалов. Это приводит к отрицательные последствия для окружающей среды. Попадание нефтепродуктов в почву вызывает изменение её биологических, химических и физических характеристик, нарушает ход естественных процессов. Кроме того, в почве образуются канцерогенные и токсичные вещества, имеющие мутагенные свойства. Также в большинстве случаев чрезвычайные происшествия происходят при нарушении технологических процессов на нефтебазах, эксплуатации неисправного или изношенного оборудования, устройств и трубопроводных сетей, низкой технологической дисциплине, несоблюдении мер производственной и пожарной безопасности. Ко всему к выбросу горючей жидкости на территорию промышленного объекта с возможностью последующего воспламенения или взрыва от источников воспламенения. Одним из эффективных мер устранения утечек и разрывов является герметизация резервуаров и других элементов нефтетранспортной системы. Она включает в себя несколько методов: своевременное устранение неплотностей в конструкциях и соединительных швах резервуаров (также важно проверять наличие прокладок во всех соединениях труб и контролировать качество используемой аппаратуры), использование «плавающих крыш» (это сооружения, которые представляют собой тонкий профиль, идеально соответствующий размерам резервуара, понтоны фактически плавают на поверхности нефти или нефтепродуктов, предотвращая испарение), окраска резервуара – наружная и внутренняя (если сделать её в светлых тонах, то амплитуда колебания температуры газового пространства внутри снижается, это уменьшает объём потерь, возникающих в результате испарения), использование технических систем, которые предотвращают образование взрывоопасных смесей и возможность взрыва внутри резервуара (к ним относятся газоуравнительные системы, системы улавливания и рекуперации паров, системы подачи инертных сред). Для хранения застывающих нефтепродуктов используют резервуары, оборудованные теплоизоляцией и средствами обогрева. Полный комплект устанавливаемых на резервуаре устройств и оборудования, а также схема их расположения определяются в проектной документации. Особенно острой темой является атака БПЛА на нефтяные резервуары, последствия которых приводят к взрыву и выбросу нефтепродуктов, разрушая экологическую обстановку местности. Также последствиями атак являются повреждения фасадов зданий, задымление, отключение электроэнергии и другие подобные последствия.

Для защиты резервуаров от атак с воздуха могут сооружаться навесы (сверху резервуаров и по периметру). Также одним весьма простым и эффективным способом защиты охраняемых объектов от дронов – оборудование ограждений и навесов с использованием стальных и капроновых сетей. Для защиты резервуаров от атак БПЛА можно использовать строительные леса. Клиновые или хомутовые леса могут быть быстро смонтированы для создания временной защитной конструкции. Обстройка лесами производится на некотором расстоянии от резервуара, что позволяет сместить точку возможного удара, предотвратив тем самым критическое повреждение объекта. Лучше всего для защиты нефтеперерабатывающих

заводов (НПЗ) от БПЛА использовать средства радиоэлектронной борьбы (РЭБ). Нужны такие установки, которые будут давить все частоты, на которых летают БПЛА. Беспилотник вообще не должен оказаться вблизи НПЗ, надо лишать его возможности даже подлететь к объекту. Системы РЭБ для защиты нефтеперерабатывающих и газоперерабатывающих заводов представляют собой комплексные системы активной и пассивной защиты, предназначенные для создания радиоэлектронного зонтика вокруг критически важного объекта. Их главная задача – предотвратить диверсию обстрел или разведку с использованием беспилотных летательных аппаратов дронов. Эти системы устроены по принципу обнаружение-подавление и включают в себя несколько ключевых элементов. Во-первых, это средства разведки, к которым относятся радары кругового обзора обнаруживающие цели по физическому отражению на подлете и радиочастотные пеленгаторы которые пассивно прослушивают эфир выявляя работающие дроны по их излучению пеленгуя направление и идентифицируя тип цели. Во-вторых, это средства подавления джаммеры которые после обнаружения генерируют мощные помехи в строго определенных диапазонах частот подавляя сигналы спутниковой навигации GPS ГЛО-АСС что лишает дрон ориентации, а также каналы управления и передачи данных прерывая связь с оператором и трансляцию видео. В-третьих, это интегрированная система управления, программное обеспечение, которое является мозгом комплекса оно объединяет данные с всех датчиков на единой цифровой карте автоматически классифицирует угрозы и выдает рекомендации или действует по заранее заданному алгоритму. Для таких объектов как НПЗ и ГПЗ применение РЭБ имеет особую специфику, обусловленную высокой категорией опасности. Оборудование должно иметь взрывобезопасное исполнение чтобы исключить риск воспламенения вблизи технологических установок. Ключевое требование – избирательность подавления система не должна нарушать работу критической инфраструктуры самого завода такой как связь охраны и логистики, а воздействовать точечно только на угрозу. Также система должна работать круглосуточно в автоматическом режиме с минимальным количеством ложных срабатываний и мгновенно реагировать на угрозу поскольку время подлета дрона исчисляется секундами. На практике система разворачивается по периметру объекта на вышках или мачтах создавая перекрывающиеся зоны обнаружения и подавления. Сценарий работы начинается с обнаружения цели радаром подтверждения ее радиочастотным пеленгатором после чего комплекс наводит антенны подавления и лишает дрон навигации и связи что приводит к его зависанию аварийной посадке или возврату на базу. Важно отметить, что применение средств РЭБ строго регламентировано государством и требует согласования с органами власти, например, с Роскомнадзором чтобы исключить воздействие на гражданскую связь и навигацию в округе.

Таким образом, хранение нефтепродуктов – это сложный процесс, требующий внимания к деталям и соблюдения строгих стандартов безопасности. Эффективное управление этим процессом помогает минимизировать риски для здоровья человека и окружающей среды, обеспечивая при этом надежность поставок. Системы РЭБ на НПЗ являются неотъемлемым высокотехнологичным эшелоном защиты, интегрированным в общий комплекс физической безопасности объекта.

### **Библиографический список**

1. ГОСТ 17032–2010 «Резервуары стальные горизонтальные для нефтепродуктов. Технические условия». – 2012–01–01. – Москва Стандарт информ, 2010. – 16 с.
2. ГОСТ 31385–2016 «Резервуары вертикальные цилиндрические стальные для нефти и нефтепродуктов. Общие технические условия». – 2017–03–01. – Москва 2016. – 96 с.
3. Приказ Ростехнадзора от 26.12.2012 № 777 «Об утверждении Руководства по безопасности для нефтебаз и складов нефтепродуктов».
4. Петров П.С., Сидоров И.К. Технические средства обнаружения и противодействия БПЛА: учебное пособие. – Екатеринбург: Издательство Уральского университета, – 2021. – 215 с.
5. Безопасность промышленных предприятий: современные угрозы и системы защиты от дронов.
6. Семенов Г.И., Ткаченко В.Л. Безопасность промышленных предприятий: современные угрозы и системы защиты от дронов. – СПб.: Политехника, – 2023. – 176 с.
7. Абрамов К.Р., Фролов М.П. Организационно-технические меры противодействия беспилотникам на объектах топливно-энергетического комплекса. – М.: Энергия, – 2022. – 198 с.
8. Радиоэлектронная борьба с мини- и микробеспилотными летательными аппаратами/ Козлов А.И., Новиков Е.А. // Радиоэлектронная борьба с мини- и микробеспилотными летательными аппаратами. – Воронеж: Научная книга, – 2021. – 224 с.

УДК 622.276.05

## ПРИМЕНЕНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ АППАРАТОВ В НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ

*A.R. Гумаров*

студент, albertgumarov06@gmail.com

Научный руководитель: **Э.Г. Халитова**, преподаватель, e.khalitova@burgaz.ru  
Филиал РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина в г. Оренбурге, Оренбург

**Аннотация:** В работе рассмотрено применение беспилотных аппаратов в процессе добычи нефти и газа, экономически эффективный метод мониторинга и анализа в нефтегазовой отрасли.

**Ключевые слова:** беспилотные аппараты, применение, актуальность.

## THE USE OF UNMANNED VEHICLES IN THE OIL AND GAS INDUSTRY

*A.R. Gumarov*

student, albertgumarov06@gmail.com

Scientific adviser: **E.G. Khalitova**, teacher, e.khalitova@burgaz.ru  
Orenburg Branch for Gubkin Russian State University of Oil and Gas (RSU), Orenburg

**Abstract:** The paper considers the use of unmanned vehicles in the process of oil and gas production, analysis of devices using unmanned vehicles.

**Keywords:** unmanned vehicles, application, relevance.

БПЛА (беспилотный летательный аппарат) – это воздушное транспортное средство, которое управляется без участия человека на борту. БПЛА могут быть разных размеров и назначения: от небольших дронов, используемых для съёмки и мониторинга, до более крупных способные перевозить грузы [1].

Нефтегазовая отрасль, одна из самых важных и технологически сложных сфер экономики, сталкивается с рядом серьёзных проблем при обслуживании и проверке своей инфраструктуры. Традиционные методы проверки, такие как ручной осмотр, требуют значительных временных и финансовых затрат, а также могут подвергать работников опасности. Например, проверка трубопроводов или установок на высоте, таких как факельные колонны, часто включает в себя рискованные работы, требующие подъёма на большую высоту, работы в ограниченном пространстве или на труднодоступных территориях. Такие методы приводят к значительным простоем, поскольку для проведения проверки необходимо приостановить производственные процессы, что, в свою очередь, приводит к большим потерям производительности и увеличивает затраты.

Однако за последнее десятилетие на смену этим традиционным методам пришла революционная технология – БПЛА. Оснащённые современными датчиками, камерами высокого разрешения и тепловизионным оборудованием, БПЛА предоставляют нефтегазовым компаниям уникальные возможности для проведения проверок инфраструктуры не только на суше,

но и на море. Значительно повышая безопасность и эффективность процессов. Беспилотные летательные аппараты позволяют проводить детальные осмотры важных объектов таких как:

1) Трубопроводный транспорт: трубопроводы могут протягиваться на тысячи километров и часто проходят через самые отдалённые районы, куда человеку трудно добраться. Для таких объектов требуется регулярный мониторинг и техническое обслуживание, включая осмотр полосы отчуждения с целью выявления утечек. Признаками утечек могут быть погибшая или обесцвеченная растительность, появление пятен жидкости на земле, поднимающаяся с поверхности грязь или мусор, а также необычные туманы и помутнения, а также повреждения трубопровода, вызванные внешними факторами. Беспилотные летательные аппараты (БПЛА) позволяют осуществлять идеальный обзор этих признаков с высоты, что помогает оператору оперативно реагировать на потенциальную угрозу. Дроны со специализированными оптическими устройствами и датчиками обеспечивают безопасную проверку труднодоступных или опасных для человека мест. С помощью инфракрасной и тепловизионной съёмки БПЛА могут обнаруживать потери тепла и выявлять возможные утечки в трубопроводе, где горячие точки указывают на возможные повреждения конструкции. В случае чрезвычайной ситуации, например утечки или взрыва, дрон может помочь в мониторинге происшествия и оказать содействие оператору и команде экстренного реагирования. Дроны также активно используются для мониторинга уровня радиации.

2) Разведка и добыча: в сфере добычи БПЛА могут найти более широкое применение на этапах разведки и добычи. Этап разведки заключается в обследовании обширных территорий с целью поиска перспективных месторождений нефти и газа; это может быть утомительным и трудоёмким процессом. Иногда к таким местам крайне трудно добраться человеку, и они могут быть опасными. БПЛА с широким охватом и идеально откалиброванными датчиками может точно определить нужное место и обеспечить прямую трансляцию оператору, находящемуся за много километров. Это может помочь существенно сократить расходы на дорогостоящие исследовательские суда и ресурсы. На этапе бурения на шельфе дроны могут помочь в мониторинге всей операции, а также в перемещении тяжёлого оборудования с помощью роботизированных манипуляторов. На этапе производства они могут помочь в мониторинге различных технологических процессов и обнаружении утечек, если такие имеются. Дроны также могут помочь на этапе строительства морских платформ для отслеживания хода работ и обеспечения качества возводимых конструкций.

3) На предприятиях: Нефтеперерабатывающие и нефтехимические предприятия представляют собой сложную и опасную среду, которая может быть небезопасной для работников. Для проведения инспекций на таких объектах активно используются беспилотные летательные аппараты. БПЛА могут обследовать различные труднодоступные или опасные участки, такие как работающие факельные трубы, дымовые трубы, вентиляционные отверстия, резервуары для хранения, надземные трубопроводы, здания, крыши, воздуховоды, порталы и пешеходные дорожки [2]. Одной из ключевых проблем для нефтегазовой отрасли является необходимость экономии средств, поскольку большинство проверок проводится, когда оборудование находится в рабочем состоянии, например, на факельных установках. Стоимость остановки завода для проведения инспекции может достигать миллиона долларов в день. При использовании БПЛА заводы необходимо останавливать только в том случае, если собранные данные указывают на наличие проблемы, требующей устранения.

Кроме того, использование дронов помогает повысить безопасность работников, поскольку большинство проверок проводится на опасной высоте, и сотрудники могут подвергаться воздействию вредных химических веществ. Применение БПЛА позволяет избежать необходимости помещать людей в потенциально опасные условия. Качество данных, получаемых с помощью дронов, значительно выше, поскольку они могут подлетать ближе к исследуемым объектам, предоставляя точные и актуальные данные, а также комментарии в режиме реального времени. А также использование беспилотных летательных аппаратов имеет существенные экологические преимущества. Традиционные методы проверки часто требуют использования тяжёлой техники и транспортировки оборудования, что требует значительных энергозатрат и приводит к выбросам углекислого газа. БПЛА же способны снизить потребность в использовании транспортных средств и больших строительных машин, тем самым сокращая углеродный след компании. Это становится особенно важным в контексте глобальных тенденций устойчивого развития, когда экологическая ответственность становится приоритетом для бизнеса.

Таким образом, интеграция БПЛА в процессы проверки и технического обслуживания инфраструктуры нефтегазовых компаний представляет собой важный технологический прорыв. Эта технология не только отвечает требованиям безопасности и повышает эффективность, но и способствует экологической устойчивости. Внедрение БПЛА позволяет нефтегазовой отрасли значительно сократить эксплуатационные расходы, повысить производительность, улучшить безопасность и минимизировать негативное воздействие на окружающую среду, что делает её неотъемлемой частью будущего развития этой важной сферы.

### **Библиографический список**

1. В.И. Вершинин Armada Compendium Drones – 2010.
2. Тайманова Г.К., Пак Р.Е. Беспилотные летательные аппараты для мониторинга нефтепроводов.

УДК 004.8

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В СИСТЕМАХ АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

*В.П. Гурбенко*

студент, gurbenko2002@mail.ru

Научный руководитель: *А.В. Дудко*, к.п.н., доцент, dudko11111@mail.ru

Филиал РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина в г. Оренбурге, Оренбург

**Аннотация:** В статье исследуется применение искусственного интеллекта для автоматизации технологических процессов. Показано, как методы ИИ повышают эффективность управления, обеспечивают прогнозирование и адаптацию производства, улучшая надежность и качество работы систем. Обоснована перспективность внедрения ИИ в промышленную автоматизацию.

**Ключевые слова:** искусственный интеллект, автоматизация, технологический процесс, машинное обучение, нейронные сети.

## USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN PROCESS AUTOMATION SYSTEMS

*V.P. Gurbaneko*

student, gurbenko2002@mail.ru

Scientific adviser: *A.V. Dudko*, Ph.D., Associate Professor, dudko11111@mail.ru

Orenburg Branch for Gubkin Russian State University of Oil and Gas (RSU), Orenburg

**Abstract:** The article explores the application of artificial intelligence for the automation of technological processes. It shows how AI methods increase the efficiency of management, provide forecasting and adaptation of production, and improve the reliability and quality of systems. The article substantiates the prospects of implementing AI in industrial automation.

**Keywords:** artificial intelligence, automation, technological process, machine learning, neural networks.

### Введение

В современном мире развитие технологий стремительно меняет промышленность и производство. Одним из важнейших направлений является внедрение искусственного интеллекта (ИИ) в системы автоматизации технологических процессов. ИИ позволяет существенно повысить эффективность, обеспечить гибкость и адаптивность производства, снизить издержки и повысить качество выпускаемой продукции. В этой статье рассмотрим основные принципы использования ИИ в автоматизации, примеры применения в различных отраслях и перспективы развития.

### 1. Основы искусственного интеллекта в автоматизации.

Искусственный интеллект – это совокупность технологий и методов, позволяющих машинам обучаться, анализировать данные, принимать решения и адаптироваться без прямого программирования. В контексте автоматизации технологических процессов ИИ выступает как интеллектуальный «мозг», обеспечивающий саморегулирование и оптимизацию систем.

Ключевые компоненты ИИ:

- **Машинное обучение** – алгоритмы, которые на основе исторических данных создают модели для прогнозирования и управления процессами.
- **Экспертные системы** – базы знаний и правил, имитирующие опыт специалистов.
- **Обработка больших данных (Big Data)** – анализ огромных массивов информации для выявления закономерностей и аномалий.
- **Нейронные сети** – модели, способные выявлять сложные зависимости и прогнозировать результаты.
- **Робототехника и сенсорные системы** – взаимодействие с физическим оборудованием для выполнения задач.

Использование ИИ в автоматизации позволяет перейти от традиционного жёсткого управления к гибкому интеллектуальному управлению, значительно расширяя возможности технологических систем.

## 2. Преимущества интеграции ИИ в технологические процессы.

Применение искусственного интеллекта в автоматизации открывает множество преимуществ:

- **Оптимизация ресурсов и затрат.** ИИ помогает определить оптимальные режимы работы оборудования, снижая энергозатраты и износ.
- **Умное прогнозирование технических неисправностей.** Предиктивное обслуживание позволяет своевременно выявлять потенциальные поломки, предотвращая аварии.
- **Снижение человеческого фактора.** Автоматизация сложных операций уменьшает вероятность ошибок и повышает безопасность.
- **Адаптация к изменяющимся условиям.** Системы на базе ИИ способны быстро реагировать на внешние и внутренние изменения производства.
- **Повышение качества продукции.** Контроль и корректировка ключевых параметров с помощью ИИ позволяют улучшить стабильность и соответствие стандартам.
- **Комплексный анализ данных.** ИИ объединяет информацию из разных источников для принятия оптимальных решений.

## 3. Примеры применения ИИ в промышленной автоматизации.

ИИ внедряется в самые разные отрасли промышленности:

- **Нефтегазовая индустрия.** Системы ИИ контролируют работу буровых установок и трубопроводов, прогнозируют технические повреждения и оптимизируют добычу с учётом геологических условий. Это минимизирует риски и увеличивает объёмы добычи.
- **Автомобилестроение.** Интеллектуальные роботизированные линии выявляют дефекты деталей на ранних этапах, настраивают параметры сборки в режиме реального времени, повышая качество и скорость выпуска автомобилей.
- **Химическая промышленность.** Анализ многочисленных параметров реакций и условий производства с помощью ИИ позволяет учесть множество факторов, оптимизируя рецептуры и технологические режимы, снижая энергозатраты и улучшая безопасность.
- **Энергетика.** ИИ обеспечивает прогнозирование нагрузки в энергосетях, оптимальное распределение ресурсов и предотвращение аварийных ситуаций, что повышает стабильность электроснабжения.
- **Пищевая промышленность.** Автоматизированный контроль качества сырья и готовой продукции, регулировка технологических параметров с учётом изменения состава, что позволяет снизить потери и увеличить выход продукции высокого качества.

#### **4. Технологические вызовы и перспективы развития.**

Несмотря на явные выгоды, внедрение искусственного интеллекта в автоматизацию сталкивается с рядом вызовов:

- **Высокие капитальные затраты.** Разработка, внедрение и поддержка ИИ-систем требуют значительных инвестиций. – Необходимость качественных данных. Для обучения моделей нужны большие, точные и структурированные массивы данных, которых не всегда хватает.
- **Квалификация персонала.** Для работы с ИИ-технологиями нужны специалисты с узкой экспертизой, что требует дополнительного обучения и подготовки.
- **Кибербезопасность.** Интеллектуальные системы требуют надежной защиты от внешних угроз и несанкционированного доступа.
- **Интеграция с существующими системами.** Сложность связать ИИ с устаревшим оборудованием и программным обеспечением.

Вместе с тем развитие облачных технологий и Интернета вещей (IoT), а также повышение доступности ИИ-решений открывают новые возможности. В будущем мы можем ожидать появление полностью автономных производственных площадок, способных самостоятельно адаптироваться к изменениям и обеспечивать максимальную эффективность.

#### **Заключение**

Использование искусственного интеллекта в системах автоматизации технологических процессов – важный этап развития промышленности. ИИ открывает путь к созданию гибких, интеллектуальных, высокоэффективных производств нового поколения, повышая качество продукции, снижая расходы и уменьшая риски. Преодолевая текущие вызовы, отрасли постепенно интегрируют ИИ в ключевые процессы, что создаёт предпосылки для перехода к «умным фабрикам» и концепции промышленности. Таким образом, ИИ становится неотъемлемым инструментом современного технологического прогресса.

#### **Библиографический список**

1. Иванов И.И. Искусственный интеллект в автоматизации производства: Учебное пособие. – М.: Наука, 2020. – 256 с.
2. Петрова А.А. Внедрение ИИ в промышленность: методы и технологии // Журнал «Автоматизация и управление». – 2022. – № 5. – С. 34–42.
3. Смирнов В.В., Кузнецов Д.Д. Искусственный интеллект и интернет вещей в промышленности 4.0 // Технический вестник. – 2023. – Т. 15, № 3. – С. 56–65.
4. Russel S., Norvig P. Artificial Intelligence: A Modern Approach. – 4th ed. – Pearson, 2020. – 1150 p.
5. Official website of Industry 4.0 // <https://www.industry40.com>. – Accessed 20.06.2024.

УДК 622.24

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ УСТРАНЕНИЯ ОСЛОЖНЕНИЙ В ПРОЦЕССЕ БУРЕНИЯ

*R.C. Данышин*

студент, roman9877999602@outlook.com

Научный руководитель: **C.Н. Дроздов**, к.т.н., доцент, SL.drozdov@mail.ru

**M.A. Ванчинова**, к.п.н., доцент, ema.06.75@mail.ru

Филиал РГУ нефти и газа (НИУ) имени И. М. Губкина в г. Оренбурге, Оренбург

**Аннотация:** Изучена проблема возникновения осложнений в процессе бурения и сформулирована актуальность рассматриваемой темы. Разобрали возможные варианты устранения возникших осложнений на основе существующих изобретений. Выявили проблемы имеющихся устройств. Предложили способ отворота резьбового соединения бурильной трубы с помощью волновой передачи и совместного воздействия ударом ясса.

**Ключевые слова:** бурильная труба, волновая передача, крутящий момент, плашки, ясс.

## IMPROVING THE SYSTEM FOR ELIMINATING COMPLICATIONS DURING DRILLING

*R.S. Danshin*

student, roman9877999602@outlook.com

Scientific adviser: **S.N. Drozgov**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,  
SL.drozdov@mail.ru

**M.A. Vanchinova**, Ph.D., Associate Professor, ema.06.75@mail.ru

Orenburg Branch for Gubkin Russian State University of Oil and Gas (RSU), Orenburg

**Abstract:** The problem of complications during the drilling process has been studied, and the relevance of the topic under consideration has been formulated. Possible solutions to the complications have been analyzed based on existing inventions. The problems of existing devices have been identified. A method has been proposed for unscrewing the threaded connection of the drill pipe using wave transmission and combined impact from the yassa.

**Keywords:** drill pipe, wave transmission, torque, dies, yass.

Сегодня тенденция территориального строительства скважин смещается в северные регионы, которые считаются труднодоступными районами. Там отсутствуют или затруднены подъездные пути, по которым нужно осуществлять доставку оборудования и необходимых грузов.

В свою очередь в техническом задании Заказчика на производство работ указывается необходимость иметь комплект левого бурильного инструмента, равнопрочного правому, используемому при бурении, в оперативной доступности. Это затруднительно, а порой невозможно выполнить ввиду резкого увеличения количества месторождений, находящихся на значительном расстоянии друг от друга и отсутствия достаточного количества комплектов левого бурильного инструмента.

В процессе бурения, иногда случаются аварии, связанные с прихватом бурильной колонны, а далее оставление части инструмента в скважине. В этом случае ликвидация аварий требует разборки оставленной в скважине части колонны труб, либо компоновки низа бурильной колонны. Ввиду невозможности или значительных затрат на доставку левого инструмента на объект, чаще всего принимается решение о перебурывании скважины. И это одна из основных проблем, возникающих в процессе бурения скважин в труднодоступных районах и направление нашей работы, можно считать актуальным.

Для сокращения времени затрат на ликвидацию аварии, связанной с необходимостью отворота и извлечения компоновки низа бурильной колонны, мы предлагаем устройство, которое позволит крутящий момент правого вращения от верха колонны, трансформировать в левое вращение и тем самым раскручивать оставленную в скважине часть колонны труб. Это устройство должно быть компактным и транспортабельным, что позволит минимизировать затраты на завоз (частичный завоз) левого бурильного инструмента для ликвидации аварии или вообще от него отказаться.

Изучив существующие конструкции реверсивных устройств, а они представляют из себя планетарный редуктор, разработанных разными авторами и научными институтами, мы пришли к выводу, что в настоящее время ни одно из них не удовлетворяет требованиям к отвороту разбираемого объекта по крутящему моменту. Момент затяжки замков СБТ 89 составляет 34–42 кН·м. Когда на реверсивное устройство крутящий момент подаётся через колонну правых бурильных труб, которые в процессе вращения сверху, набирая пружину, теряют величину крутящего момента (чем длиннее колонна, тем больше потери) и в результате к разбираемому соединению приходит крутящий момент значительно меньше, чем прикладывается сверху, не позволяя рассоединить замок бурильной трубы.

Также при работе буровым инструментом в компоновку нижней части бурильной колонны включаются ударные механизмы – яссы, которые ударно передают всю величину крутящего момента к разбираемому объекту, созданному на верху через набранную пружину. Они организуют пик (выстрел) момента, что позволяет довести (создать) момент на разбираемый объект более 34–42 кН·м одновременно создавая вертикальную ударную нагрузку на рассоединяемую резьбу. Одновременное использование реверсивных устройств и ясса не допустимо, ввиду малой несущей способности зубчатого зацепления к ударным нагрузкам.

Для устранения имеющихся ограничений из-за конструкции редуктора, мы предлагаем применить волновую передачу (рисунок 1). Большое передаточное отношение, основное положительное качество этой передачи. При  $i = 80–250$  к.п.д. находится в пределах 0,8–0,9 [1].

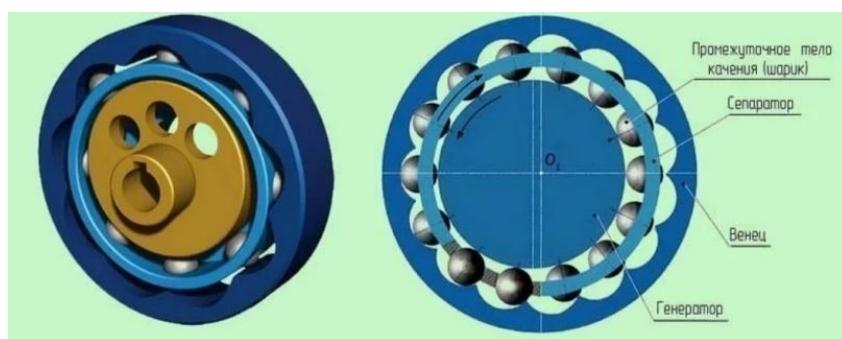


Рисунок 1 – Волновая передача

Сама волновая передача соединена с пакером 2, который в свою очередь крепится к колонне 1 и спускается на забой (рисунок 2). Сепаратор 6 соединяется с буровой трубой, оставленной в скважине, за счёт нарезания левой резьбы ловильным инструментом (метчиком или колоколом) 7 на захватываемой трубе до достижения номинального крутящего момента отворота. Привод осуществляется через генератор волн 5. Венец 4 жёстко соединён с корпусом фонаря и остаётся неподвижным при врезании плашек 3 в обсадную трубу 8. Для повышения эффективности, можно одновременно с предлагаемым устройством применить удар яссом вниз (на рисунке не показан).

Принцип работы предложенного устройства заключается в следующем:

Пакер 2 опускают в скважину до требуемой глубины на колонне насосно-компрессорных труб 1. При вводе пакера 2 в обсадную колонну 8, благодаря трению фонарь стремиться отстать от общего движения спускаемой колонны, но этому препятствует штифт, удерживающий фонарь за его замок. При достижении пакером 2 нужной глубины небольшим подъёмом колонны вверх (0,3...0,5 м) и поворотом трубы на 1–1,5 оборота вправо штифт выводится из замка. Замок при этом не поворачивается из-за трения башмаков об обсадную колонну, соединенных с замком через цилиндрические втулки, корпус фонаря и винта.

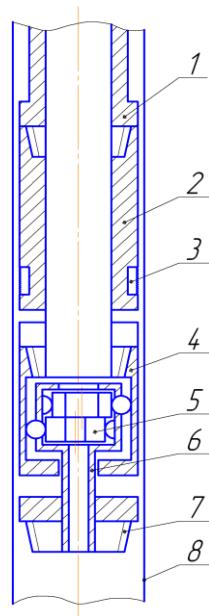
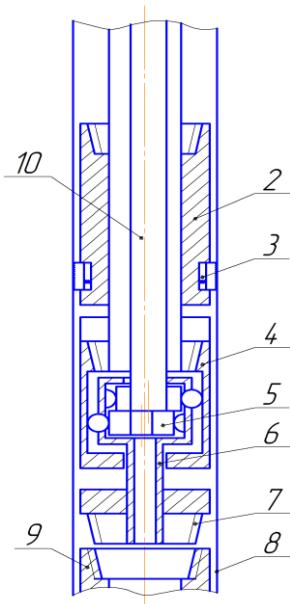


Рисунок 2 – Схема присоединённого устройства к корпусу пакера

При дальнейшем спуске колонны труб конус надвигается на плашки 3, которые продолжают оставаться с фонарём на месте, раздвигает их и тогда они своими насечками врезаются в стенку обсадной колонны 8 и препятствуют дальнейшему движению конуса вниз (рисунок 3). Далее отсоединяется от пакера 2, а вместо неё опускаем на бурильной трубе приводной стержень 10. Приводной стержень 10 входит в зацепление с генератором волн 5. При этом буровая труба и приводной стержень 10 врачаются по часовой стрелке вправо, а ловильный инструмент 7 соединенный с сепаратором 6 за счёт волновой передачи поменяет направление на левое вращение и этим произведём нарезание левой резьбы в захватываемой трубе 9. Для исключения перемещения пакера 2 на плашках 3 в обсадной трубе 8, генератор волн 5 и сепаратор 6 с ловильным инструментом 7 имеет осевое перемещение. Прикладывая необходимый

крутящий момент (набираем пружину) добиваемся отворота буровой трубы ниже по резьбе. Далее отсоединяем приводной стержень 10, опускаем колонну труб, соединяемся с пакером, сводим плашки 3 и поднимаем на поверхность инструмент и захваченную трубу.



*Рисунок 3 – Схема волновой передачи в работе*

Таким образом предложенное устройство, в конкретных условиях эксплуатации, может быть использовано с целью сокращения экономических затрат и получения технологического эффекта, сокращения времени на ликвидацию аварии на удалённых (автономных) объектах.

#### **Библиографический список**

1. Иванов М.Н. Детали машин: Учеб. для машиностр. спец. вузов. – 4-е изд., перераб. – М.: Высшая школа, 1984. – 336 с., ил.

УДК 551

**ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ ВАРИОГРАММ  
ПРИ СТОХАСТИЧЕСКОМ МОДЕЛИРОВАНИИ  
ДЛЯ КОРРЕКТНОГО УЧЕТА ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ**

*A.P. Даньшина*

младший научный сотрудник, [danshinaAP@yandex.ru](mailto:danshinaAP@yandex.ru)  
ООО «Газпром ВНИИГАЗ»

**Аннотация:** В работе рассмотрен способ оценки параметров теоретических вариограмм, применяемых при использовании методов стохастического моделирования, на основе показателей геологической неоднородности.

**Ключевые слова:** геологическая модель, стохастический метод, ранг, порог, вариограмма, неоднородность.

**ESTIMATION OF VARIOGRAM PARAMETERS IN STOCHASTIC MODELING  
FOR CORRECT ACCOUNTING OF GEOLOGICAL HETEROGENEITY**

*A.P. Danshina*

junior research scientist, [danshinaAP@yandex.ru](mailto:danshinaAP@yandex.ru)  
Gazprom VNIIGAZ LLC

**Abstract:** The paper considers a method for estimating the parameters of theoretical variograms used in stochastic modeling methods based on indicators of geological heterogeneity.

**Keywords:** geological model, stochastic method, range, sill, variogram, heterogeneity.

В настоящее время для решения прикладных задач подсчета запасов и эффективного управления разработкой месторождений УВС широко применяются геолого-гидродинамические трехмерные цифровые модели. Для наиболее точного проектирования и контроля за разработкой в основу таких моделей должны быть положены максимально возможно приближенные к реальным представления о строении резервуара, его неоднородности на уровне литологического состава, изменения ФЕС коллекторов, пространственной геометрии строения продуктивной толщи (объемной неоднородности), а также представления о количестве запасов, распределении их по разрезу и площади и т. д.

На базе геолого-гидродинамических моделей осуществляется комплексирование геолого-геофизической и промысловой информации, выполняется оценка геологических и извлекаемых запасов УВС, обосновывается оптимальная стратегия доразведки и разработки продуктивных пластов [1].

Однако результативность вышеперечисленных процессов зависит от степени достоверности и представительности геологической основы. Важными параметрами, влияющими на гидродинамическую связность резервуара, а соответственно и распределение запасов в его объеме и требующими наиболее достоверного отражения при геолого-гидродинамическом моделировании являются в том числе прерывистость и послойная неоднородность.

Недостоверное отображение или недоучет в модели параметров выдержанности, расчлененности отдельных пропластков, резкого изменения ФЕС, характеризующих зону замещения коллекторов, и иных параметров геологической неоднородности, может привести к существенным неточностям, связанным с несопоставимостью проектных (полученных на таких моделях) и фактических показателей. Это, в свою очередь, сказывается на значительном снижении эффективности проектирования и управления разработкой.

Создание кубов свойств геолого-гидродинамических моделей основано на применении детерминистического или стохастического подхода. Добиться наиболее точного отображения геологической неоднородности при использовании детерминистических методов возможно при условии наличия полной геолого-геофизической информации по довольно плотной регулярной сетке скважин и относительно однородном и выдержанном геологическом строении. Однако такие месторождения по ряду причин в практике моделирования встречаются редко.

Ввиду чего наиболее применимы методы, базирующиеся на аппарате геостатистики. Стохастические методы подразумевают некоторую «гибкость», а, следовательно, более применимы для отображения резких изменений параметров моделируемого резервуара даже в условиях неравномерной разбурренности и относительного дефицита исходных данных [2].

Различают несколько методов стохастического моделирования. В настоящей работе рассмотрены индикаторные, которые опираются в первую очередь на статистические характеристики геологических тел, определяемые на основе вариограммного анализа: ранг вариограммы, эффект самородка, порог [2].

В ряде случаев данные параметры на основе вариogramмного анализа неопределимы, в следствие – основаны на субъективной оценке. Нередко в подобных случаях для моделирования принимаются ранги, численно равные половине длины рассматриваемой области.

Ясно, что модели, построенные таким образом, не способны с достаточной степенью точности воспроизводить параметры геологической неоднородности моделируемых месторождений. Это, как уже было сказано, значительно снижает достоверность прогноза.

Таким образом, актуальным является вопрос оценки описываемых параметров на базе альтернативной методики, основанной на применении количественных параметров латеральной и вертикальной геологической неоднородности для оценки радиуса вариограмм.

Наиболее распространенными количественными параметрами вертикальной геологической неоднородности являются:

Коэффициент песчанистости ( $K_n$ ), представляющий собой отношение эффективной мощности к общей мощности пласта, прослеживаемой в разрезе данной скважины.

Коэффициент расчлененности ( $K_p$ ), вычисляемый делением суммы продуктивных прослоев по всем скважинам к общему числу скважин, вскрывающих пласт.

Для оценки параметров латеральной неоднородности применяют:

Коэффициент литологической связности или слияния ( $K_s$ ), вычисляемый по данным [3] путем деления площадей (участков) слияния пропластков к общей площади залежи в пределах внешнего ее контура или площади моделирования.

Для характеристики латеральной неоднородности прерывистых пластов с фациальной невыдержанностью Истоминым С.Б. предложено использование параметра плотности границ коллектора  $P_{nl}$ , который представляет собой отношение периметра контура коллектор-неколлектор в пределах залежи к площади моделирования [1].

S.F. Carle и G.E. Fogg [4] установлена взаимосвязь между коэффициентами геологической неоднородности и параметрами стохастического моделирования. Ниже на основе данных исследований [4] приведено рассмотрение методики использования коэффициентов геологической неоднородности для определения значений порога и радиуса вариограмм на примере наиболее часто применимой на практике – сферической вариограммы, уравнение которой приведено в формуле 1. Ею может быть аппроксимировано более 80 процентов экспериментальных вариограмм.

$$\gamma(h) = \begin{cases} c\left(\frac{3h}{2a} - \frac{h^3}{2a^3}\right), & \text{при } h < a, \\ c, & \text{при } h \geq a \end{cases} \quad (1)$$

где  $\gamma(h)$  – дисперсия по оси ординат;

$h$  – расстояние между точками в паре (по оси абсцисс);

$a$  – радиус корреляции;  $c$  – порог вариограммы.

Согласно данным [1, 3] средний размер геологических тел ( $H_{cp}$ ), характеризующий зону распространения какой-либо фации, может быть определен по формуле 2:

$$H_{cp} = K_n * \operatorname{tg}(\alpha), \quad (2)$$

где  $\alpha$  – начальный угол наклона вариограммы, град;

$$H_{cp} = K_n / K_p.$$

Порог вариограммы ( $c$ ), напрямую связанный с долей пространства, приходящейся на какую-либо фацию, рассчитывается по формуле 3.

$$c = K_n * (1 - K_n) \quad (3)$$

Тангенс начального угла наклона вариограммы равен (формула 4):

$$\operatorname{tg}(\alpha) = \frac{h}{\gamma(h)}, \quad \text{при } h \rightarrow 0 \quad (4)$$

Путем несложных математических преобразований, подставляя выражение 4 в уравнение сферической вариограммы, получаем (формула 5):

$$a = \frac{3}{2} * c * \operatorname{tg}(\alpha) \quad (5)$$

Тогда с учетом формулы 2 радиус вариограммы может быть выражен через параметры геологической неоднородности следующим образом (формула 6) [1,4]:

$$a = \frac{3}{2} * \frac{c}{K_p} \quad (6)$$

Данное уравнение (формула 6) основано на параметрах вертикальной неоднородности и характеризует вертикальный ранг. В качестве аналога песчанистости при характеристике латеральной неоднородности можно рассматривать коэффициент распространения, аналог  $H_{cp} - R_{cp}$ , определяющий средний размер латеральных тел (формула 7) [1]. Тогда формулы 3, 6 можно представить в виде (формула 8,9):

$$R_{cp} = \frac{4 * K_s}{P_{nl}} \quad (7)$$

$$c = K_s * (1 - K_s) \quad (8)$$

$$a = 6 * \frac{c}{P_{nl}} \quad (9)$$

Для оценки результативности применения описанной методики расчет параметров вариограмм выполнен для Филипповской залежи (Ф3) Оренбургского нефтегазоконденсатного месторождения (ОНГКМ). Ф3, как и все залежи ОНГКМ, характеризуется сложным геологическим строением, высокой степенью неоднородности карбонатного разреза, осложняемой фациальной изменчивостью [5].

В ходе оценки параметров стохастического моделирования на основе вариограммного анализа, выполненного различными модельерами на протяжении истории создания геологических моделей ОНГКМ, явных корреляционных зависимостей (особенно для латерального направления) не выявлено, ввиду чего для определения параметров моделирования использовался метод подбора.

Диапазоны использованных при этом параметров следующие: латеральное направление – 3000–25000 м, вертикальное направление – 1–4 м; плато – 0,2–1.

Ввиду значительного разброса параметров требуется более обоснованный выбор рассматриваемых показателей.

Согласно представлениям о геологическом строении Ф3 ОНГКМ эффективная толщина разреза по скважинам изменяется от 0,4 до 10 м, расчлененность пласта от 1 до 19, в среднем 4, коэффициент песчанистости изменяется от 0,03 до 0,65 д. ед., в среднем – 0,38 д. ед. Периметр и площадь зоны распространения коллекторов Ф3 ОНГКМ оценены соответственно 150 000 м и 1 200 км<sup>2</sup>. Площадь моделирования в среднем – 1 500 км<sup>2</sup>.

Путем математических вычислений на основании описанной методики для Ф3 ОНГКМ получены следующие значения: латеральный ранг – 5400 м, вертикальный ранг – 0,1 м; плато – 0,2.

Сопоставление разрезов по кубу литологии неохарактеризованной скважинами зоны действующей геологической модели, для построения которой использованы вертикальный и горизонтальный ранги, соответственно равные 4 и 7500 м, плато 1, с аналогичным кубом, полученным на основании параметров геологической неоднородности, приведено на рисунке 1.

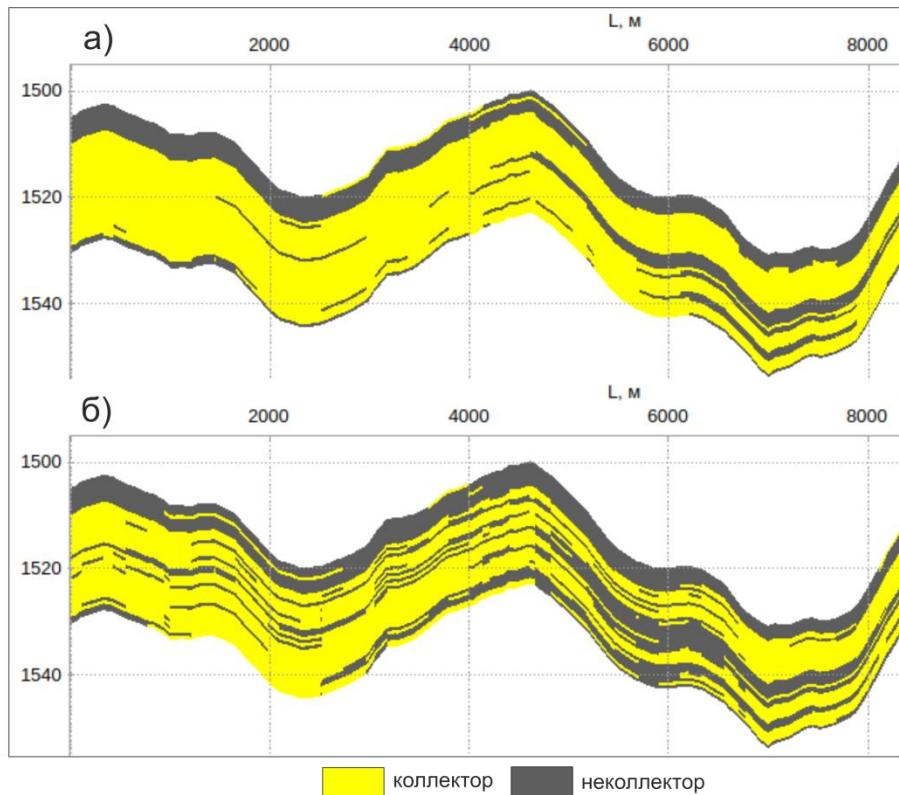


Рисунок 1 – Разрез по кубу литологии а) действующей б) построенной на основании параметров вариограмм, оцененных с использованием коэффициентов геологической неоднородности, геологических моделей ФЗ ОНГКМ

Как видно, куб литологии, полученный с использованием параметров, оцененных на основании описанной методики, в большей степени характеризует прерывистость и неоднородность разреза ФЗ ОНГКМ.

Таким образом, использование в качестве порога и рангов вариограмм значений, полученных на основе аналитических зависимостей с количественными параметрами геологической неоднородности, позволяет повысить достоверность учета в трехмерной модели сложности геологического строения с точки зрения литологической неоднородности, что, в свою очередь, скажется на повышении прогнозной возможности геолого-гидродинамического моделирования, а, следовательно, и эффективности разработки.

#### Библиографический список

1. Истомин С.Б. Учет литологической макронеоднородности при цифровом геологическом моделировании месторождений нефти и газа. Специальность 25.00.10 «Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых»: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Истомин Сергей Борисович; Российской государственный

военный университет. – Москва, 2009. – 94 с. – Библиогр.: с. 12–16. – Текст: непосредственный.

2. Закревский К.Е., Попов В.Л. Вариограммный анализ геологических тел // Экспозиция Нефть Газ. – 2018. – № 1 (61). – С. 27–31.

3. Стасенков В.В., Климушин И.М. Методы изучения геологической неоднородности нефтяных пластов. – М.: Издательство «Недра», – 1972. – 168 с.

4. Carle S.F., Fogg G.E. Transition probability-based indicator geostatistics // Math Geol. – 1996. – № 28. – p. 453–476.

5. Даньшина А.П. Анализ геолого-промышленных характеристик Филипповской залежи Оренбургского нефтегазоконденсатного месторождения с целью оптимизации разработки // Севергеоэкотех-2025: Материалы XXVI Международной молодёжной научной конференции. – 2025 – Ухта: Ухтинский государственный технический университет. – С. 247–255.

УДК 665.73

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ КАЧЕСТВА БЕНЗИНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИИ

**Ж.Н. Жаханшаева**

студент, zansaazahanseva@gmail.com

Научный руководитель: **Н.Е. Айкенова**

кандидат технических наук, старший преподаватель, aikenova\_nye@enu.kz

Евразийский университет имени Л.Н. Гумилева, Астана

*Аннотация: В современном мире качество топлива играет решающую роль для эффективной работы двигателей внутреннего сгорания и снижения вредных выбросов в окружающую среду. Одним из ключевых показателей качества бензина является октановое число, которое отражает его детонационную стойкость. Традиционные методы определения октанового числа, основанные на лабораторных испытаниях, требуют значительных временных и материальных ресурсов. В связи с этим актуальной задачей является разработка более быстрых и экономичных способов оценки качества топлива. В работе рассматривается использование методов искусственного интеллекта (ИИ), таких как машинное обучение и нейронные сети, для прогнозирования октанового числа бензина по данным о его углеводородном составе. Модель, обученная на экспериментальных данных, способна анализировать химический состав топлива и с высокой точностью предсказывать его характеристики.*

**Ключевые слова:** бензин, октановое число, искусственный интеллект, машинное обучение, нейронные сети, контроль качества топлива, детонационная стойкость, математическое моделирование, спектрометрия, анализ данных, устойчивое развитие.

## DETERMINING GASOLINE QUALITY USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE

**Zh.N. Zhakhanshaeva**

student, zansaazahanseva@gmail.com

Scientific adviser: **N.E. Aikenova**

Candidate of Technical Sciences, senior lecturer, aikenova\_nye@enu.kz

L.N. Gumilyov Eurasian University, Astana

*Abstract: In today's world, fuel quality plays a crucial role in the efficient operation of internal combustion engines and the reduction of harmful emissions. One of the key indicators of gasoline quality is the octane number, which reflects its resistance to detonation. Traditional methods for determining octane number, based on laboratory testing, are time-consuming and expensive. Therefore, developing faster and more cost-effective methods for assessing fuel quality is a pressing issue. This paper examines the use of artificial intelligence (AI) methods, such as machine learning and neural networks, to predict gasoline octane number based on its hydrocarbon composition. A model trained on experimental data is capable of analyzing the chemical composition of the fuel and predicting its characteristics with high accuracy.*

**Keywords:** gasoline, octane rating, artificial intelligence, machine learning, neural networks, fuel quality control, detonation resistance, mathematical modeling, spectrometry, data analysis, sustainable development.

Оценка качества бензина является одной из важнейших задач нефтеперерабатывающей промышленности. Качественный бензин обеспечивает стабильную работу двигателя, снижает экономические затраты и минимизирует вредное воздействие на окружающую среду. Одним из ключевых показателей, характеризующих качество бензина, является октановое число. Оно отражает устойчивость топлива к детонации: низкое октановое число приводит к преждевременному воспламенению в двигателе, снижению мощности и ускоренному износу деталей, тогда как высокое октановое число обеспечивает полное и эффективное сгорание топлива.

Традиционные лабораторные методы (такие как моторный метод и определение октанового числа) требуют дорогостоящего оборудования, значительных временных затрат и участия квалифицированного персонала. Кроме того, они не всегда позволяют получить результаты в режиме реального времени [1].

Технологии искусственного интеллекта (ИИ), напротив, представляют собой эффективную альтернативу для определения качества бензина. ИИ способен быстро обрабатывать большие объемы данных, анализировать сложный углеводородный состав и выявлять скрытые взаимосвязи между параметрами.

Среди методов ИИ особенно эффективными являются алгоритмы машинного обучения (Decision Tree, Random Forest, Gradient Boosting) и искусственные нейронные сети.

- Например, методы машинного обучения позволяют классифицировать образцы бензина на категории «высококачественный» и «низкокачественный».
- Искусственные нейронные сети способны обрабатывать более 20 входных параметров состава бензина и с высокой точностью прогнозировать его октановое число.

Исследования показали, что при использовании традиционных методов средняя погрешность составляет  $\pm 1,5\text{--}2,0$  единицы октанового числа, тогда как модели на основе нейронных сетей снижают эту погрешность до  $\pm 0,3\text{--}0,5$ . Алгоритмы Decision Tree и Random Forest обеспечили точность около 85–90%, в то время как искусственные нейронные сети продемонстрировали точность выше 95% .

Этот подход имеет большое промышленное значение. На нефтеперерабатывающих заводах спектрометрические датчики, установленные на линиях смешения бензина, могут собирать данные в режиме реального времени и передавать их в модель ИИ. На основании полученных результатов система мгновенно предоставляет информацию о качестве бензина, что позволяет операторам оперативно корректировать технологический процесс при необходимости [2].

Еще одним важным аспектом применения ИИ является его экологическая значимость. Качественный бензин при сгорании выделяет меньше угарного газа и сажи, что улучшает качество воздуха в городах и снижает выбросы вредных веществ в атмосферу.

Кроме того, автоматизированные системы контроля качества топлива способствуют соблюдению экологических норм и поддерживают концепцию устойчивого развития [1].

Таким образом, применение технологий искусственного интеллекта в оценке качества бензина является эффективным инструментом, который дополняет и частично заменяет

традиционные методы. Это помогает экономить время и финансовые ресурсы, улучшает качество продукции и повышает уровень экологической безопасности. В дальнейшем планируется расширение объемов данных, использование гибридных алгоритмов и проведение промышленных испытаний для дальнейшего совершенствования данного подхода [2].

Применение искусственного интеллекта в данной области позволяет:

- автоматизировать процесс оценки качества топлива;
- минимизировать человеческий фактор;
- ускорить проведение анализа;
- повысить точность прогнозов и надёжность контроля.

Результаты исследования показывают, что использование ИИ-методов может значительно снизить затраты на лабораторные испытания и повысить эффективность системы мониторинга качества топлива. Это, в свою очередь, способствует не только экономическим преимуществам, но и повышению экологической безопасности за счёт предотвращения использования некачественного топлива.

### **Библиографический список**

1. Щербакова А.А., Соловьев В.А., Артамонов Д.В. Искусственная нейронная сеть для идентификации компонентов и определения состава топлива на основе спектральных коэффициентов поглощения // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2015. – № 3. – С. 36–45.
2. Щербакова А.А., Соловьев В.А. Принцип работы искусственных нейронных сетей в промышленной системе для идентификации компонентов бензина, определения его состава и детонационной стойкости // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2015. – № 3. – С. 46–55.

УДК 531.8

## ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕМАТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПЛОСКОГО МЕХАНИЗМА ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ДВИЖЕНИЯ

**I.A. Захарченко**

студент, zaharch.igor@yandex.ru

филиал РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина в г. Оренбурге,

**Ю.Л. Власов**

к.т.н., доцент, ulvlasov@mail.ru

филиал РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина в г. Оренбурге, Россия

**Аннотация:** В статье рассмотрен плоский механизм, предназначенный для преобразования движения и изменения кинематических параметров. Проведен кинематический анализ. Представлены зависимости между скоростями и ускорениями точек плоского механизма.

**Ключевые слова:** механизм, кривошип, кинематика, рычажный механизм.

## STUDY OF KINEMATIC PARAMETERS OF A FLAT MOTION TRANSFORMATION MECHANISM

**I.A. Zakharchenko**

student, zaharch.igor@yandex.ru

Orenburg Branch for Gubkin Russian State University of Oil and Gas (RSU), Orenburg

**Y.L. Vlasov**

Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor

Orenburg Branch for Gubkin Russian State University of Oil and Gas (RSU), Orenburg

**Abstract:** The article discusses a flat mechanism designed to transform motion and change kinematic parameters. A kinematic analysis was performed. The dependences between the velocities and accelerations of the points of the plane mechanism are presented.

**Keywords:** mechanism, rank, rocker arm, kinematics, plane movement.

Ведущее звено  $OA$  вращается вокруг точки  $O$  по закону  $\varphi = f(t)$  рад, а поршень  $C$  имеет ускорение  $a_c$  (рисунок 1). Определить скорость и ускорение точки  $B$ , считая, что изображенное на рисунке положение механизма соответствует моменту  $t_1$ . Рассмотрим случай, когда  $OA=AB$ .

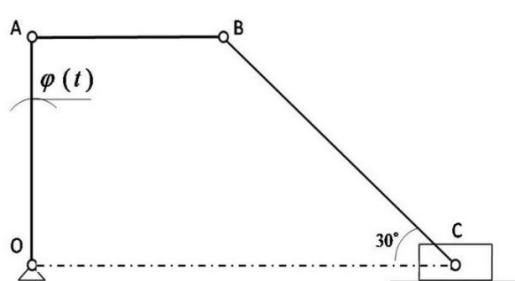


Рисунок 1 – Исходная схема механизма

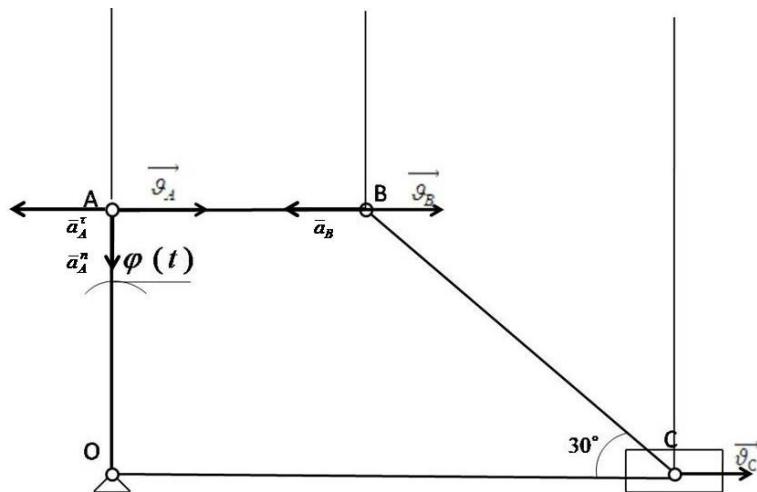


Рисунок 2 – Определение скоростей точек

Угловая скорость звена  $OA$

$$\omega_{OA} = \frac{d\varphi}{dt}$$

Мгновенные центры скоростей  $P_{AB}$  и  $P_{BC}$  уходят в бесконечность. Следовательно

$$\omega_{AB} = 0$$

$$\omega_{BC} = 0$$

$$V_A = V_B = \omega_{OA} \cdot OA$$

Для определения ускорения применим теорему о сложении ускорений при плоском движении тела

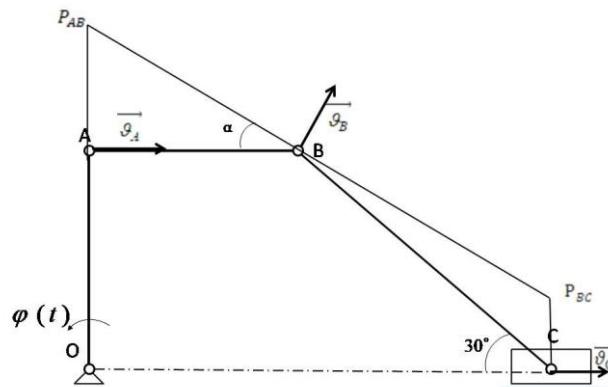
$$\overline{a_B} = \overline{a_A^n} + \overline{a_A^\tau} + \overline{a_{BA}^u} + \overline{a_{BA}^{sp}}$$

$$a_{BA}^u = \omega_{AB}^2 * BA = 0$$

$$a_{BA}^{sp} = \varepsilon_{AB} * BA$$

$$a_A^n = \omega_{OA}^2 * OA$$

$$a_A^\tau = \varepsilon_{OA} * OA = 0$$



Шатун  $AB$  совершает плоскопараллельное движение и точка  $P$  – мгновенный центр скоростей звена  $AB$  (рисунок 2).

$$AP_{AB} = AB \cdot \operatorname{tg} \alpha$$

$$BP_{AB} = \frac{AB}{\cos \alpha}$$

$$\omega_{AB} = \frac{V_A}{AP_{AB}} = \frac{V_B}{BP_{AB}}$$

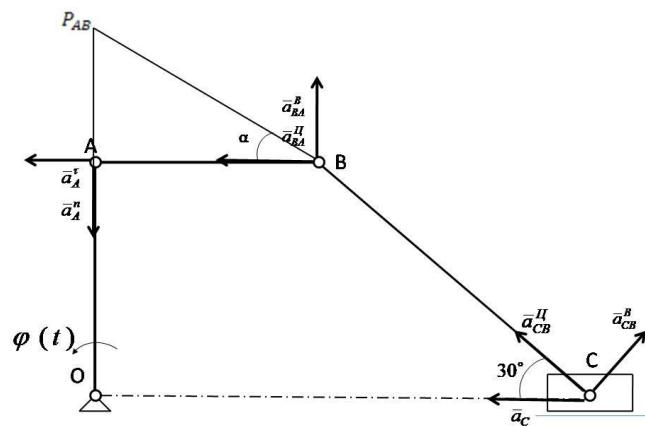
$$\frac{V_A}{AB \cdot \operatorname{tg} \alpha} = \frac{V_B \cdot \cos \alpha}{AB}$$

$$V_B = \frac{V_A}{\cos \alpha \cdot \operatorname{tg} \alpha} = \frac{\omega_{OA} \cdot OA}{\sin \alpha}$$

$$\omega_{AB} = \frac{\omega_{OA} \cdot OA \cdot \cos \alpha}{\sin \alpha \cdot AB}$$

Длины отрезков находятся с помощью геометрических построений и вычислений.

Для определения ускорения применим теорему о сложении ускорений при плоском движении тела (рисунок 3)



$$\overline{a_B} = \overline{a_A} + \overline{a_{BA}^u} + \overline{a_{BA}^{ep}}$$

Ускорение точки А определим как ускорение точки, совершающей вращательное движение

$$a_{BA}^u = \omega_{AB}^2 \cdot BA = \left( \frac{\omega_{OA} \cdot OA \cdot \cos\alpha}{\sin\alpha \cdot AB} \right)^2 \cdot AB,$$

$$a_{BA}^{ep} = \varepsilon_{AB} \cdot BA,$$

$$\varepsilon_{AB} = \dot{\omega}_{AB},$$

$$a_{Bx}(t_1) = -a_{BA}^u(t_1) - a_A^\tau(t_1),$$

$$a_{By}(t_1) = a_{BA}^{ep}(t_1) - a_A^\tau(t_1),$$

$$a_B(t) = \sqrt{a_{Bx}(t_1)^2 + a_{By}(t_1)^2}.$$

Зная кинематические параметры, в дальнейшем можно обеспечить требуемые характеристики. Например, создать механизм, у которого ползун движется практически с постоянной скоростью на рабочем участке (как в механизме прессов или станков). Оптимизировать форму и размеры звеньев: Чтобы получить нужную траекторию движения рабочего органа (например, ковша экскаватора или захвата робота) или минимизировать габариты всего устройства. Снизить вибрации и шум: Резкие изменения ускорений (так называемые «рывки») являются источником вибраций. Анализируя графики ускорений, можно модифицировать механизм для более плавной работы.

### Библиографический список

1. Кухарь В.Д. Теоретическая механика / В.Д. Кухарь. – М.: – АСВ, – 2016. – 148 с.
2. Тимофеев Г.А. Теория механизмов и машин: учебник и практикум для вузов / Г.А. Тимофеев. – 4-е изд., перераб. и доп. – Москва: Издательство Юрайт, 2023. – 432 с.
3. Динамика механизмов: учеб. пособие по курсу «Теория механизмов и машин» / Головин А.А., Костиков Ю.В., Красовский А.Б. [и др.]; ред. Головин А.А. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. – 159 с.

УДК 628.33

## РАЗРАБОТКА АДСОРБЦИОННОГО ФИЛЬТРА ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ОТ НЕФТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОТХОДОВ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

**A.N. Идеярова**

студент, ainaraa\_2901@mail.ru

Научный руководитель: **N.E. Айкенова**, к.т.н, Ph.D., старший преподаватель  
nuriya.rk@gmail.com

Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Астана

**Аннотация:** В статье рассмотрены современные подходы к очистке сточных вод от нефтяных загрязнителей с применением адсорбентов, получаемых из промышленных отходов. Проведен сравнительный анализ эффективности различных адсорбентов, включая активированные угли, силикатные материалы и карбонатный шлам. Особое внимание уделено экологической и экономической целесообразности повторного использования отходов для целей водоочистки. Исследование носит аналитический характер и направлено на обобщение существующих технологий адсорбции, применяемых при удалении нефтепродуктов из сточных вод. Показано, что внедрение адсорбционных систем способствует снижению нагрузки на окружающую среду, повышает устойчивость промышленных процессов и обеспечивает переход к принципам «зеленой химии». Результаты могут быть полезны при выборе эффективных фильтрующих материалов и оптимизации систем очистки сточных вод на промышленных предприятиях.

**Ключевые слова:** адсорбция, сточные воды, нефтепродукты, адсорбционный фильтр, промышленные отходы, экология.

## DEVELOPMENT OF AN ADSORPTION FILTER FOR WASTEWATER TREATMENT FROM OIL USING INDUSTRIAL WASTE

**A.N. Ideyatova**

student, ainaraa\_2901@mail.ru

Scientific adviser: **N.E. Aikenova**

Candidate of Technical Sciences, senior lecturer, aikenova\_nye@enu.kz  
L.N. Gumilyov Eurasian University, Astana

**Abstract:** This article examines modern approaches to treating wastewater for oil contaminants using adsorbents derived from industrial waste. A comparative analysis of the effectiveness of various adsorbents, including activated carbon, silicate materials, and carbonate sludge, is conducted. Particular attention is paid to the environmental and economic feasibility of waste reuse for water treatment. This analytical study aims to summarize existing adsorption technologies used to remove oil products from wastewater. It is demonstrated that the implementation of adsorption systems reduces environmental impacts, increases the sustainability of industrial processes, and facilitates the transition to "green chemistry" principles. The results may be useful for selecting effective filter materials and optimizing wastewater treatment systems at industrial facilities.

**Keywords:** adsorption, wastewater, petroleum products, adsorption filter, industrial waste, ecology.

Загрязнение сточных вод нефтью и нефтепродуктами является одной из наиболее острых экологических проблем современности. Нефесодержащие вещества образуют стойкие эмульсии, ухудшают качество воды и оказывают токсическое воздействие на водные организмы. Среди существующих методов очистки сточных вод (мембранных, биологических и химических) адсорбция считается наиболее перспективным, отличаясь простотой, универсальностью и возможностью использования недорогих материалов [1–3].

Современные исследования показывают высокую эффективность различных адсорбентов для удаления нефтепродуктов из сточных вод:

- Карбонатный шлам (отходы содового производства) – характеризуется развитой пористой структурой и высокой сорбционной емкостью по отношению к нефтепродуктам.
- Летучая зола и шлак тепловых электростанций – содержат оксиды металлов и силикатные структуры, способствующие удержанию нефтепродуктов.
- Активированные угли – обладают высокой удельной поверхностью, однако их стоимость ограничивает их широкое применение.
- Природные сорбенты для нефти (торф, цеолиты, модифицированные глины) [4–6].

**Таблица 1 – Типы адсорбентов [4–7]**

Тип адсорбента	Источник / сырьевой материал	Удельная поверхность, м <sup>2</sup> /г	Скорость удаления нефтепродуктов, %	Возможности использования
Карбонатный шлам	Отходы производства содовой	50–120	85–92	Недорогой, экологичный
Летучая зола и шлак с тепловых электростанций	Энергетические отходы	30–80	70–85	Содержит оксиды металлов
Активированный уголь	Кокс, органические отходы	500–1200	90–98	Высокоэффективный, высокоценный
Цеолиты, Модифицированные глины	Природные минералы	200–400	75–88	Требуется модификация
Нефтяные сорбенты (торф)	Натуральное сырье	20–60	60–75	Ограниченнная сорбция

Таким образом, использование промышленных отходов в качестве адсорбентов позволяет значительно снизить затраты на очистку сточных вод.

Механизм адсорбции нефтепродуктов включает физико-химическое взаимодействие молекул углеводородов с поверхностью сорбента. Основными процессами являются:

- Гидрофобное взаимодействие углеводородов с органофильтральными поверхностями;
- капиллярная конденсация в порах сорбента;
- ионный обмен и связывание полярных компонентов нефти с активными центрами сорбента.

Эффективность адсорбции зависит от размера частиц, удельной поверхности, распределения пор по размерам и химической модификации поверхности сорбента [8].

Современные адсорбционные технологии включают:

- Колоночные фильтры – обеспечивают послойное пропускание воды через сорбент.
- Слоистые каскадные системы – повышают эффективность за счет последовательной адсорбции на различных сорбентах.
- Гибридные системы (адсорбция + коагуляция или адсорбция + мембранный фильтрация).

Для расчета производительности адсорбционных фильтров использовались уравнения материального баланса и кинетические модели Ленгмюра и Фрейндлиха. При использовании карбонатного шлама и летучей золы достигается степень очистки более 90% при расходе воды 1–2 м<sup>3</sup>/ч и высоте фильтрующей загрузки 50–70 см [9–10].

Адсорбционные методы очистки сточных вод от нефтепродуктов зарекомендовали себя как одни из самых универсальных и экологичных. Использование сорбентов, полученных из промышленных отходов, открывает возможности для снижения затрат и вторичной переработки побочных продуктов производства. Эти технологии способствуют переходу к принципам «зелёной химии» и замкнутому циклу водопользования, что делает их актуальными для современной промышленности.

### **Библиографический список**

1. Adsorption treatment of industrial wastewater from pollutants with carbonate sludge // ResearchGate. 2024. – URL: <https://www.researchgate.net/publication/382352551>.
2. Sustainable wastewater treatment technologies for oil-contaminated effluents // ScienceDirect. 2024. – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666916124000367>.
3. Development of Novel Adsorbent for Industrial Waste Water Treatment // ResearchGate. 2020. – URL: <https://www.researchgate.net/publication/339596553>.
4. Industrial wastewater treatment by adsorption processes // Springer. 2024. – URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11270-024-07073-w>.
5. Utilization of waste-derived adsorbents in oil-polluted water treatment // Lidsen. – URL: <https://www.lidsen.com/journals/aeer/aeer-04-01-016>.
6. Adsorption of petroleum products from wastewater using industrial waste adsorbents // IOP Science. – URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/1098/1/012043/pdf>.
7. Novel sorbents for water purification // MDPI. 2024. – URL: <https://www.mdpi.com/2571-8797/6/1/13>.
8. Механизм адсорбционной очистки сточных вод от эмульгированных нефтепродуктов // КиберЛенинка. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/mehanizm-adsorbsionnoy-ochistki-stochnyh-vod-ot-emulgrovannyh-nefteproduktov>.

9. Особенности очистки воды от нефтепродуктов с использованием нефтяных сорбентов, фильтрующих материалов и активных углей // Киберленинка. – URL:<https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-ochistki-vody-ot-nefteproduktov-s-ispolzovaniem-neftyanyh-sorbentov-filtruyuschih-materialov-i-aktivnyh-ugley>.

10. Очистка сточных вод от нефти сорбционными методами // Сибирское отделение РАН. – URL: <https://www.sibran.ru/upload/iblock/54d/54d575a0beef66612886c110acf7d-13b.pdf>.

УДК 665.61

## АНАЛИЗ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА НЕФТИ С ПОМОЩЬЮ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

*A.E. Кенесбай*

студент, aiidanakn@gmail.com

Научный руководитель: *Н.Е. Айкенова*

Ph.D. по техническим наукам, старший преподаватель,

aikenova\_nye@enu.kz

Евразийский университет имени Л.Н. Гумилева. Астана.

**Аннотация:** В работе исследуется потенциал методов искусственного интеллекта, включая машинное обучение и искусственные нейронные сети, для комплексного и оперативного анализа химического состава сырой нефти. В отличие от традиционных лабораторных методов, требующих значительных временных и финансовых ресурсов, ИИ предлагает более эффективную альтернативу.

**Ключевые слова:** нефть, химический состав, искусственный интеллект, машинное обучение, нейронные сети, спектрометрия, прогнозирование свойств, оптимизация, экологическая безопасность, устойчивое развитие.

## ANALYSIS OF THE CHEMICAL COMPOSITION OF OIL USINGARTIFICIAL INTELLIGENCE

*A.E. Kenesbay*

student, aiidanakn@gmail.com

Scientific adviser: *N.E. Aikenova*

Candidate of Technical Sciences, senior lecturer, aikenova\_nye@enu.kz

L.N. Gumilyov Eurasian University, Astana

**Аннотация:** The paper explores the potential of artificial intelligence methods, including machine learning and artificial neural networks, for the comprehensive and rapid analysis of the chemical composition of crude oil. Unlike traditional laboratory methods, which require significant time and financial resources, AI offers a more effective alternative.

**Ключевые слова:** oil, chemical composition, artificial intelligence, machine learning, neural networks, spectrometry, property prediction, optimization, environmental safety, sustainable development.

Искусственный интеллект- всё активнее внедряется в нефтегазовую отрасль с целью повышения эффективности процессов разведки, добычи и управления производственными операциями. В зависимости от этапа и направления подготовки нефтегазопродуктов можно выделить несколько ключевых сфер применения алгоритмов ИИ [1].

Нефть – это природная жидкость со специфическим запахом, представляющая собой сложную смесь углеводородов различной молекулярной массы и других химических соединений. В её составе присутствуют газообразные, жидкие и твёрдые вещества, содержащие более

100 атомов углерода, кислорода и других элементов. Кроме того, нефть включает гетероатомные соединения серы и различные металлы. Этот минеральный продукт осадочного происхождения имеет маслянистую консистенцию, коричневый цвет, легко воспламеняется, а также может быть чёрным, зеленовато-жёлтым или даже бесцветными [2].

Процесс добычи нефти, добычи газа в целом является сложным процессом. Технология добычи нефти означает извлечение смеси углеводородов из нефти, попутного газа, минерализованной воды и механических примесей посредством нефтяных скважин [2].

Алгоритмы ИИ используются для улучшения управления резервуарами(коллекторами) и максимизации извлечения нефти и газа. Например, алгоритмы машинного обучения используются для анализа данных о бурении и добыче, что позволяет компаниям оптимизировать добычу, снижать затраты и принимать более обоснованные решения об управлении залежами. Система ИИ также помогают максимизировать добычу нефти и газа при минимизации воздействия на окружающую среду [2, 5].

Оценка качества и детальный анализ химического состава нефти является краеугольным камнем в современной нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности. Качество исходного сырья напрямую определяет стабильность технологических процессов, минимизирует эксплуатационные расходы и оказывает существенное влияние на экологическую нагрузку от конечной продукции [3].

Нефть представляет собой сложную смесь, включающую тысячи углеводородных и гетероатомных соединений. Полноценный анализ такого многокомпонентного состава требует применения надежных и высокоскоростных аналитических методов. Традиционно контроль качества и состава базируется на лабораторных методах – фракционной перегонке, а также различных видах спектрального и хроматографического анализа [3].

Однако существующие подходы сопряжены с рядом фундаментальных ограничений. Во-первых, они требуют значительных временных и финансовых затрат, привлечения дорогостоящего оборудования и высококвалифицированного персонала. Во-вторых, что наиболее критично в условиях масштабного производства, эти методы не всегда способны обеспечить получение результатов в режиме реального времени, что существенно замедляет принятие решений и ограничивает возможности оперативной корректировки технологического процесса [3].

Системы, основанные на ИИ, способны быстро обрабатывать колоссальные массивы данных, поступающих, например, от промышленных спектрометрических датчиков. Они эффективно анализируют сложную композицию углеводородов и выявляют скрытые, нелинейные корреляции между спектральными характеристиками и ключевыми свойствами сырья – такими как плотность, вязкость, содержание серы или потенциальный выход светлых фракций [4, 5].

Таким образом, целью данной работы является исследование возможностей ИИ для разработки высокоточного прогностического инструмента, позволяющего оперативно анализировать химический состав нефти. Внедрение подобного подхода в производственный цикл обещает значительное ускорение контроля качества, оптимизацию процессов переработки и повышение общей экономической и экологической эффективности предприятия [4, 5].

ИИ позволяет автоматизировать работу с большими массивами спектральных и хроматографических данных. Наиболее часто применяются следующие подходы: машинное обучение – построение моделей для предсказания состава нефти на основе обучающих выборок;

нейронные сети – распознавание сложных закономерностей в спектральных данных; big-data технологии – хранение и обработка больших наборов экспериментальных данных [4]. Примером является использование ИИ для интерпретации ИК-спектров, что позволяет за считанные секунды определить содержание ароматических, парафиновых и нафтеновых углеводородов. Кроме того, алгоритмы могут предсказывать фракционный состав и выход целевых продуктов при переработке [2, 4, 5].

### **Библиографический список**

1. Смирнов В.В. Искусственный интеллект в нефтегазовой отрасли: возможности и вызовы // Автоматизация в промышленности. – 2021. – № 6. – С. 23–27.
2. Li H., Yu H., Cao N., Tian H., Cheng S. Applications of Artificial Intelligence in Oil and Gas Development // Archives of Computational Methods in Engineering. 2020, vol. 28, pp. 937-949, doi.org/10.1007/s11831-020-09402-8.
3. Speight J.G. The Chemistry and Technology of Petroleum. 5th ed. CRC Press, 2014.
4. Ghorbani H. & Wood D.A. (2018). Prediction of crude oil properties using near-infrared spectroscopy and hybrid artificial neural networks. Fuel, 222, 268–278.
5. Sircar A., Yadav K., Rayavarapu K., Bist N., Oza H. Application of machine learning and artificial intelligence in oil and gas industry // Petroleum Research. 2021, vol. 6, no 4, pp. 379–391, doi.org/10.1016/j.ptlrs.2021.05.009.

УДК 622.24

## ОСНОВЫ ТЕЛЕМЕТРИИ В БУРЕНИИ НЕФТЯНЫХ И ГАЗОВЫХ СКВАЖИН: КАК ОНА РАБОТАЕТ И ЗАЧЕМ НУЖНА

*A.A. Kovальчук*

студент, lesa.kovalchuk.56@mail.ru

*Э.Г. Халитова*, старший преподаватель, e.khalitova@burgaz.ru

Филиал РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина в г. Оренбурге, Оренбург

**Аннотация:** Статья рассматривает основы телеметрии в бурении нефтяных и газовых скважин, её работу и роль в повышении безопасности, эффективности и снижении затрат. Описывается использование датчиков и систем передачи данных для мониторинга в реальном времени, прогнозирования поломок и оптимизации буровых операций. Приводятся перспективы развития телеметрии с применением искусственного интеллекта и анализа больших данных.

**Ключевые слова:** Телеметрия, бурение нефтяных скважин, бурение газовых скважин, датчики, мониторинг в реальном времени, буровое оборудование, передача данных, безопасность бурения, управление бурением, оптимизация буровых операций, прогнозирование поломок.

## THE BASICS OF TELEMETRY IN OIL AND GAS WELL DRILLING: HOW IT WORKS AND WHY IT IS NEEDED

*A.A. Kovalchuk*

student, lesa.kovalchuk.56@mail.ru

*E.G. Khalitova*, senior lecturer, e.khalitova@burgaz.ru

Orenburg Branch for Gubkin Russian State University of Oil and Gas (RSU), Orenburg

**Abstract:** The article discusses the basics of telemetry in oil and gas well drilling, its operation, and its role in enhancing safety, efficiency, and cost reduction. It describes the use of sensors and data transmission systems for real-time monitoring, failure prediction, and optimization of drilling operations. The article also highlights the prospects of telemetry development with the application of artificial intelligence and big data analysis.

**Keywords:** telemetry, oil well drilling, gas well drilling, sensors, real-time monitoring, drilling equipment, data transmission, drilling safety, drilling management, drilling operation optimization, failure prediction.

Телеметрия в бурении нефтяных и газовых скважин – это система для удаленного мониторинга и передачи данных, которая играет ключевую роль в оптимизации процесса бурения. Эта технология позволяет в реальном времени собирать, передавать и анализировать информацию о состоянии оборудования, параметрах скважины и окружающей среды, что в свою очередь помогает повысить эффективность, безопасность и снижение затрат.

Телеметрия – это процесс автоматической передачи данных с удаленных объектов на центральные вычислительные системы для анализа и принятия решений. В контексте бурения

нефтяных и газовых скважин телеметрия включает в себя системы, которые собирают и передают информацию с бурового оборудования, датчиков, установленных в скважине, а также данные о состоянии различных параметров, таких как давление, температура, вибрации и другие ключевые индикаторы.

Как работает телеметрия в бурении?

Процесс работы телеметрии на буровых установках включает несколько этапов:

Сбор данных с датчиков. На каждом этапе бурения используются различные датчики, устанавливаемые в скважине или на буровой установке. Это могут быть датчики давления, температуры, уровня жидкости, вибрации и другие. Эти устройства непрерывно измеряют ключевые параметры и формируют данные, которые важны для бурения.

Передача данных. Данные, собранные датчиками, передаются через различные каналы связи на поверхность или в удаленные центры управления. Передача может происходить с использованием проводных или беспроводных технологий, таких как радиосигналы, оптоволоконные каналы или спутниковая связь. Важным элементом здесь является обеспечение бесперебойного и надежного канала связи, так как данные часто передаются на больших глубинах или в экстремальных условиях.

Обработка и анализ данных.

Полученные данные могут быть отправлены в облачные системы или на специализированные серверы для обработки и анализа. Используя системы мониторинга и анализа данных, специалисты получают подробные отчеты о текущем состоянии бурения, возможных рисках и отклонениях от запланированных показателей.

Принятие решений.

На основе полученных данных специалисты могут оперативно принимать решения, направленные на улучшение работы буровой установки. Например, если данные о давлении показывают аномалию, инженеры могут скорректировать параметры бурения или приостановить процесс до устранения проблемы, чтобы избежать аварий или повреждения оборудования.

Зачем нужна телеметрия?

Телеметрия в бурении нефтяных и газовых скважин имеет несколько ключевых преимуществ, которые делают её неотъемлемой частью современного бурового процесса.

Повышение безопасности.

Одной из самых важных функций телеметрии является повышение безопасности. Системы телеметрии позволяют в режиме реального времени отслеживать критические параметры, такие как давление, температура и уровень газа. В случае возникновения аварийных ситуаций, таких как перегрузка оборудования или утечка газа, телеметрия позволяет своевременно обнаружить проблему и принять меры для предотвращения катастрофы.

Увеличение эффективности.

Телеметрия позволяет получать полную картину работы бурового оборудования, что дает возможность оперативно вносить корректировки в параметры бурения. В результате можно значительно повысить скорость бурения и снизить потребность в простоях, что приводит к сокращению затрат. Также, благодаря детальному мониторингу состояния оборудования, можно избежать дорогостоящих поломок и простоев, что особенно важно в долгосрочной перспективе.

Предсказание и предотвращение неисправностей.

С помощью телеметрии можно внедрить систему предсказательной аналитики, которая будет анализировать полученные данные и прогнозировать возможные поломки или

неисправности оборудования. Например, если датчики фиксируют необычные вибрации или колебания в работе двигателей, система может предупредить операторов о потенциальных проблемах и предложить меры по их устранению. Это позволяет предотвратить внезапные поломки, которые могут привести к длительным простоям.

#### Оптимизация затрат.

Телеметрия помогает точно отслеживать расход топлива, бурового раствора и других материалов, используемых в процессе бурения. Это позволяет более точно планировать затраты и управлять запасами, а также оперативно реагировать на отклонения от нормальных показателей. Кроме того, возможность мониторинга в реальном времени помогает сэкономить на логистике и снабжении, улучшая общее управление проектом.

#### Снижение воздействия на окружающую среду.

Современные системы телеметрии могут быть интегрированы с системами мониторинга экологических параметров. Это позволяет контролировать выбросы, уровень загрязнения и другие экологически важные показатели. В случае отклонений от норм, например, при выбросе газа или нефти, системы могут автоматически предупредить специалистов, чтобы они могли принять меры для минимизации воздействия на окружающую среду.

#### Перспективы развития телеметрии в бурении

С развитием технологий телеметрия в бурении будет продолжать совершенствоваться. Одним из направлений является интеграция с искусственным интеллектом и машинным обучением, которые позволяют не только собирать и передавать данные, но и анализировать их для прогнозирования и оптимизации работы буровых установок. Также ожидается расширение применения технологий больших данных (Big Data), которые помогут обрабатывать огромные объемы информации для принятия более точных и обоснованных решений.

Таким образом, телеметрия является неотъемлемой частью современного бурения нефтяных и газовых скважин. Она обеспечивает безопасность, эффективность и снижение затрат на всех этапах бурения. Системы телеметрии позволяют повысить надежность и предсказуемость процесса бурения, а также снизить риски для людей и окружающей среды. Современные технологии продолжают развиваться, что открывает новые возможности для повышения эффективности буровых операций в будущем.

### Библиографический список

1. Лукичев В.Н., Иванова И.А. (2018). Технология и оборудование для бурения нефтяных и газовых скважин. М.: Недра.
2. Гончаров А.В. (2016). Инновационные технологии бурения: от телеметрии до автоматизации. М.: Научный мир.
3. Широков П.Л. & Новиков С.Н. (2017). Системы телеметрии для нефтегазового бурения: принципы, решения и практическое применение. СПб: Политехнический университет.
4. Akin A.E. & Stone P.L. (2019). Advanced Telemetry Systems for Drilling Operations. Journal of Petroleum Technology, 71(2), 85–92.
5. Zaitsev I.P. & Morozov V.N. (2020). Решения для дистанционного мониторинга и управления буровыми процессами. Москва: Газпром.

УДК 622.24

## АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ КАРОТАЖА LOGGING WHILE DRILLING

**Э.И. Кужина**

студент, elmirakuzina64@gmail.com

**Э.Г. Халитова**, старший преподаватель, e.khalitova@burgaz.ru

Филиал РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина в г. Оренбурге, Оренбург

**Аннотация:** Обосновать эффективность использования технологии каротажа в процессе бурения по технологии Logging While Drilling (LWD) как для разведки новых, так и для оптимальной разработки уже эксплуатируемых месторождений.

Проведенный анализ экономической эффективности строительства горизонтальной скважины № 1 Уньвинского месторождения показал, что любая нефтедобывающая компания может широко использовать приборы каротажа в процессе бурения без удороожания стоимости строительства скважины. При этом сопутствующий прирост добычи нефти обеспечивается сокращением сроков бурения с последующим ускорением ввода скважин в эксплуатацию.

**Ключевые слова:** LWD, каротаж, горизонтальное бурение, продуктивность пласта.

## ANALYSIS OF THE EFFICIENCY OF APPLICATION OF LOGGING WHILE DRILLING

**E.I. Kuzhina**

student, elmirakuzina64@gmail.com

**E.G. Khalitova**, senior lecturer, e.khalitova@burgaz.ru

Orenburg Branch for Gubkin Russian State University of Oil and Gas (RSU), Orenburg

**Abstract:** To substantiate the effectiveness of using logging technology in the drilling process using Logging While Drilling (LWD) technology both for the exploration of new fields and for the optimal development of already exploited fields. The analysis of the economic efficiency of the construction of horizontal well No. 1 of the Unvinsky field has shown that any oil producing company can widely use logging devices during drilling without increasing the cost of well construction. At the same time, the concomitant increase in oil production is provided by a reduction in drilling time, followed by an acceleration of well commissioning.

**Keywords:** LWD, logging, horizontal drilling, reservoir productivity.

В настоящее время бурение играет важную роль в добыче нефти и газа, а также в геологическом исследовании недр. С увеличением сложности геологических условий и углублением скважин, возникают новые вызовы и проблемы в бурении. В частности, возникает необходимость более точного определения геологических характеристик породы, корректировки технологии бурения в условиях высокого давления и температуры, а также минимизация негативного воздействия на окружающую среду.

Для решения указанных проблем инженеры и ученые занимаются поиском и разработкой новых методов и технологии исследования открытого ствола скважины, а также совершенствованием существующего нефтегазового оборудования. Подобные усилия направлены на повышение безопасности и эффективности бурения, а также на более глубокое изучение геологических процессов и условий в недрах Земли.

Исследования ствола скважин в горизонтальном бурении проводятся для оценки геологических и физико-химических параметров продуктивных пластов, а также для определения производительности скважин.

Одним из способов является использование технологии каротажа в процессе бурения Logging While Drilling (LWD) как для разведки новых, так и для оптимальной разработки уже эксплуатируемых месторождений. В особенности это касается наклонных и скважин с горизонтальным окончанием.

Сравнение экономических показателей демонстрирует, что использование традиционного каротажа на кабеле предпочтительно для скважин с отклонением до 45 градусов, в то время как для скважин с уклоном 50 градусов и больше, сбор данных на базе LWD является более подходящим.

Технология Logging While Drilling – это метод бурения, который позволяет собирать данные о геологической структуре и свойствах скважины в режиме реального времени. Использование данного каротажа на этапе разведочного бурения скважин позволяет принимать решения в процессе работы, поскольку данные обновляются в режиме реального времени, а участники проекта и рабочая группа проекта имеют возможность изменять параметры программы бурения.

Например, выбирать объекты бурения на основе обновляемых геологических моделей и информации о давлении, которая может указывать на возможные риски, проводить незапланированные испытания давлением для опробования потенциальных пластов.

К преимуществам также стоит отнести отсутствие значительного разрыва во времени между первоначальными измерениями и воздействием скважины на пласт, таким, например, как проникновение в него фильтрата. Кроме того, можно производить повторный каротаж через определенные промежутки времени и повторно оценивать интерпретируемые данные в процессе бурения, что обеспечивает точность проводки в продуктивном пласте без необходимости подъема бурильной колонны. Данные LWD позволяют получать более точную информацию о фильтрационно-емкостных свойствах пласта перед окончательным спуском для заканчивания скважины, что гарантирует максимально экономическую эксплуатацию.

Геофизические исследования в открытом стволе, занимающие до 48 часов в цикле бурения скважины, можно оптимизировать благодаря правильной организации геофизических работ в общем цикле бурения скважины: в зависимости от типа ГИС (на кабеле или на трубах) можно комбинировать операции по шаблонировке ствола скважины, чтобы избежать лишних спускоподъемных операций. Но максимальный эффект достигается при замене стандартных комплексов ГИС высокотехнологичными приборами каротажа в процессе бурения (LWD) (табл.1).

**Таблица 1 – Эффективность применения каротажа**

<b>Текущая практика – ГИС на трубах</b>	<b>Новое решение – бурение с LWD</b>
Бурение без LWD – 120 ч	Бурение без LWD – 72ч
Подъём КНБК (20 ч)	Смена КНБК – (32 ч)
ГИС на трубах (36 ч)	Бурение с LWD под пластом (48 ч)
Установка мостов, ликвидация пилота	Установка мостов, ликвидация пилота
8,5 суток на пилотный ствол	7,5 суток на пилотный ствол
Экономический эффект от внедрения: Ээф = Т × Ц = 1,75 × 750000 = 1312500 руб., где Т – время опережения плана бурения интервала под эксплуатационную колонну, сут.; Ц – суточная ставка приборов LWD, руб.	

По результатам проведенного анализа применения каротажа LWD на скважине № 1 Уньвинского месторождения мы видим, что благодаря бурению с Logging While Drilling общее время строительства горизонтальных скважин удалось сократить на 24 часа – с 8,5 до 7,5 суток.

Тем самым, точные данные каротажа в процессе бурения дают возможность принимать обоснованные решения на этапе строительства скважины. Увеличивая скорость получения информации из скважины, мы обеспечиваем оперативную оценку пласта, что позволяет сократить время бурения и принять более обоснованные решения.

Также использование в компоновке LWD-комплекса нейтронного и лито-плотностного каротажа позволяет более корректно оценивать литологию, пористость и характер насыщения пласта, в сравнении с традиционным использованием в российской практике одного нейтронного каротажа.

Обобщая вышесказанное, стоит отметить, что каротаж в процессе бурения (LWD) позволяет точно оценить параметры пласта, возможности расстановки скважин и геомеханические свойства скважины в реальном времени. Если поставленная цель – определить точно рассчитанное расположение скважин для максимизации контакта с продуктивным пластом и минимизации таких проблем, как стабильность и качество ствола, то лучшее решение – технология Logging While Drilling. Высокое разрешение и точность измерений в реальном времени обеспечивают высокий уровень уверенности для планирования и выполнения комплексных проектов.

### **Библиографический список**

1. Нестеров С.В., Кожаев Д.П. Применение LWD с экономическим эффектом // Молодой ученый. – 2018. – № 23 (209). – С. 221–224. – URL: <https://moluch.ru/archive/209/51265/>.
2. Павлов Е., Мазитов М., Моор Н.А. Каротаж во время бурения: Применение LWD на примере пласта ЮВ<sub>1</sub> Урьевского месторождения. Нефтегазовая вертикаль – 2011, – № 2. – С. 74–77.
3. Кульчицкий В.В. Геонавигационные технологии проводки наклонно-направленных и горизонтальных скважин. – М.: ОАО «ВНИИОЭНГ», 2000. – 350 с.

УДК 661.18

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ НА ПЕНООБРАЗОВАНИЕ И НЕФТЕСОБИРАЮЩУЮ СПОСОБНОСТЬ

**T.A. Курякова**

к.т.н., доцент, t.a.kuryakova@gmai.com

Филиал РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина в г. Оренбурге, Оренбург

**E.A. Селина**

химик-технолог, lisaselina2003@bk.ru

ООО «А-СЕПТ», Оренбург

**I.A. Хананнов**

инженер II категории, hannanov\_ildus@mail.ru

ООО «Газпром добыча Оренбург», Газопромысловое управление

**Аннотация:** Актуальность исследования физико-химических свойств ПАВ обусловлена их широким применением в нефтегазовой сфере. ПАВ играют ключевую роль при увеличении нефтеотдачи пластов. Необходимо отметить, что амфи菲尔ные соединения активно используются для улучшения добычи нефти и газа. Высокая пенообразующая, нефтесобирающая способность растворов ПАВ очень важна и процессах добычи нефти и газа, в том числе при очистке сточных вод и ликвидации нефтяных разливов.

**Ключевые слова:** Поверхностно-активные вещества, кумолсульфонат натрия (SCS), лауретсульфат натрия (SLES), альфа-олефинсульфонат (AOS), нефтесобирающая способность, антакоррозионная активность, пены.

## INVESTIGATION OF THE EFFECT OF SURFACTANTS ON FOAMING AND OIL-COLLECTING ABILITY

**T.A. Kuryakova**

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, t.a.kuryakova@gmai.com

Orenburg Branch for Gubkin Russian State University of Oil and Gas (RSU), Orenburg

**E.A. Selina**

chemist-technologist, lisaselina2003@bk.ru

A-SEPT LLC, Orenburg

**I.A. Khanannov**

engineer of the II category, hannanov\_ildus@mail.ru

Gazprom Dobycha Orenburg LLC, Gas Field Management

**Abstract:** The relevance of the study of the physico-chemical properties of surfactants is due to their wide application in the oil and gas industry. Surfactants play a key role in increasing oil recovery. It should be noted that amphiphilic compounds are actively used to improve oil and gas production. The high foaming and oil-collecting ability of surfactant solutions is also very important in oil and gas production processes, including wastewater treatment and oil spill response.

**Keywords:** Surfactants, sodium cumene sulfate (SCS), sodium laureth sulfate (SLES), alpha-olefin sulfate (AOS), oil-collecting ability, anticorrosive activity, foams.

Актуальность исследования физико-химических свойств ПАВ обусловлена их широким применением в нефтегазовой сфере. ПАВ играют ключевую роль при увеличении нефтеотдачи пластов. Также они используются для устранения нефтяных плёнок на водных поверхностях, кроме того, соединения способны ингибировать коррозионные процессы, что важно для продления срока службы оборудования.

Необходимо отметить, что амфи菲尔ные соединения активно используются для улучшения добычи нефти и газа.

Высокая пенообразующая, нефтесобирающая способность растворов ПАВ очень важна и процессах добычи нефти и газа, в том числе при очистке сточных вод и ликвидации нефтяных разливов.

В связи с этим для исследования были выбраны наиболее доступные представители анионных поверхностно-активных веществ: кумолсульфонат натрия (SCS) – прозрачная вязкая жидкость, лауретсульфат натрия (SLES) – полупрозрачная гелеобразная масса, и альфа-олефинсульфонат (AOS) – белый мелкодисперсный порошок. Все образцы хорошо растворимы в воде, а также биоразлагаемы.

При концентрации 5% наибольшую пенообразующую способность показал  $\alpha$ -олефинсульфонат (134%, устойчивость через 30 секунд составила 94%), несколько меньше – лауретсульфат натрия (122%, устойчивость составила 78%), а кумолсульфонат проявил наименьшую пенообразующую способность (66%, устойчивость 81,8%).

Объясняется это тем, что неполярная часть кумолсульфоната натрия состоит из ароматического кольца и изопропильного радикала. Наличие разветвленного радикала ухудшает пенообразующие свойства молекулы кумолсульфонат натрия. В свою очередь, альфа-олефинсульфонат натрия имеет длинноцепочечный углеводородный радикал, что делает его более поверхностно-активным соединением. Это способствует образованию прочных адсорбционных слоёв. Молекула лауретсульфата натрия также имеет длинноцепочечную структуру, схожую по строению с альфа-олефинсульфонатом, вследствие чего, соединения обладают аналогичными свойствами. Однако наличие этокси-группы в составе лауретсульфата натрия ухудшает пенообразующие свойства молекулы и её способность к образованию устойчивой пены.

Дополнительно была исследована продолжительность существования отдельного пузырька образцов анионных поверхностно-активных веществ. С помощью этого критерия можно определить время, в течение которого система остаётся стабильной. Так, для кумолсульфоната натрия максимальное время жизни составило 62 секунды при 5%-ной концентрации, для лауретсульфата натрия продолжительность существования пузырька составила 82 секунды при  $2 \cdot 10^{-2}$ % концентрации. Для альфа-олефинсульфоната натрия максимальное время жизни составило 86 секунд при концентрации  $3 \cdot 10^{-2}$ %.

Для кумолсульфоната натрия характерна меньшая продолжительность существования пузырька, так как наличие разветвлённой цепи у ароматического кольца оказывается на формировании менее прочного защитного слоя. Поэтому увеличение концентрации кумолсульфоната натрия не влияет на стабильность пузырька. Вместо этого наблюдается сокращение времени его жизни.

Показатели времени жизни пузырька для SLES и AOS имеют примерно одинаковые значения, вследствие их схожего строения и свойств. В данном случае стабильность пузырька зависит от критической концентрации мицеллообразования (ККМ) АПАВ. Их ККМ составляют 0,2% и 0,02% масс. для лауретсульфата натрия и альфа-олефинсульфоната,

соответственно. Это говорит о том, что при достижении ККМ время жизни пузырька максимально. Так как в этот момент формируются защитные слои из молекул АПАВ на поверхности газовой фазы. Дальнейшее увеличение концентрации не приведёт к увеличению продолжительности жизни пузырька, что видно из графиков рисунка 1.

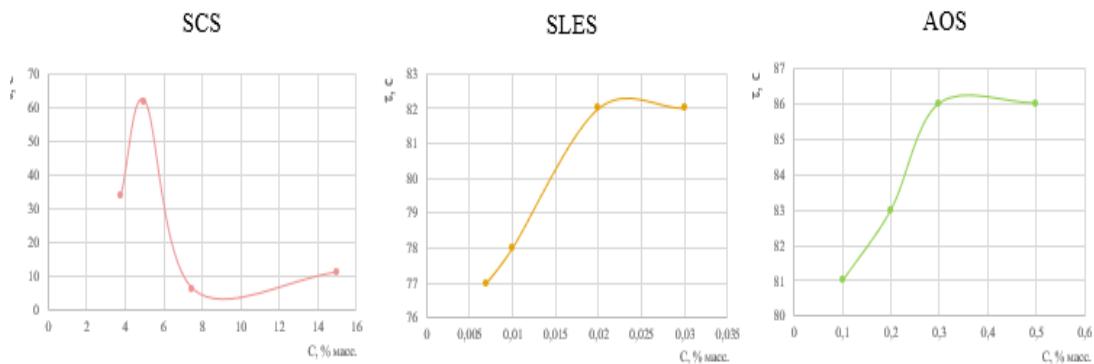


Рисунок 1 – Зависимость времени жизни пузырька от концентрации

Нефтесобирающая способность оценивалась по уменьшению площади нефтяной пленки на поверхности воды: начальная площадь составила примерно  $7,07 \text{ см}^2$  и снизился после добавления 5%-го раствора ПАВ до 4,3 см (для  $\alpha$ -олефина), до  $4,41 \text{ см}^2$  (в случае кумолсульфоната натрия) и до 6,3 см (лауретсульфат натрия).

Исходя из значений площадей, можно сделать вывод о наилучшей эффективности альфа-олефинсульфоната натрия. Данный представитель АПАВ уменьшил площадь плёнки в 1,64 раз. Лауретсульфат натрия показал наихудший результат, сократив площадь нефтяного пятна в 1,12 раз. Последний образец – изопропилбензолсульфонат натрия снизил площадь растекания в 1,6 раз.

AOS и SCS почти вдвое сократили плёнку. Это связано с их высоким давлением растекания, которое способствует вытеснению нефтяной плёнки с поверхности. При этом плотность углеводородного пятна увеличивается, а площадь сокращается. Наименее эффективным нефтесобирающим агентом оказался SLES, так как он обладает высокой гидрофильностью. Это затрудняет растекание лауретсульфата натрия по поверхности нефтяной плёнки, в результате чего площадь нефтяного пятна сокращается незначительно.

При исследовании антикоррозионной активности АПАВ стального диска наблюдались аналогичные закономерности. Кумолсульфонат незначительно повлиял на процесс окисления, как и лауретсульфат, который немного уменьшил площадь окислившейся поверхности. Наиболее эффективным оказался  $\alpha$ -олефинсульфонат: при его добавлении лишь некоторые участки подверглись окислению. Однако на поверхности присутствуют и крупные розоватые пятна. Замечена положительная динамика ингибиции коррозии при использовании SLES. Также наблюдается уменьшение агрессивного воздействия среды на диск при использовании SCS. Цвет диска стал приближен к изначальному, при этом видны локальные розоватые пятна.

Механизм действия ПАВ как ингибиторов заключается в их адсорбции на металлической поверхности. Амфи菲尔ные молекулы формируют защитный барьер, ограничивающий доступ кислорода и воды. У длинноцепочечных альфа-олефинов такая пленка наиболее плотная, тогда как у кумолсульфоната адсорбция протекает заметно хуже.

Наибольшая эффективность AOS объясняется тем, что в составе присутствует длинная углеводородная цепь. Это способствует образованию плотного адсорбционного слоя, защищающего металл от последующего разрушения. Радикал молекулы SCS состоит из алкилированного бензольного кольца, что затрудняет формирование прочного защитного слоя. Гидрофобная цепь SLES содержит в составе эфирную группу, что улучшает растворимость молекулы в полярных растворителях. В связи с этим адсорбционные свойства лауретсульфата натрия ухудшаются.

Сравнительный анализ показал, что альфа-олефинсульфонат натрия обладает наилучшими функциональными свойствами среди остальных образцов. Благодаря своему длинному углеводородному радикалу AOS способен формировать прочные адсорбционные слои на твердых, жидких и газообразных поверхностях. Поэтому AOS образует стабильные и устойчивые пены, а также эффективен в качестве антакоррозионного и нефтесобирающего агента. SLES продемонстрировал положительные результаты как пенообразователь. Однако наличие этокси-группы в молекуле увеличивает гидрофильность, что ухудшает его адсорбционные свойства на различных поверхностях. Вследствие чего его применение как ингибитора коррозии и нефтесобирающего агента мало эффективно. Кумолсульфонат натрия показал наихудшие результаты как пенообразователь и ингибитор коррозии из-за своей разветвлённой ароматической структуры. Однако проявил умеренную эффективность при сборе нефтяного пятна за счёт высокого давления растекания.

### **Библиографический список**

1. Ланге К.Р. Поверхностно-активные вещества: синтез, свойства, анализ, применение под науч. ред. Л.П. Зайнченко. – СПб. // Профессия, 2007. – 240 с.: ил. – ISBN 5-93913-068-2.
2. Неудачина Л.К., Петрова Ю.С. Применение поверхностно-активных веществ в анализе учеб. пособие / Л.К. Неудачина, Ю.С. Петрова; М-во образования и науки Рос. Федерации, Урал. федерат. ун-т. – Екатеринбург // Изд-во Урал. ун-та, 2017. – 76 с. – ISBN 978-5-7996-2021-9.
3. Токунов В.И., Саущин А.З. Технологические жидкости и составы для повышения продуктивности нефтяных и газовых скважин. – М. // ООО «Недра-Бизнесцентр», 2004. – 711 с.: ил. – ISBN 5-8365-0189-0.
4. Огнева Л.Г., Кузьмина Н.А., Голубовская Л.П. Поверхностно-активные вещества и их применение в нефтяной промышленности // метод. указания к лаб. работе. – М., 1985. – 24 с.
5. Абрамзон А.А. Поверхностно-активные вещества // Свойства и применение. 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Химия, 1981. – 304 с.: ил.
6. Новикова А.С., Куряков Т.А. Еременко О.В., Ващук И.Н. Оценка эффективности химических реагентов на коррозионную агрессивность в промысловом оборудовании ОНГКМ – Нефтепромысловая химия. Тезисы докладов X Международной (XVIII Всероссийской) научно-практической конференции. – М, 2023. – 121–123 с.

УДК 531.8

## ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕМАТИКИ КРИВОШИПНО-КУЛИСНОГО МЕХАНИЗМА

**V.B. Макаров**

студент, makarov.dbnz@mail.ru

филиал РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина в г. Оренбурге

**Ю.Л. Власов**

к.т.н., доцент, ulvlasov@mai.ru

филиал РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина в г. Оренбурге, Оренбург

**Аннотация:** В работе представлены планы скоростей и ускорений кривошипно-кулисного механизма. Данный механизм предназначен для преобразования равномерного вращения кривошипа в неравномерное вращательное движение. Рассмотрена математическая модель движения этого механизма, а также анализ его кинематических и динамических параметров.

**Ключевые слова:** кинематика, кривошипно-кулисный механизм, машиностроение, математическое моделирование.

## KINEMATICS OF THE CRANK-ROCK MECHANISM

**V.V. Makarov**

student, makarov.dbnz@mail.ru

Orenburg Branch for Gubkin Russian State University of Oil and Gas (RSU), Orenburg

**Y.L. Vlasov**

Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor

Orenburg Branch for Gubkin Russian State University of Oil and Gas (RSU), Orenburg

**Abstract:** The paper presents the velocity and acceleration plans of the crank and backstage mechanism. This mechanism is designed to convert the uniform rotation of the crank into non-uniform rotational motion. The mathematical model of the movement of this mechanism is considered, as well as the analysis of its kinematic and dynamic parameters.

**Keywords:** kinematics, crank and backstage mechanism, mechanical engineering, mathematical modeling.

Основным назначением механизма является преобразование равномерного вращения кривошипа в неравномерное вращательное движение кулисы с помощью ползуна, движущегося по кулисе. Это движение предлагается описывать посредством с помощью кинематических характеристик.

Под кинематическими характеристиками понимают перемещения, скорости и ускорения точек звеньев, а также угловые скорости и ускорения звеньев. Кроме того, к кинематическим характеристикам относят характеристики, которые не зависят от закона движения ведущего звена. Они определяются исключительно конструкцией механизма и размерами его звеньев. В общем случае эти параметры находятся в зависимости от положения ведущего звена.

На основании кинематических характеристик можно определить, насколько эффективно решена одна из ключевых задач проектирования механизма – выбор структурной схемы и размеров звеньев. Помимо этого, знание кинематических характеристик важно также для динамических расчетов.

Исследование кинематических характеристик механизма графический и аналитический методом. Первый метод отличается наглядностью и относительной простотой, иногда является единственным приемлемым, так как дает наиболее простое решение, но уступает в точности аналитическому методу. Аналитический метод позволяет получить требуемую точность, но отличается большей сложностью и трудоемкостью вычислений. В нашем случае выбираем графический метод исследования.

Кинематическая часть исследования базируется на следствии из принципа Асюра. Суть данного принципа в том, что схема любого механизма может быть составлена последовательным присоединением к входным (начальным) звеньям и стойке кинематической цепи с нулевой степенью подвижности. Путем присоединения к начальным звеньям различных групп Асюра можно получить механизм любой сложности.

При исследовании механизма расчет и построение планов скоростей и ускорений начинается от ведущего звена, угловая скорость которого постоянна, и далее по группам Асюра в порядке их присоединения.

Рассмотрим механизм на рисунке 1.

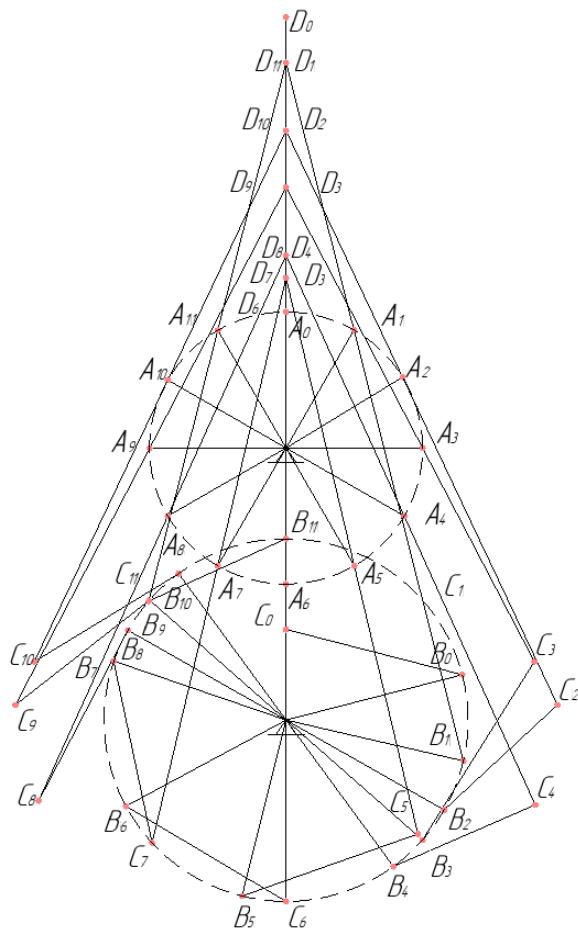


Рисунок 1 – Кривошипно-кулисный механизм

Построим для данного механизма план скоростей для точки A<sub>4</sub> (рисунок 2), используя следующие выражения:

$$\overline{v_B} = \omega_{EB} * EB;$$

$$\overline{v_C} = \overline{v_B} * v_{BC};$$

$$\overline{v_D} = \overline{v_C} * v_{BC};$$

$$\overline{v_A} = \omega_{OA} * OA.$$

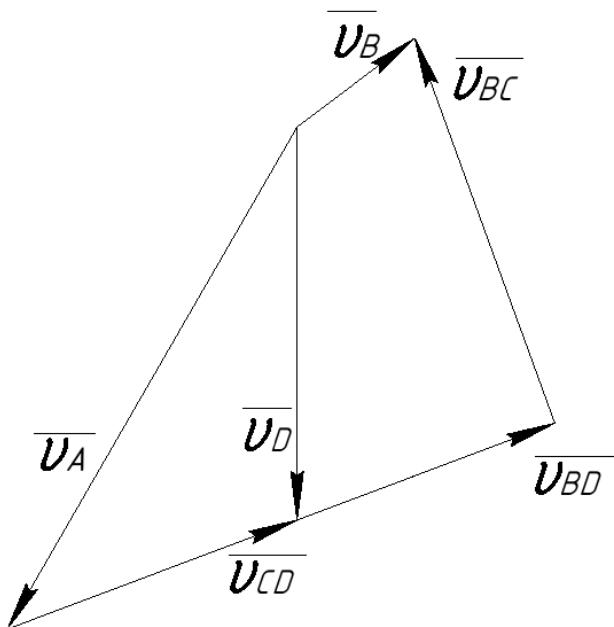


Рисунок 2 – План скоростей для точки A<sub>0</sub>

Теперь построим план скоростей для точки A<sub>10</sub> (рисунок 3).

Планы скоростей точки A<sub>4</sub> и A<sub>10</sub> симметричны.

$$\overline{v_D} = \overline{v_A} + \overline{v_{AD}};$$

$$\overline{v_C} = \overline{v_B} + \overline{v_{CB}};$$

$$\overline{v_D} = \overline{v_C} + \overline{v_{DC}}.$$

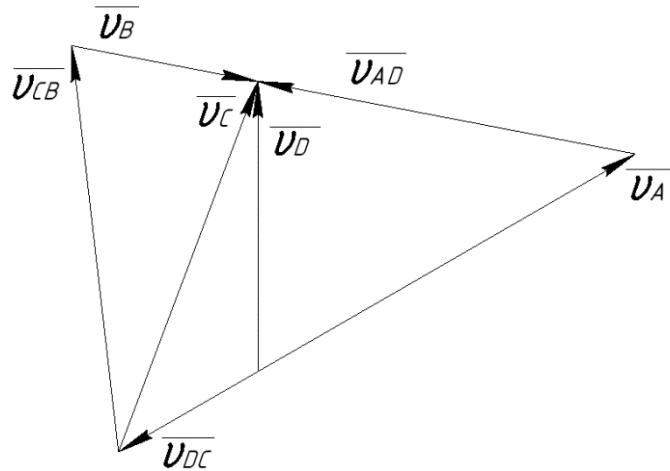


Рисунок 3 – План скоростей для точки  $A_{10}$ .

Следующим этапом построим план ускорений для данного механизма.

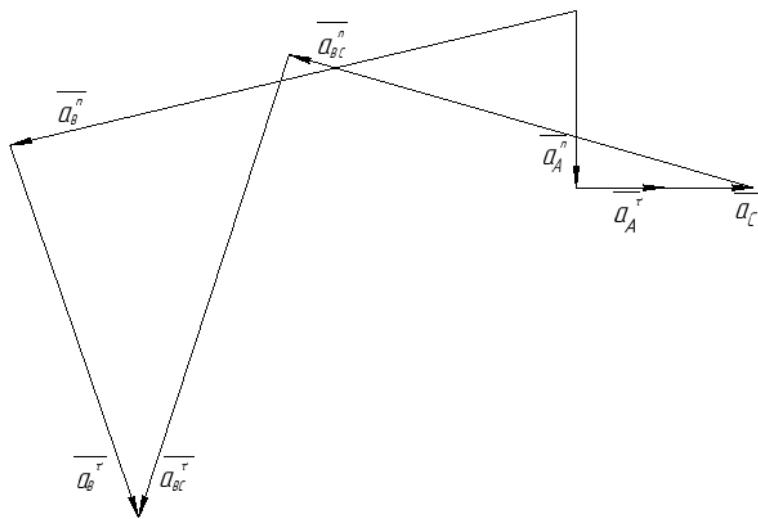


Рисунок 4 – План ускорений для точки  $B$

$$\overline{\alpha_B^n} + \overline{\alpha_B^r} = \overline{\alpha_C} + \overline{\alpha_{BC}^n} + \overline{\alpha_{BC}^r};$$

$$\alpha_{BC}^n = \omega_{BC}^2 \cdot BC^2;$$

$$\alpha_B^n = \omega_{EB}^2 \cdot EB;$$

$$\alpha_A^n = \omega_{OA}^2 \cdot OA;$$

$$\alpha_A^r = \varepsilon_{BA} \cdot OA.$$

Построенные планы скоростей и ускорений позволяют определить кинематические характеристики механизма, что в дальнейшем позволит перейти к динамическому анализу механизма и, как следствие, к прогнозированию и оценке поведения систем, объектов или процессов во времени при различных условиях воздействия.

### **Библиографический список**

1. Кухарь В.Д. Теоретическая механика / В.Д. Кухарь. – М.: – АСВ, – 2016. – 148 с.
2. Тимофеев Г.А. Теория механизмов и машин: учебник и практикум для вузов / Г.А. Тимофеев. – 4-е изд., перераб. и доп. – Москва: Издательство Юрайт, 2023. – 432 с.
3. Динамика механизмов: учеб. пособие по курсу «Теория механизмов и машин» / Головин А.А., Костиков Ю.В., Красовский А.Б. [и др.]; ред. Головин А.А. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. – 159 с.

УДК 622.24

## АНАЛИЗ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТОРФОЩЕЛОЧНОГО РАСТВОРА В СРАВНЕНИИ С ГЛИНИСТЫМ ПРИ БУРЕНИИ ПОРОД, СКЛОНОВЫХ К ОСЫПЯМ И ОБВАЛАМ

*B.V. Makarov*

студент, makarov.dbnz@mail.ru

*Э.Г. Халитова*, старший преподаватель, e.khalitova@burgaz.ru

Филиал РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина в г. Оренбурге, Оренбург

**Аннотация:** В статье представлен анализ эффективности применения торфощелочного бурового раствора (ТЩБР) в геологических условиях, характеризующихся высокой склонностью к осыпям и обвалам. Рассмотрены преимущества данных растворов в неустойчивых горных породах.

**Ключевые слова:** промывочная жидкость, осложнения, осыпи, обвалы, торф, фильтрат бурового раствора, глина.

## ANALYSIS OF THE ECONOMIC EFFICIENCY OF A PEAT-ALKALI SOLUTION COMPARED WITH A CLAY SOLUTION IN DRILLING ROCKS THAT ARE PRONE TO EROSION AND COLLAPSE

*V.V. Makarov*

student, makarov.dbnz@mail.ru

*E.G. Khalitova*, senior lecturer, e.khalitova@burgaz.ru

Orenburg Branch for Gubkin Russian State University of Oil and Gas (RSU), Orenburg

**Annotation:** The article presents an analysis of the effectiveness of using peat-alkaline drilling mud in geological conditions characterized by a high tendency to scree and landslides. The advantages of these solutions in unstable rocks are considered.

**Keywords:** Washing liquid, complications, bursting, collapsing, peat filtration of drilling fluid, clay.

Процесс строительства скважины зачастую сопряжён с возникновением различных осложнений, обусловленных, чаще всего, геологическими факторами. Затраты времени и средств на борьбу с осложнениями остаются значительными (около 5–7%). На их ликвидацию приходится около 60% непроизводительного времени, связанно это, в первую очередь, с трудностью прогнозирования и предотвращения, не прибегая к изменению параметров бурового раствора.

Одним из наиболее распространенных видов осложнений являются обвалы и осыпи стенок скважины, возникающие по причине неустойчивости горных пород (глины, аргиллиты, сланцы). Объясняется это тем, что в процессе бурения таких пород, происходит обильное поглощение фильтрата промывочной жидкости, что по итогу приводит к снижению предела прочности пород.

На этапе проектирования, для скважин различного назначения стараются учитывать влияние фильтрата и состава бурового раствора на породы склонные к набуханию. С этой целью в традиционный буровой раствор добавляют различные реагенты (понизители фильтрации бурового раствора, каустиковую соду и др.), что также негативно влияет на экологичность бурового раствора.

С целью удешевления и повышения экологичности, вместо традиционного глинистого раствора, рассмотрим добавку торфа в качестве структурообразующего компонента. Под торфом подразумеваются отложения органического происхождения, являющиеся экологически чистым материалом.

Данный материал является достаточно дешевым, весьма доступным и при этом обладает свойствами, позволяющими получать высококачественные буровые растворы при минимальных расходах химических реагентов из числа наименее токсичных, т. е. является достойной заменой традиционно используемым глинистым материалам.

В состав торфа входит целый комплекс веществ, весьма ценных с позиций буровых растворов. Это гуминовая кислота, гемицеллюлоза, крахмал и пектиновые вещества, битумы, лигнин и др. Реагенты, получаемые из торфа, уже используются для регулирования свойств буровых растворов в связи с их доступностью, низкой стоимостью исходного сырья и простотой приготовления.

Для приготовления бурового раствора из торфа используются КССБ, КМЦ и другие недефицитные и экологически безвредные вещества. Торфяные буровые растворы экологически безвредны, легко очищаются от шлама, после использования они могут применяться для рекультивации нарушенных земель как в виде растворов, так и образовавшихся неиспользованных остатков торфа на скважинах.

При условии использования торфа, как добавки, в состав бурового раствора входят следующие химические реагенты:

- Торф – органическая дисперсная фаза;
- KOH – калийсодержащий щелочной модификатор;
- KCl – ингибитор набухания глин – хлористый калий;
- Polydia (аналог КМЦ) – Полимер Polydia – флокулянт и понизитель водоотдачи раствора;
- Пеногаситель MAC-200M.

Для оценки экономической эффективности использования указанного выше раствора оценим стоимостные характеристики реагентов (таблица 1).

**Таблица 1 – Состав торфяного раствора и глинистого раствора  
в разрезе стоимостных характеристик**

Торфяной раствор			Глинистый раствор		
Компоненты раствора	Содержание, масс %	Средняя стоимость за 1 т	Компоненты раствора	Содержание, масс %	Средняя стоимость за 1 т
Торф	6–7	25 тыс. руб	Глина	3–15	36 тыс. руб.
KOH	1	100 тыс. руб	NaCL	3	125 тыс. руб.
KCL	2	60 тыс. руб	KCL	4	120 тыс. руб.

Торфяной раствор			Глинистый раствор		
Компоненты раствора	Содержание, масс %	Средняя стоимость за 1 т	Компоненты раствора	Содержание, масс %	Средняя стоимость за 1 т
Polydia	0,3	100 тыс. руб.	Каустическая сода	0,4	110 тыс. руб.
Пеногаситель	2	45 тыс. руб.	Пеногаситель	0,04	25 тыс. руб.
Техническая вода	87,7–88,7	–	Техническая вода	77,56–89,56	–

Исходя из данных, приведенных в таблице 1, следует отметить, что стоимость 1 м бурения скважины с использованием для промывки торфяного раствора в 1,5–2 раза ниже по сравнению с глинистым. Если учесть, что для обезвреживания и утилизации токсичных отходов бурения требуются дополнительные затраты, то экономическая эффективность применения торфяных растворов будет значительно выше.

Торфяные буровые растворы пригодны для проводки скважин в глинистых и карбонатных породах, отложениях соли, а также при вскрытии продуктивных пластов. Во многих случаях торфа могут заменить глины и мел, при этом получают растворы с малым содержанием твердой фазы и незначительным расходом щелочных и полимерных реагентов и ПАВ.

Следует указать, что поскольку концентрация твердой фазы торфяных растворов невелика (2–8%), то соответственно расход реагентов в два-три раза меньше, чем для обработки глинистых и меловых буровых растворов. На основе торфов получены эффективные и дешевые реагенты и модификаторы для глинистых растворов.

Отличительной особенностью торфяных буровых растворов является их хорошая совместимость с глинистыми, карбонатными и минерализованными растворами, а также со всеми полимерными добавками. Плотность раствора можно регулировать, подбирая соответствующий генетический тип сапропеля: органические сапропеля и торфосапропели позволяют получать буровые растворы плотностью 1,01–1,03 г/см<sup>3</sup>, кремнеземистые и смешанные сапропели 1,04–1,06 г/см<sup>3</sup>, карбонатные – 1,07–1,12 г/см<sup>3</sup>. В случае необходимости они могут дополнительно утяжеляться мелом и баритом.

На сегодняшний день разработаны составы буровых растворов на основе торфа для проводки скважин в многолетнемерзлых породах, глинистых отложениях и вскрытия продуктивных пластов. Высокими технологическими и реологическими свойствами обладают полимерторфяные растворы при незначительном расходе высокомолекулярных соединений и ПАВ, пригодные для бурения скважин в условиях воздействия высоких температур и давлений, а также полиминеральной агрессии.

С учетом всего выше сказанного, можно сделать вывод, что применение торфа и сапропелей в бурении для промывки при строительстве скважин, склонных к осипям и обвалам, дает возможность значительно снизить расходы на приобретение глинопорошков и химических реагентов. Но основной экономический эффект может быть достигнут за счет уменьшения экологических нагрузок на окружающую среду и снижения затрат на проведение природоохранных мероприятий.

### **Библиографический список**

1. Евтушенко Г.С., Косаревич И.В., Мавлюшов М.Р. Буровые и тампонажные растворы на основе торфа и сапропелей. Обзор/ ВНИИ экономики минерального сырья и геологоразведочных работ (ВИЭМС). М., 1988. – 66 с.
2. Косаревич И.В., Битюков Н.Н., Шмавонянц В.Ш. Сапропелевые буровые растворы / Под ред. И.И. Лиштвина. Минск, 1987. – 191 с.
3. Лиштван И.И., Косаревич И.В., Маль С.С. и др. Буровые растворы на основе модифицированного торфа // Торфяная промышленность. 1984. – № 1. – С. 22–24.
4. Косаревич И.В., Виноградова Г.П., Исаеня Л.А. Реология буровых растворов. Обзор / ВНИИ экономики минерального сырья и геологоразведочных работ (ВИЭМС). М., 1989. – 60 с.

УДК 004.8

## ПРОБЛЕМА ПРИМЕНЕНИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ГУМАНИТАРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

*S.E. Максатов*

студент, urazbaevsaid6@gmail.com

Научный руководитель: *O.V. Салихова*, к.и.н., доцент, salihova.o@gubkin.ru  
Филиал РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина в г. Оренбурге, Оренбург

**Аннотация:** Статья посвящена вопросу применения и влияния технологий искусственного интеллекта в сфере гуманитарных и технических наук. Кратко приведены примеры использования искусственного интеллекта в нефтегазовой отрасли и исторических науках. Также приведены актуальные проблемы применения технологий в гуманитарных науках. Представлен обоснованный вывод к дальнейшему использованию искусственного интеллекта.

**Ключевые слова:** искусственный интеллект, ИИ, алгоритмы, нейронные сети, технологии, нефтегазовая отрасль, промышленность, топливно-энергетический комплекс, история, гуманитарные науки.

## THE PROBLEM OF APPLYING ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN HUMANITIES RESEARCH

*S.E. Maksatov*

student, urazbaevsaid6@gmail.com

Scientific adviser: *O.V. Salikhova*, Ph.D., Associate Professor, salihova.o@gubkin.ru  
Orenburg Branch for Gubkin Russian State University of Oil and Gas (RSU), Orenburg

**Abstract:** The article is devoted to the application and influence of artificial intelligence technologies in the field of humanities and technical sciences. It briefly provides examples of the use of artificial intelligence in the oil and gas industry and historical sciences. The article also discusses current problems in the application of technologies in the humanities. The article concludes with a reasonable recommendation for the further use of artificial intelligence.

**Keywords:** artificial intelligence, AI, algorithms, neural networks, technologies, oil and gas industry, industry, fuel and energy complex, history, humanities.

### ВВЕДЕНИЕ (INTRODUCTION)

Искусственный интеллект (далее – ИИ) представляет собой целое направление компьютерных наук – не просто отдельные программы или инструменты, а сложную систему разработок. Специалисты в этой области создают особые аналитические системы, способные решать задачи с такой же глубиной и гибкостью, как и человеческий интеллект.

ИИ базируется на специальных алгоритмах, которые обеспечивают обработку огромных массивов информации. Это позволяет выявлять закономерности, аналогичные тем, что обнаруживает человек в повседневной жизни или при проведении научного исследования.

На основе данных выводов ИИ способен не только анализировать текущее состояние дел, но и прогнозировать будущие тенденции, принимая обоснованные решения.

Мозг человека можно сравнить с многоуровневым коллективом профессионалов, каждый из которых выполняет свою роль в решении задач. Искусственный интеллект – это амбициозное стремление воссоздать подобный механизм на цифровой платформе: компьютеры и алгоритмы становятся «сотрудниками», способными имитировать человеческое мышление, например, в сложной игре в шахматы. Шахматные программы не просто следуют правилам игры, они воспроизводят процесс принятия решений на основе стратегий и тактик – но делают это с использованием вычислительных мощностей и алгоритмических моделей, недоступных человеческому разуму [1].

Искусственный интеллект зарекомендовал себя в качестве мощного инструмента автоматизации производства и ускорения принятия управлеченческих решений во многих сферах, в том числе и в нефтегазовой промышленности. Вклад этой отрасли (и в целом топливно-энергетического комплекса) в экономику РФ сейчас является ведущим и в ближайшем будущем это наверняка не изменится. Поэтому внедрение подобных технологий, их планомерное развитие имеет здесь особое и обоснованное значение.

Классический ИИ с глубоким машинным обучением уже больше 10 лет успешно применяется в нефтегазовом секторе – как в РФ, так и за рубежом. Данные технологии действительно делают эффективнее и разведку, и добычу, и дальнейшую переработку. Расчёты показывают, что в среднем внедрение ИИ способно увеличить производительность компаний нефтегазовой отрасли на 20–30%, снизить затраты на обслуживание и ремонт на 15–25%, уменьшить времяостояния оборудования на 20–40%, повысить точность прогнозирования и планирования на 25–35%, улучшить безопасность на производственных площадках на 15–30% [2].

На вышеупомянутом примере ясно видно, как искусственный интеллект помогает в нефтегазовой промышленности, однако он способен оказать помощь не только в технических науках, но и в гуманитарных науках.

Искусственный интеллект часто используется в технических науках по причине того, что эта сфера нуждается в точных и больших расчетах при проектировании и моделировании. Но нейронные технологии начали активно использоваться и в гуманитарных науках. Особенность применения искусственного интеллекта в гуманитарных дисциплинах, заключается в том, что он предлагает новые подходы к анализу данных [3].

Развитие искусственного интеллекта внедряется в область гуманитарного знания и особенно активно проникает в область исторических исследований Средневековья и Античности. Вместо традиционной (скрупулёзной, монотонной и продолжительной по времени) работы учёным предлагается использовать нейронные сети следующим образом – загружая объём текстов определённого периода одного государства, ИИ выявляют связи между упомянутыми персоналиями и ключевыми событиями.

Так в 2009 году Йоханнес Прайзер-Капеллер, австрийский профессор Академии наук, провёл исследование: он систематизировал свыше ста византийских документов XIV века. Создав детализированную базу данных по епископам и применив алгоритмы сетевого анализа, учёный выявил неочевидные взаимосвязи в церковной структуре. Этот подход открыл новые горизонты – компьютерная обработка обнаружила связи между событиями, которые ранее оставались недоступными для прямого человеческого восприятия. Анализ показал, что

епископы, которые больше всего выступали на собраниях, на самом деле не были самыми влиятельными. Исследование Прайзера-Капеллера стало примером для новой эры в исторической науке. До этого нейросети сталкивались со сложностями при работе с большими массивами исторических текстов из-за специфических особенностей, таких как, например, плохая читаемость рукописей. Современные технологии преодолевают эти барьеры, обеспечивая глубокое понимание структурных закономерностей в объёмных и сложных наборах данных благодаря развитию нейросетевых алгоритмов [4].

Проблемой для историков являются не только поврежденные тексты, но и период их происхождения. Для истории важное значение имеет место написания текстов, будь то пространный документ или нечто вроде бухгалтерского отчета. Но выяснить это далеко не всегда представляется возможным просто потому, что такие документы часто перемещаются на сотни и даже тысячи километров от места своего создания. Ну и третий важный фактор для историков – время, когда текст был написан. Благодаря радиоуглеродному и другим видам анализа возраст документа можно выяснить достаточно точно.

В настоящее время компания Google DeepMind осуществила радикальный прорыв – их проект «Ithaca» служит мощным инструментом для исследователей истории и позволяет восстанавливать древние тексты с повреждениями. В архивах мира складированы тысячи артефактов, включая папирусы и пергаменты, сильно изношенные временем. Хотя реставрация предметов быта или оружия возможна благодаря современным технологиям, восстановление письменных источников оставалось сложной задачей до появления «Ithaca».

Радиоуглеродный анализ и другие методы позволяют точно датировать документы, но требуют образцов материала, что нередко приводит к дополнительному ущербу для древних реликвий. Искусственный интеллект превосходит человеческие способности в этой области: Ithaca демонстрирует 62% точности восстановления текстов и их атрибутов (время, место), что значительно выше средней оценки ученых – всего лишь 25%. Особенно интересно взаимодействие системы с профессионалами-эпиграфистами. В такой синергии точность достигает 72%, сокращая разброс датировки до плюс-минус 30 лет, что является существенным прорывом при работе с источниками, охватывающими тысячелетия истории [5].



*Рисунок 1 – пример восстановленного древнегреческого текста*

Проиллюстрированный пример доказывает, что ИИ в гуманитарных науках не просто имеет место быть, а безальтернативно помогает учёным провести невероятно сложное исследование и обработать огромные объёмы информации.

При этом необходимо отметить, что с развитием технологии ИИ возникают и проблемы при её использовании. Так ИИ способен стать инструментом, который буквально за считанные секунды может поменять историю. Например, в популярном видеохостинге «YouTube» можно найти речь бывшего Президента США Ричарда Никсона, которая была написана на случай, если бы высадка на Луну в 1969 году закончилась катастрофой. Однако эта речь – фейк. Исследователи создали её, чтобы продемонстрировать, как ИИ может повлиять на наше общее чувство истории и восприятие действительности.

И хотя в исторических искажениях нет ничего нового, достаточно вспомнить хотя бы известное выражение – «историю пишут победители», но сегодня масштаб и скорость, с которой создаются фальшивки и фейковые новости, захватывают дух, а сама проблема выходит за рамки редактирования фото- или видеозаписей и приобретает международный уровень. ИИ может создавать тексты, которые неотличимы от подлинных речей Викторианской эпохи. Генерируя почерк или шрифты, ИИ также может создавать убедительные лже-документы прошлого «из прошлого» [6].

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ (CONCLUSION)

Несмотря на это, преодоление стереотипов и предубеждений о влиянии ИИ на гуманитарные науки является одной из серьезных задач, которую необходимо решить. Многие люди воспринимают ИИ как потенциальную угрозу, способную заменить человеческую интеллектуальную деятельность и тем самым привести к упадку гуманитарных наук.

Однако, на самом деле, ИИ является лишь инструментом для гуманитарных наук, способствуя их развитию и прогрессу. Во-первых, ИИ способен анализировать и обрабатывать огромные объемы данных, что позволяет обнаруживать скрытые закономерности и тренды, выявлять новые проблемы и решать их эффективнее. Что в свою очередь помогает улучшить качество научных исследований и повысить достоверность их результатов.

Во-вторых, использование ИИ в гуманитарных науках помогает автоматизировать рутинные задачи, освобождая время и ресурсы для более теоретической и глубокой работы. Например, ИИ может автоматически собирать и систематизировать информацию из различных источников, проводить аналитические исследования, создавать модели и прогнозы. Это позволяет учёным сосредоточиться на разработке новых идей, формулировке гипотез и проверке их на практике.

Правильное применение ИИ позволяет улучшить эффективность работы и обогатить их аналитический и интеллектуальный потенциал. Поэтому, вместо опасений и предубеждений, необходимо активно исследовать и применять ИИ в гуманитарных науках, чтобы достичь новых высот в понимании и развитии человеческой культуры и общества.

### Библиографический список

1. Павлова А., Патрушева А. Второй разум: как развивается искусственный интеллект и что его ждёт в будущем [Электронный ресурс]: Блог практикума – Режим доступа:<https://practicum.yandex.ru/blog/chto-takoe-iskusstvennyi-intellekt/#sfery-primeneniy>.

2. Нейросеть в нефтегазовой промышленности: как искусственный интеллект помогает развивать отрасль [Электронный ресурс]:Производитель РФ – Режим доступа:<https://производитель.рф/article/neyroset-v-neftegazovoy-promyshlennosti-kak-iskusstvennyy-intellekt-pomogaet-razvivat>.

3. Донован М., Созыкин П. Большие данные из глубины веков. Как искусственный интеллект помогает историкам узнать правду о прошлом [Электронный ресурс]: Нож – Режим доступа: <https://knife.media/ai-and-history/>.

4. Как ИИ от DeepMind помогает историкам расшифровывать поврежденные тексты из Древней Греции [Электронный ресурс]: Хабр – Режим доступа: <https://habr.com/ru/companies/selectel/articles/653917/>.

5. Байбурин А.К., Берёзкин Ю.Е., Бойцова О.Ю., Громов А.В. Форум: искусственный интеллект в социальных и гуманитарных науках [Электронный ресурс]:CyberLeninka– Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/forum-iskusstvennyy-intellekt-v-sotsialnyh-i-gumanitarnyh-naukah/viewer>.

6. Дзялошинский И.М. Искусственный интеллект: Гуманитарная перспектива // Вестник НГУ, Серия: История, Филология. 2022. Т. 21, № 6: Журналистика. С. 20–29.

УДК 66.07

## ИЗУЧЕНИЕ ОТЛОЖЕНИЙ, ОБРАЗОВАВШИХСЯ В ТЕПЛООБМЕННИКЕ УСТАНОВКИ СЖИЖЕНИЯ ГАЗА

**Л.А. Образцова**

студент, obrazlilii@mail.ru

**Е.С. Погодина**

студент, katya.pogodina.02@list.ru

Научный руководитель: **Н.В. Семыкина**, старший преподаватель,  
makarchuk.n@gubkin.ru

Филиал РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина в г. Оренбурге, Оренбург

**Аннотация:** В работе представлен анализ состава и структуры отложений в медном теплообменнике газоперерабатывающих установок. Исследование включало визуальный осмотр, проверку растворимости в различных средах и взаимодействие с реагентами. Наиболее вероятным компонентом является пирит. Для окончательного подтверждения рекомендуется проведение дополнительных аналитических исследований.

**Ключевые слова:** отложения в теплообменнике, сжижение газа.

## STUDY OF DEPOSITS FORMED IN THE HEAT EXCHANGER OF A GAS LIQUEFACTION PLANT

**L.A. Obraztsova**

student, obrazlilii@mail.ru

**E.S. Pogodina**

student, katya.pogodina.02@list.ru

Scientific adviser: **N.V. Semykina**, senior lecturer, makarchuk.n@gubkin.ru

Orenburg Branch for Gubkin Russian State University of Oil and Gas (RSU), Orenburg

**Abstract:** the paper presents an analysis of the composition and structure of deposits in a copper heat exchanger of gas processing plants. The study included visual inspection, verification of solubility in various media and interaction with reagents. The most likely component is pyrite. Additional analytical studies are recommended for final confirmation.

**Keywords:** deposits in the heat exchanger, gas liquefaction.

Бесперебойное и экономически целесообразное функционирование установок газопереработки напрямую зависит от эффективности теплообменного оборудования. Однако в процессе эксплуатации их работоспособность существенно ограничивается одной из самых распространенных и сложных проблем – образованием отложений на теплопередающих поверхностях.

При осаждении на стенках труб формируется слой твёрдых или высоковязких отложений. В условиях газоперерабатывающих производств основными источниками отложений выступают высокомолекулярные парафины (алканы C<sub>17+</sub>), смолы и асфальтены, содержащиеся в сырьевом газе и газовом конденсате, а также неорганические соли (преимущественно карбонаты и сульфаты), гидраты и продукты коррозии. Интенсификации процесса способствуют

такие факторы, как перепад давления и температуры, фазовые переходы и наличие механических примесей [1].

Последствия образования отложений носят системный и крайне негативный характер. В первую очередь, происходит резкое снижение коэффициента теплопередачи, что ведет к падению эффективности теплообмена, нарушению технологического режима и, как следствие, ухудшению качества целевых продуктов. Во-вторых, рост отложений приводит к увеличению гидравлического сопротивления, повышая нагрузку на насосное и компрессорное оборудование и сокращая пропускную способность установки. Все это влечет за собой значительный перерасход энергоресурсов и необходимость в частых остановках на ремонт и очистку. Таким образом, проблема образования отложений выходит за рамки чисто технической и трансформируется в серьезную экономическую и эксплуатационную задачу [2, 3].

Целью исследования является анализ состава и структуры отложений медного теплообменника.

Предполагается, что образец отложения является сульфидом железа или соединением меди. Данные соединения часто образуются в теплообменниках в результате химических реакций между соединением железа или меди и серосодержащими компонентами.

Исследование включало визуальный осмотр образца, проверку его растворимости в разных средах и наблюдение за изменениями, происходящими при взаимодействии с различными реагентами.

Образец представляет собой тёмно-серое, твёрдое и хрупкое вещество, легко поддающееся измельчению. Поверхность образца имеет металлический блеск, структура слоистая. Эти характеристики указывают на возможность принадлежности вещества к классу минералов или металлических соединений.

Результаты проведенных экспериментов по растворимости вещества отражены в таблице 1.

**Таблица 1 – Результаты исследования растворимости**

№ п/п	Растворитель	Реакция
1	H <sub>2</sub> O (дист.) 20° C	Реакции нет.
2	H <sub>2</sub> O (дист.) 100° C	Реакции нет.
3	HCl	Раствор окрасился в соломенно-жёлтый цвет. Идёт слабозаметное выделение газа. По истечении времени произошло расслоение на ярко жёлтый (сверху) и прозрачный
4	HNO <sub>3</sub>	Раствор окрасился в светло-зелёный цвет. Стенки пробирки приобретают коричневый оттенок. Осадок стал сгруппированным, похожим на кокс с небольшим количеством светлых вкраплений. При перемешивании всплывают хлопья, похожие на металлическую стружку.
5	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Реакции нет. По истечении 10 минут появился серый оттенок
6	Толуол	Реакции нет.
7	Аммиак	Приобрёл серый оттенок. По истечении 15 минут появился голубой оттенок.

№ п/п	Растворитель	Реакция
8	NaOH (40%)	Приобрёл серый оттенок. Раствор стал гуще.
9	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	Приобрёл графитовый оттенок. По истечении 15 минут стал грязно-жёлтым

Эти эксперименты позволяют предположить наличие активных компонентов, способных реагировать с кислотами и другими веществами, такими как аммиак и этанол.

### Анализ результатов исследований

#### 1. Растворимость в воде.

Образец не показал признаков растворения ни в холодной, ни в горячей дистиллированной воде. Отсутствие реакции указывает на низкую растворимость в водной среде, что характерно для многих минеральных соединений и металлов.

#### 2. Растворимость в кислотах.

После добавления образца в соляную кислоту наблюдался постепенный переход цвета раствора от исходного к соломенно-жёлтому оттенку. Появлялось небольшое количество газа, вероятно, водорода, поскольку большинство металлов способны вытеснять водород из кислот. Образовавшиеся частицы разделялись на две фракции: яркую желтую жидкость сверху и прозрачную снизу. Этот результат свидетельствует о химической активности вещества в отношении соляной кислоты.

При воздействии азотной кислоты происходило значительное изменение цвета раствора до светло-зелёного оттенка. Стенки пробирки приобретали коричневатый оттенок, возможно, вследствие формирования продуктов окисления. Образовался осадок белого цвета, напоминающий кокс, с небольшими светлыми вкраплениями. Некоторые хлопья оставались плавающими длительное время, демонстрируя неоднородность структуры вещества. После завершения эксперимента раствор приобрёл яркий зелёный цвет, а стенки пробирки очистились. Этот эффект связан с высоким окислительным потенциалом азотной кислоты, способствующей образованию сложных комплексов и осадков.

В отличие от предыдущих случаев, серная кислота не вызвала значительных изменений в течение длительного времени. Спустя десять минут появилась едва заметная сероватая дымка, свидетельствующая о возможном образовании небольших количеств сульфата или другого продукта реакции.

#### 3. Другие растворители (Толуол, этиловый спирт, аммиак, гидроксид натрия).

Ни один из указанных растворителей не вызвал выраженных реакций. Однако были отмечены небольшие изменения цвета и консистенции растворов, особенно в случае аммиака и гидроксида натрия. Например, при использовании аммиака образовалась синяя окраска, а гидроксид натрия привел к увеличению густоты раствора и появлению серой взвеси.

### Интерпретация результатов

Анализируя полученные данные, можно выделить ряд ключевых моментов:

- высокая устойчивость к воздействию воды и органических растворителей;
- активная реакция с соляной и азотной кислотами, сопровождающаяся изменением цвета и формированием осадка;

– умеренная реакция с аммиаком и гидроксидом натрия, приводящая к изменению цвета и плотности раствора.

Эти наблюдения согласуются с характеристиками многих природных минералов, содержащих металлические компоненты. Среди возможных кандидатов стоит рассмотреть сульфиды металлов, карбонаты и фосфаты, учитывая их типичное поведение в аналогичных тестах.

Наиболее вероятным кандидатом представляется пирит ( $\text{FeS}_2$ ), исходя из ряда нижеперечисленных факторов.

1. Внешний вид: Пирит известен своим золотистым металлическим блеском и слоистой структурой, хотя описанный образец имел тёмно-серый цвет. Тем не менее, различия в цвете могут объясняться наличием примесей или особенностями обработки образца.

2. Растворимость в кислотах: Пирит активно реагирует с соляной и азотной кислотами, что соответствует поведению исследованного образца. В частности, взаимодействие с азотной кислотой приводит к формированию зеленовато-голубого раствора и осадка, содержащего сульфаты железа.

3. Отсутствие реакции с водой и большинством органических растворителей: это свойство также присуще пириту, который практически не растворяется в воде и большинстве органических сред.

Таким образом, совокупность внешних признаков и особенностей поведения в различных растворителях делает пирит наиболее вероятным кандидатом среди известных минералов.

### **Заключение**

Проведённое исследование позволило выявить ключевые характеристики неизвестного вещества, включая внешний вид, механические свойства и поведение в различных растворителях. Основываясь на полученных результатах, наиболее вероятным веществом представляется пирит ( $\text{FeS}_2$ ). Для окончательного подтверждения этой гипотезы рекомендуется провести дополнительные аналитические тесты, такие как рентгеноструктурный анализ или спектроскопию, позволяющие определить точный химический состав и структуру образца.

### **Библиографический список**

1. Денисенко С.И. Уменьшение образования отложений промышленных теплообменников // Сборник научных статей по материалам XIII Международной научно-практической конференции «Фундаментальные и прикладные научные исследования: инноватика в современном мире». – 2024 – С. 44–48.
2. Лукьянов А.М. Влияние состава воды и характеристик частиц на образование отложений в теплообменниках // Молодой ученый. – 2025. – № 17. – С. 22–25.
3. Исследование влияния углеводородов на формирование отложений в теплообменниках установки абсорбционной сероочистки газа / Э.М. Мухаметоев, Г.А. Мусавирова // Нефтепромысловое дело. – 2007. – № 12. – С. 121–125.

УДК 681.5

## РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ВЫБОРА СХЕМЫ РЕЗЕРВИРОВАНИЯ ДЛЯ АСУ ТП ОБЪЕКТОВ НЕФТЕГАЗОПЕРЕРАБОТКИ

*E.A. Одноконная*

студент, elizaveta.odnokonnaya@yandex.ru

Научный руководитель: *A.V. Дудко*, к.п.н., доцент, dudko11111@mail.ru

Филиал РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина в г. Оренбурге, Оренбург

**Аннотация:** Современные АСУ ТП требуют повышенной надежности. Разработан алгоритм выбора схемы резервирования, устраниющий субъективность и оптимизирующий затраты. Метод позволяет системно подбирать решение, обеспечивающее бесперебойность работы и соответствие стандартам безопасности для критических объектов.

**Ключевые слова:** АСУ ТП, надежность, резервирование, алгоритм выбора, отказоустойчивость, функциональная безопасность, промышленная автоматизация.

## DEVELOPMENT OF A REDUNDANCY SCHEME SELECTION ALGORITHM FOR PROCESS CONTROL SYSTEMS AT OIL AND GAS PROCESSING FACILITIES

*E.A. Odnokonnaya*

student, elizaveta.odnokonnaya@yandex.ru

Scientific adviser: *A.V. Dudko*, Ph.D. Associate Professor, dudko11111@mail.ru

Orenburg Branch for Gubkin Russian State University of Oil and Gas (RSU), Orenburg

**Abstract:** Modern Process Control Systems (PCS) require high reliability. A redundancy scheme selection algorithm has been developed to eliminate subjectivity and optimize costs. The method allows for a systematic selection of a solution that ensures uninterrupted operation and compliance with safety standards for critical facilities.

**Keywords:** process Control System (PCS), reliability, redundancy, selection algorithm, fault tolerance, functional safety, industrial automation.

Современные автоматизированные системы управления технологическими процессами (АСУ ТП) требуют повышенной надежности, особенно в критических отраслях, например, таких как нефтегазовый комплекс. Цифровая трансформация производства и ужесточение нормативных требований актуализируют проблему выбора оптимальных схем резервирования. Существующие методы часто требуют компромисса между стоимостью и надежностью, а субъективный подход к выбору схемы может приводить к неоптимальным решениям.

В данной работе предлагается алгоритм выбора схемы резервирования, позволяющий систематизировать процесс принятия решений на основе комплексного учета технических и экономических факторов. Разработанный подход позволяет создавать высоконадежные системы на базе стандартных компонентов с учетом требований функциональной безопасности и минимизации затрат.

АСУ ТП представляет собой комплекс программно-технических средств для автоматизации управления промышленным оборудованием и производственными процессами. Система включает следующие ключевые компоненты: датчики и измерительные приборы для мониторинга технологических параметров, исполнительные механизмы для управления технологическим процессом в соответствии с регламентом, контроллеры для обработки данных и принятия решений, базы данных для хранения информации, программное обеспечение для взаимодействия с оператором и сетевые устройства для обеспечения связи между компонентами.

Все элементы системы функционируют как единый механизм, минимизируя необходимость ручного вмешательства. Их слаженная работа обеспечивает повышение производительности, снижение затрат ресурсов, а также гарантирует безопасность и стабильность технологических процессов.

АСУ ТП традиционно состоит из четырех уровней. Уровень полевых устройств включает датчики и исполнительные механизмы, непосредственно управляющие производственным процессом. Уровень локального управления содержит контроллеры, которые обрабатывают данные с полевых устройств и принимают оперативные решения.

Уровень магистральной сети обеспечивает интеграцию и обмен данными между различными компонентами системы. Уровень управления включает компьютеры и автоматизированные рабочие места для координации работы всей системы и принятия стратегических решений. Такая многоуровневая архитектура обеспечивает эффективное и надежное управление сложными технологическими процессами.

Современные промышленные системы безопасности реализуются через интегрированные автоматизированные системы управления и защиты, включающие два ключевых компонента: систему противоаварийной защиты (ПАЗ) и распределённую систему управления (РСУ). Однако при проектировании часто недооценивается важность обеспечения надёжности всей системы управления – от уровня полевых устройств до уровня управления [1].

АСУ ТП в нефтегазовой отрасли работают в агрессивных условиях и подвержены различным отказам: аппаратным (контроллеры, датчики, питание), программным сбоям, человеческому фактору, внешним воздействиям и естественному износу оборудования. Это обуславливает критическую важность резервирования для обеспечения непрерывности производственных процессов, повышения надёжности, минимизации последствий отказов и соответствия строгим отраслевым нормативам безопасности.

Резервирование позволяет поддерживать работоспособность системы при отказах отдельных компонентов без вмешательства оператора, что особенно важно для предотвращения катастрофических аварий на потенциально опасных производствах. Современные системы используют цифровые протоколы (Foundation Fieldbus, Profibus, HART), обеспечивающие точный обмен данными и удалённое управление оборудованием.

В основе резервирования лежит принцип замены отказавшего элемента исправным резервным. Реализация этого подхода требует решения задачи обеспечения минимальных времени переключения и стоимости оборудования при сохранении заданного уровня надежности.

Основными типами являются общее (аппаратное) и раздельное резервирование, а также системы с голосованием. Общее резервирование предполагает полное дублирование системы,

в то время как раздельное применяется для резервирования только критических компонентов. Аппаратное резервирование обеспечивает защиту на уровне физического оборудования – контроллеров, датчиков, источников питания.

По активности резерва различают холодное (резерв отключен) и горячее (резерв активен) резервирование. Ключевое отличие – время переключения: миллисекунды при горячем и минуты при холодном резервировании. В системах с голосованием все элементы равноправны и работают параллельно, а выходной сигнал формируется по мажоритарному принципу.

Раздельное резервирование (например, по схеме N+1) эффективно для систем с множеством однотипных элементов, позволяет снизить затраты при сохранении требуемого уровня надежности. Постоянное резервирование с активным резервом включает мажоритарные методы и системы голосования, где все компоненты одновременно выполняют идентичные функции.

Оценка надежности схем резервирования в АСУ ТП представляет собой критически важную задачу для обеспечения бесперебойной работы промышленных объектов. Современные методы анализа включают инженерные методики с применением функций случайных аргументов для расчета ключевых параметров надежности, таких как средняя наработка на отказ и вероятность безотказной работы. Эти расчеты формируют основу для выбора наиболее эффективной схемы резервирования, соответствующей конкретным эксплуатационным требованиям.

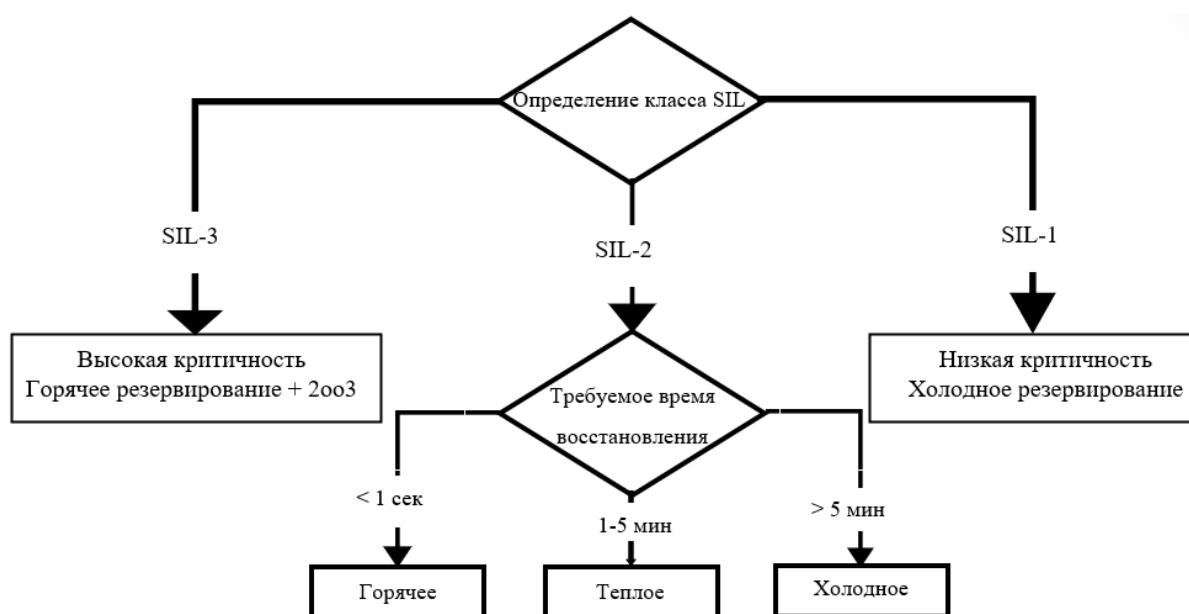
Автоматизация расчетов играет важную роль в современных системах оценки надежности. Специализированное программное обеспечение позволяет минимизировать влияние человеческого фактора и проводить комплексный анализ систем, где отказы могут привести к серьезным последствиям. Особый интерес представляют многоагентные системы, использующие различные механизмы резервирования для обеспечения работоспособности в условиях частичных отказов.

Стандартизованные схемы резервирования, основанные на проверенных математических моделях, широко применяются в инженерной практике. Их высокая степень стандартизации позволяет значительно сократить время проектирования систем.

Разработка алгоритма выбора схем резервирования требует комплексного учета множества факторов. Исследование включает анализ таких распространенных схем как «один из двух» (1oo2) и «два из трех» (2oo3), каждая из которых предлагает различные компромиссы между эффективностью использования ресурсов и уровнем защиты.

Эффективность предложенного алгоритма (см. рисунок 1) обеспечивается применением современных методов оптимизации, включая генетические алгоритмы и методы ветвей и границ. Эти подходы позволяют находить парето-оптимальные решения, адаптированные к специфическим требованиям различных областей применения. Оценка результатов проводится на основе анализа реальных данных и сценариев, что обеспечивает практическую ценность разработки.

Алгоритм выбора способа резервирования (рисунок 1) начинается с категорирования системы по степени критичности на основе стандартов ГОСТ 27.002-89, МЭК 61508-5 и ГОСТ Р 51901 [2], [3]. Как известно системы разделяются на три класса: SIL-3, SIL-2 и SIL-1.



*Рисунок 1 – Алгоритм выбора способа резервирования*

Далее определяются требования к времени восстановления: для реакции менее 1 секунды применяется горячее резервирование, 1–5 минут – теплое, более 5 минут – холодное [4], [5]. Например, ESD-системы требуют горячего резервирования, а учетные системы могут работать на холодном резерве.

Следующий этап – оценка экономических ограничений. Горячее резервирование имеет высокие капитальные и эксплуатационные затраты, теплое – средние, холодное – низкие. Для систем SIL-2 с ограниченным бюджетом рекомендуется теплое резервирование, тогда как критически важные системы SIL-3 при достаточном финансировании оснащаются горячим резервированием. Затем выбирается схема резервирования: 1oo2 (1 из 2) – более экономичный вариант с риском отказа при двойной неисправности, или 2oo3 (2 из 3) – более надежный, но и более дорогой. Системы газовой защиты (SIL-3) обычно используют 2oo3, а регулирование давления (SIL-2) – 1oo2.

Обязательно учитываются внешние факторы: для арктических месторождений важна энергоэффективность, морские платформы требуют антикоррозионной защиты, удаленные трубопроводы – спутниковой связи. Алгоритм реализуется последовательно: сначала определение класса системы (SIL-3 сразу переводит на горячее резервирование + 2oo3), затем оценка времени восстановления, анализ бюджета, выбор схемы и финальная корректировка по внешним условиям. Практический пример для компрессорной станции (SIL-2, время реакции <1 сек, ограниченный бюджет) показывает оптимальность горячего резервирования по схеме 1oo2. Такой системный подход позволяет выбрать оптимальный вариант резервирования, учитывая все ключевые аспекты нефтегазовых АСУ ТП.

**Вывод.** Исследование подтвердило актуальность оптимизации выбора схем резервирования для АСУ ТП в нефтегазопереработке. Существующие субъективные подходы часто приводят к неоптимальным решениям: либо к завышению стоимости, либо к снижению надежности систем. Для решения этой проблемы разработан новый алгоритм, комплексно интегрирующий ключевые критерии: категоризацию по SIL, требования к времени восстановления, экономические ограничения и внешние факторы эксплуатации.

Научная новизна заключается в формализации процесса принятия решений, позволяющей однозначно определять оптимальную схему резервирования и ее архитектуру. Внедрение алгоритма позволит повысить надежность, сократить время проектирования и обеспечить соответствие стандартам функциональной безопасности.

Таким образом, алгоритм служит основой для создания программных инструментов поддержки проектных решений. Перспективы исследований видятся в разработке специализированного программного модуля, его интеграции с САПР и применении методов искусственного интеллекта для прогнозирования отказов.

### **Библиографический список**

1. Денисенко В.В. Выбор аппаратных средств автоматизации опасных промышленных объектов // Современные технологии автоматизации. – 2005. – № 4.
2. МЭК 61508-5 (1998). Функциональная безопасность электрических/электронных/программируемых электронных систем, связанных с безопасностью. Часть 5. Примеры методов для определения уровней целостности защиты.
3. ГОСТ 27.002-89. Надёжность в технике. Основные понятия. Термины и определения.
4. МЭК 61508-7 (2000). Функциональная безопасность электрических/электронных/программируемых электронных систем, обеспечивающих безопасность. Часть 7. Обзор методов и средств измерения.
5. МЭК 61508-3 (1998). Системы электрические/электронные/программируемые электронные, связанные с функциональной безопасностью. Часть 3. Требования к программному обеспечению.

УДК 543.3

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КАЧЕСТВА ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ

**E.P. Родькина**

студент, rodkinaliza555@gmail.com

Научный руководитель: **T.A. Курякова**, к.т.н., доцент, tany\_kur1975@mail.ru  
Филиал РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина в г. Оренбурге, Оренбург

**Аннотация:** Вода – жизненно необходима для нормального функционирования организма человека, наблюдение за её качеством – ключ к жизни без проблем со здоровьем. Для того, чтобы отследить насколько чистую воду мы потребляем, было проведено исследование физических и химических показателей питьевой воды из различных источников.

**Ключевые слова:** питьевая вода, физическая характеристика, химический состав, жёсткость воды, хлорид-ионы.

## COMPARATIVE ANALYSIS OF DRINKING WATER QUALITY

**E.P. Rodkina**

student, rodkinaliza555@gmail.com

Scientific adviser: **T.A. Kuryakova**, Ph.D. in engineering sciences, Associate Professor  
tany\_kur1975@mail.ru

Orenburg Branch for Gubkin Russian State University of Oil and Gas (RSU), Orenburg

**Abstract:** Water is vital for the normal functioning of the human body, and monitoring its quality is key to a healthy lifestyle. To assess the purity of the water we consume, a study was conducted on the physical and chemical characteristics of drinking water from various sources.

**Keywords:** drinking water, physical characteristics, chemical composition, water hardness, and chloride ions.

Вода составляет приблизительно 60% от массы тела человека и играет важнейшую роль в функционировании организма. Её качество как ни что другое влияет на здоровье, красоту и самочувствие. Следовательно, стоит обращать пристальное внимание на качество воды, употребляемой нами.

Однако как сильно можно быть уверенным в качестве той жидкости, которую мы потребляем ежедневно? Нами было проведено исследование, в котором мы определяли соответствие физических и химических свойств по СанПину. Для анализа были отобраны пробы: водопроводная вода, бутилированная (купленная в магазине) и вода из водомата. Это та вода, которую мы пьем каждый день не задумываясь.

Исследование физических свойств воды проводилось визуальным и органолептическим способом.

Для всех образцов питьевой воды были определены визуальные и ощущаемые показатели: прозрачность, цветность, запах, вкус и привкус [1]. Результаты качественного исследования образцов сведены в таблицу 1.

Проанализировав полученные данные, мы обнаружили, что все образцы соответствуют рекомендованным значениям санитарных норм. Все рассмотренные пробы абсолютно прозрачны, обладают нейтральным значением pH: от 6,5 до 7. Однако можем отметить, что водопроводная вода имеет незначительный хлорный привкус, бутилированная вода не имеет вкуса и запаха. Такие показатели воды из водомата как запах и вкус идентичны с бутилированной.

Не менее важным критерием качества воды является содержание хлорид ионов, а также общая жесткость. Такие свойства относятся к химическим и определялись с помощью аналитического анализа [2].

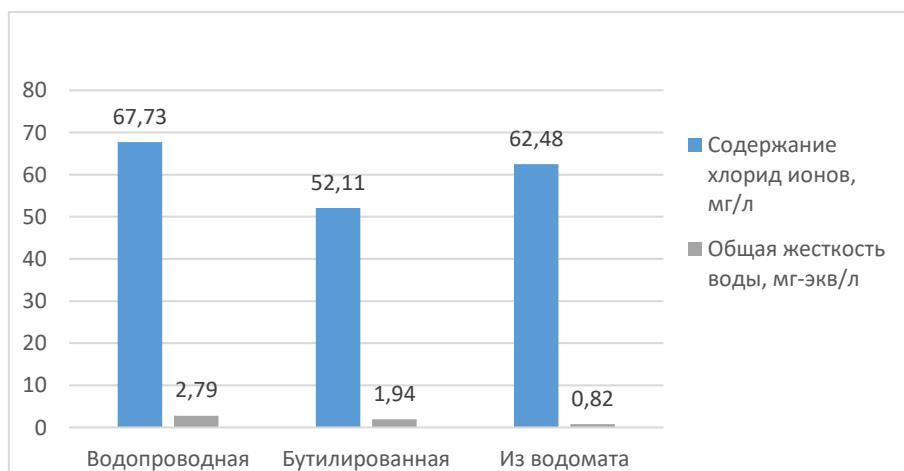
Повышенная жесткость в воде негативно действует на кожу и волосы, делая их менее упругими. Жесткая вода ухудшает качество приготовленной пищи, полезные вещества которой могут образовывать с солями жесткости, плохо усваиваемые организмом соединения.

Также необходимо помнить, что вода с увеличенным содержанием хлоридов вредна для живых организмов, т. к. может вызывать нарушение работы пищеварительной и других систем.

**Таблица 1**

Показатель качества воды	Водопроводная	Бутилированная	Из водомата
Цветность	прозрачная	прозрачная	прозрачная
Прозрачность	мутность отсутствует	мутность отсутствует	мутность отсутствует
Запах	отсутствие ощущения запаха	отсутствие ощущения запаха	отсутствие ощущения запаха
Вкус и привкус	очень слабый хлорный привкус	отсутствие ощущения привкуса	отсутствие ощущения привкуса
Определение pH	6,5	7	6,8

Данные исследования по жесткости и содержанию хлоридов представлены на диаграмме рисунка 1.



*Рисунок 1 – Данные исследования по жесткости и содержанию хлоридов*

На диаграмме мы видим, что содержание хлора и общая жесткость не превышают предельно допустимых концентраций. Однако следует отметить, что бутилированная вода обладает наименьшим присутствием хлорид ионов в составе, наибольшее же содержание в водопроводной воде [3].

Исходя из того, что изображено на рисунке 1, можем сделать вывод о низком показателе жесткости в общем. Водопроводная вода также обладает наибольшим содержанием ионов жесткости, по сравнению с водой из других источников. Но такие показатели все же позволяют ее классифицировать как «мягкую» воду. Вода из водомата же обладает самой малой жёсткостью среди всех анализируемых источников [4].

Таким образом, на основании результатов исследования на практике была доказана возможность использования водопроводной воды в качестве питьевой, значения её показателей находятся в допускаемых пределах и соответствуют необходимым нормам СанПин. Однако, если сравнивать значения показателей воды из других источников, можем сделать вывод о том, что вода, употребляемая из-под крана, является более «агрессивной» для нашего организма. Более безопасное употребление достигается после предварительного очищения с помощью отстаивания или кипячения [5]. Такой способ безвредного потребления достигается и в домашних условиях.

### **Библиографический список**

1. ГОСТ 3351-74 «Вода питьевая. Методы определения вкуса, запаха, цветности и мутности».
2. Харитонов Ю.Я. Аналитическая химия. Количественный анализ. Физико-химические методы анализа: практикум: учебное пособие / Харитонов Ю.Я., Джабаров Д.Н., Григорьева В.Ю. – Москва: ГЭОТАР-Медиа, 2012. – 368 с.
3. ГОСТ 4245-72 «Вода питьевая. Методы определения содержания хлоридов».
4. ГОСТ 31954-2012 «Вода питьевая. Метод определения общей жесткости».
5. Шешеня Н.Л. Мониторинг источников водоснабжения населения питьевой водой // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. 2012. № 2 (50). С. 14–26.

УДК 532.694.1

## СТАБИЛИЗАЦИЯ И УСТОЙЧИВОСТЬ ПЕН В НЕФТЕГАЗОВЫХ СИСТЕМАХ

**E.P. Родькина**

студент, rodkinaliza555@gmail.com

Научный руководитель: **T.A. Курякова**, к.т.н., доцент, t.a.kuryakova@gmail.com  
Филиал РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина в г. Оренбурге, Оренбург

**Аннотация:** В работе были рассмотрены факторы, влияющие на образование и стабильность пен в нефтегазовых системах. Установлено, что ключевыми параметрами являются поверхностное натяжение и химический состав дисперсной фазы. Также определено, что содержание асфальтенов, смол и парафинов оказывает существенное влияние на устойчивость пен.

**Ключевые слова:** пенообразование, поверхностно-активные вещества, нефтегазовые пены.

## THE IMPORTANCE OF FOAM STABILIZATION IN OIL AND GAS SYSTEMS

**E.P. Rodkina**

student, rodkinaliza555@gmail.com

Scientific adviser: **T.A. Kuryakova**, Ph.D. in Engineering Sciences, Associate Professor  
tany\_kur1975@mail.ru  
Orenburg Branch for Gubkin Russian State University of Oil and Gas (RSU), Orenburg

**Abstract:** The paper considered the factors influencing the formation and stability of foams in oil and gas systems. It is established that the key parameters are the surface tension and the chemical composition of the dispersed phase. It was also determined that the content of asphaltenes, resins and paraffins has a significant effect on the stability of foams.

**Keywords:** foaming, surfactants, oil and gas foams, solvate layer.

Устойчивость нефтегазовых пен играет важную роль в процессах добычи, транспорта, переработки, хранения и применения нефти. Под устойчивостью понимается способность пен сохранять свою структуру и свойства во всем объеме в течение определенного времени без значительного разрушения. Понимание факторов, влияющих на стабильность пенных систем, позволяет разрабатывать более эффективные технологии управления пенообразованием и предотвращать нежелательные последствия, такие как преждевременное разрушение оборудования и ухудшение качества продукции.

Способность нефти и газового конденсата образовывать пену обуславливается содержанием в них природных поверхностно-активных веществ (ПАВ): нафтеновых и асфальтогенных кислот, их солей, а также сернистых соединений фенолов. Такие вещества существенно снижают межфазовое поверхностное натяжение [1]. Синтетические же ПАВ попадают в газо-конденсатные и нефтегазовые смеси при введении их в забой, скважины и нефтегазопроводы в результате добычи, транспортировки и переработки нефти и газа. В отличие от пен,

формирующихся из водных растворов ПАВ, нефтегазовые пены отличаются наличием сравнительно толстого сольватного слоя. Такие пены могут быть отнесены к сложным структурным единицам (ССЕ), образующимся в нефтяных дисперсных системах. В зависимости от механизма формирования газовой эмульсии ядро ССЕ может представлять собой растворимые в конденсате углеводородные газы (концентрационные газовые эмульсии) или нерастворимые в жидкости газы (пены, получаемые методом диспергирования) [2]. Закономерности образования и, особенно, технологические свойства подобных ССЕ используются для интенсификации технологических процессов переработки нефти, включая процессы, связанные с образованием газа или пара. Для того чтобы оценить пенообразующую способность нефти и газового конденсата, необходимо четко разделить геометрические размеры и устойчивость образующихся пен. Экспериментально установлено, что вспениваемость нефти (объем, высота, кратность пены), в основном, зависит от величины поверхностного натяжения. Нефти с величиной поверхностного натяжения меньше  $20 \text{ мДж}/\text{м}^2$  легко вспениваются и практически не образуют пены при значении поверхностного натяжения более  $30 \text{ мДж}/\text{м}^2$ . Стабилизация нефтегазовых пен осуществляется за счет активного участия асфальтенов, смол, парафинов и других мало-растворимых компонентов нефти и газового конденсата. В данном случае они являются стабилизаторами пен. Они концентрируются в поверхностном слое пленок пены и формируют структурированную гелеобразную пленку. Структура таких пен характеризуется многослойностью: ядро из газа, граничный слой из ПАВ (природных и синтетических), «бронирующей оболочки» и сольватного слоя. При систематическом исследовании стабилизаторов нефтяных эмульсий определено, что в нефтях они состоят из асфальтенов (20–66%), парафинов (37–66%) и смол (9–26%). Эти компоненты образуют прочные твердообразные «бронирующие» оболочки. Сольватный слой вокруг них преимущественно состоит из смол и асфальтенов. Устойчивость нефтяных пен в значительной степени обусловлена прочностью «бронирующей» оболочки, которая зависит от химического состава дисперсной фазы и дисперсионной среды. Повышенная доля смол в оболочке снижает ее прочность и делает пенную пленку более податливой, приближая её характеристики к жидкостям [3].

Таким образом, нефтегазовые пены состоят из тяжелых высокомолекулярных веществ, повышающих пенообразование нефти, что затрудняет процессы добычи, транспортировки и переработки. Перспективы дальнейших исследований могут включать углубленное изучение взаимодействия компонентов нефти и конденсата с целью выявления дополнительных факторов, влияющих на стабильность нефтегазовых пен. Отечественные разработки в этой области обладают значительным потенциалом, поскольку они ориентированы на эффективное использование местных сырьевых ресурсов для создания новых ПАВ, соответствующих современным технологическим требованиям.

### **Библиографический список**

1. Бекиров Т.М., Ланчаков Г.А. Технология переработки природного газа и конденсата. М.: ООО «НедроБизнесцентр», 1999. –596 с.
2. Тихомиров В.К. Пены. Теория и практика их получения и разрушения. М.: Химия, 1983. – 264 с.
3. Калинина Т.А., Химия нефти и газа: учебно-методический комплекс. – Москва: Пропсект, 2015. – 200 с.

УДК 94 + 332.1

**ОРЕНБУРГСКАЯ ОБЛАСТЬ В СВЕТЕ МАСШТАБНЫХ  
ГОСУДАРСТВЕННЫХ ПРОЕКТОВ И ОТКРЫТИЙ: ИСТОРИЯ  
И ПОВСЕДНЕВНОСТЬ (НА ПРИМЕРЕ ОСВОЕНИЯ ЦЕЛИННЫХ  
И ЗАЛЕЖНЫХ ЗЕМЕЛЬ И ОСВОЕНИЯ ОРЕНБУРГСКОГО  
ГАЗОКОНДЕНСАТНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ)**

*O.V. Салихова*

к.и.н., доцент, olgavk1983@mail.ru

*E.A. Афанасьева*

к.ф.н., доцент, afanas0811@mail.ru

*M.A. Ванчинова*

к.п.н., доцент, dpo@orengubkin.ru

*A.S. Колбинцева*

к.п.н., доцент, kas\_anny@list.ru

Филиал РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина в г. Оренбурге, Оренбург

*Аннотация:* В статье проводится сравнительный анализ влияния двух масштабных государственных проектов второй половины XX века – освоения целинных и залежных земель и разработки Оренбургского газоконденсатного месторождения (ОГКМ) – на социально-экономическое развитие и трансформацию повседневности Оренбургской области. На основе широкого круга архивных источников, статистических данных и научной литературы автор исследует механизмы реализации проектов, демографические последствия, условия труда и быта участников – первоцелинников и газовиков.

*Ключевые слова:* целина, оренбургское газоконденсатное месторождение, повседневность, социокультурная трансформация, масштабные проекты

**ORENBURG REGION IN THE LIGHT OF LARGE-SCALE STATE PROJECTS  
AND DISCOVERIES: HISTORY AND EVERYDAY LIFE (BASED  
ON THE DEVELOPMENT OF VIRGIN AND LONG-FALLOW LANDS  
AND THE DEVELOPMENT OF THE ORENBURG GAS-CONDENSATE FIELD)**

*O.V. Salikhova*

Cand. sci. (history), Associate Professor, olgavk1983@mail.ru

*E.A. Afanasyeva*

Cand. sci. (philology), Associate Professor, afanas0811@mail.ru

*M.A. Vanchinova*

Cand. sci. (pedagogy), Associate Professor, dpo@orengubkin.ru

*A.S. Kolbintseva*

Cand. sci. (pedagogy), Associate Professor, kas\_anny@list.ru

Orenburg Branch for Gubkin Russian State University of Oil and Gas (RSU), Orenburg

**Abstract:** The article presents a comparative analysis of the impact of two large-scale state projects of the second half of the 20th century – the Virgin Lands campaign and the development of the Orenburg Gas-Condensate Field (OGCF) – on the socio-economic development and transformation of everyday life in the Orenburg Region. Based on a wide range of archival sources, statistical data, and scientific literature, the authors examine the implementation mechanisms of the projects, their demographic consequences, and the working and living conditions of the participants – the Virgin Land pioneers and the gas industry workers.

**Keywords:** virgin Lands, Orenburg gas-condensate field, everyday life, socio-cultural transformation, large-scale projects.

**Введение:** Оренбургская область во второй половине XX века стала ареной реализации двух грандиозных государственных проектов, коренным образом изменивших ее экономический ландшафт и социальную структуру. Освоение целинных и залежных земель (1954–1960-е гг.) и открытие, а затем освоение Оренбургского газоконденсатного месторождения (с 1966 г.) были инициированы центральной властью и носили мобилизационный характер. Однако их воздействие на повседневную жизнь населения региона до сих пор не было предметом комплексного сравнительного исследования.

**Актуальность работы** заключается в применении методологии истории повседневности, которая позволяет сместить фокус с макроэкономических показателей на человека, его жизненные стратегии, условия быта и досуга. Это дает возможность преодолеть традиционную для советской историографии героико-патетическую трактовку этих событий и выявить их сложный, амбивалентный характер.

**Источниковая база и методология:** Исследование основано на широком комплексе опубликованных и неопубликованных источников, извлеченных из фондов 6 федеральных и региональных архивов (ГАРФ, РГАЭ, РГАНИ, РГАСПИ, ОГАОО), включая делопроизводственную документацию, статистические материалы, периодическую печать, источники личного происхождения (письма, жалобы, воспоминания) и интервью. Методологическую основу составляют междисциплинарный и антропологический подходы, сочетание микро- и макроанализа, что позволяет реконструировать повседневную жизнь в контексте масштабных государственных преобразований.

### **Основная часть**

Освоение целинных земель в Оренбургской (до 1957 г. – Чкаловской) области стало частью общесоюзной кампании. На 11 восточных районов области пришлось 1,8 млн. га распаханных земель (11% от общего освоения в РСФСР). Экономический успех первых лет (рост валовых сборов зерна) сопровождался серьезными социальными и экологическими проблемами [1].

Проект спровоцировал массовую миграцию. В область прибыли преимущественно молодые люди, часто не имевшие сельскохозяйственного опыта. Это привело к резкой демографической диспропорции: в первые годы доля мужчин превышала долю женщин на 17,4–29,9%, что стало причиной многочисленных межличностных конфликтов [2].

Материально-бытовое устройство целинников осуществлялось по «остаточному принципу». Жилищная проблема была остройней: люди жили в палатках, вагончиках, недостроенных или аварийных домах. К середине 1960-х гг. норма жилой площади на человека составляла лишь 5–6 м<sup>2</sup> при норме в 6–7 м<sup>2</sup>. Острой была проблема водоснабжения: в 70–80%

совхозов вода была непригодна для питья из-за удаленности источников и отсутствия инфраструктуры [3].

Нехватка квалифицированных медработников (в 1955 г. – 48,5%), удаленность медицинских пунктов и антисанитария приводили к вспышкам инфекционных заболеваний. Торговая сеть не справлялась со спросом: ассортимент товаров был узок, отмечался недобор на 35–50%, что провоцировало спекуляцию [4].

Организованные формы досуга были слабы. Преобладали неорганизованные, подчас примитивные формы: семейный отдых, стихийные молодежные собрания, нередко сопровождавшиеся употреблением алкоголя. Кинопоказы (1–2 раза в месяц), недостаток периодики (200 экз. газет на 5 тыс. человек) и плохое радиовещание характеризовали культурный вакuum, в котором оказались новоселы [5].

Открытие в 1966 году одного из крупнейших в стране газоконденсатных месторождений ознаменовало переход области к новой, индустриальной фазе развития. В отличие от целины, этот проект изначально предполагал создание высокотехнологичной инфраструктуры и социальных гарантий для работников.

Как и на целину, кадры формировалась за счет миграции. Однако контингент был иным: квалифицированные специалисты из Башкирии, Татарии, Куйбышевской области, а также комсомольцы по путевкам и условно-освобожденные («химики»). Это создавало более сложную и стратифицированную социальную среду.

Освоение ОГКМ с самого начала рассматривалось как ударная комсомольская стройка с сопутствующими социальными обязательствами. Градообразующее предприятие «Оренбурггазпром» целенаправленно инвестировало в социальную инфраструктуру Оренбурга и области. За 20 лет (1969–1989 гг.) было построено более 1,3 млн м<sup>2</sup> жилья, школы на 15,5 тыс. мест, медицинские учреждения на 420 коек, объекты торговли и общепита. Уровень бытовой и социальной обеспеченности газовиков был несопоставимо выше, чем у целинников [6].

Экономическая эффективность проекта была колоссальной. За первые шесть лет промышленной эксплуатации (1974–1980 гг.) прибыль предприятий объединения «Оренбурггазпром» составила эквивалент 70 млрд 318 млн современных рублей [6].

Можно сказать, что области начался процесс постепенной социокультурной трансформации, растянувшейся на несколько десятков лет. Освоение Оренбургского газоконденсатного месторождения (ОГКМ) в 1970–80-х годах было всесоюзной ударной стройкой. Это привело не просто к созданию новых групп, а к формированию совершенно новой для региона социальной группы – сообщества газовиков. На стройку ехали не случайные люди, а целенаправленно направленные выпускники ведущих вузов (МГУ, МИНХ и ГП им. Губкина, УНИ, Куйбышевский политех и др.), а также опытные специалисты из уже освоенных нефтегазовых регионов (Тюмень, Баку, Поволжье). Это создало уникальный интеллектуальный и культурный потенциал. При этом работа в газовой отрасли была одной из самых престижных и высокооплачиваемых в стране. Специалист-газовик – это был новый социальный тип: высокообразованный, технически грамотный, обладающий доступом к дефицитным благам и информации. Это формировало чувство профессиональной гордости и корпоративной солидарности. Дополнительно можно говорить о формировании интернационального характера новых социальных отношений, так как в освоении участвовали специалисты из братских республик, в частности, из ГДР (строители, монтажники).

С приходом газовой отрасли в регион формируется ведомственная культура. Предприятия («Оренбурггазпром») были частью мощной ведомственной вертикали. Это означало не только подчинение из Москвы, но и особую систему льгот, снабжения и социального обеспечения. Ведомство брало на себя заботу о своих сотрудниках «от колыбели до могилы»: строило современное жилье, детские сады, пионерлагеря («Газовик»), базы отдыха, обеспечивало лучшее медицинское обслуживание (ведомственные поликлиники), снабжало продуктами через систему распределения ресурсов. Формируется корпоративная культура. Газовики осознавали себя элитой, выполняющей важнейшую государственную задачу по обеспечению страны энергоресурсами. Это сплачивало коллектив и формировало особую субкультуру, отличную от культуры «аграрного» региона.

Газовый проект дал мощнейший импульс урбанизации, радикально изменив карту и инфраструктуру региона. Из периферийного купеческо-чиновниччьего города Оренбург превратился в крупный промышленный и научный центр. Был построен гигант – Гелиевый завод (крупнейший в мире), а также заводы «Нефтемаслозавод», «Сорбент», развивалась перерабатывающая промышленность. Для обеспечения отрасли кадрами был открыт Оренбургский политехнический институт (ныне ОГУ), созданы научно-исследовательские и проектные институты (ОренбургНИПИгаз). В город приехала научно-техническая интеллигенция. Активно строилось жилье (новые микрорайоны – например, «Восток»), объекты соцкультбыта (ДК «Газовик», стадионы, поликлиники). Город получил мощный импульс для развития.

Меняется и повседневность города. Газовая промышленность принесла в регион совершенно новые, столичные стандарты жизни. Сотни семей, жившие в деревнях без элементарных удобств, переселялись в благоустроенные квартиры с горячей водой, центральным отоплением, газовыми плитами и ванными. Это была бытовая революция. Через ведомственную систему распределения работники могли приобретать качественные продукты питания, одежду, мебель, бытовую технику и даже автомобили, которые были недоступны большинству жителей области. Культурная жизнь крутилась вокруг ведомственных учреждений: ДК с его кружками, киносеансами, концертами приезжих звезд; спортивные секции; пионерлагеря для детей. Формировалась культура «корпоративного отдыха».

На этом фоне начинает проявляться серьезный социальный социальный контраст между городом и окружающим его сельскими районами, многие из которых, особенно на востоке области, переживали упадок после эпохи целины.

Можно сказать, что возникает система противоречий: с одной стороны, газовики были «локомотивом» развития региона. С другой, их закрытая, привилегированная система вызывала чувство социальной несправедливости у местного населения. Зарплаты, уровень жизни, доступ к благам – все это кардинально отличалось. Урбанизированная, техническая, интернациональная культура газовиков контрастировала с традиционной, аграрной, патриархальной культурой оренбургского села. Этот контраст между «столицей газового края» и окружающей «периферией» является ключевой характеристикой социокультурного ландшафта области того периода и его отголоски видны до сих пор.

В итоге, освоение ОГКМ стало для Оренбургской области вторым, после целины, мощнейшим цивилизационным проектом. Оно не просто изменило экономику, а раскололо регион на два разных социальных мира, создав новую urban, технически ориентированную идентичность, которая наложилась на традиционную аграрную основу. Это наследие продолжает формировать идентичность Оренбуржья и сегодня.

### **Сравнительный анализ проектов: освоение целины и Оренбургского газоконденсатного месторождения (ОГКМ).**

Оба проекта были ключевыми для экономического развития Оренбургской области и страны в целом, реализовывались в рамках плановой экономики и имели черты «большого модерна» – веры в то, что силами государства можно радикально преобразовать природу и общество. Однако их реализация и последствия существенно различались.

**Таблица 1. Общие черты проектов**

<b>Черта</b>	<b>Освоение целины (1954–1960-е гг.)</b>	<b>Освоение ОГКМ (1970–1980-е гг.)</b>
1. Мобилизационный характер, инициирование «сверху»	Классический пример мобилизационной экономики. Решение принято на пленуме ЦК КПСС. План спущен вниз, ресурсы (техника, люди, семена) централизованно распределялись по областям.	Также всесоюзная ударная стройка, инициированная постановлением ЦК КПСС и Совмина СССР. Создана мощная структура – управление «Оренбурггазпром», координировавшая тысячи людей и предприятий со всего Союза.
2. Идеологическое обеспечение	«Романтика целины». Подавалась как героический подвиг во имя Родины, создание изобилия. Активно использовались лозунги, комсомольский задор, образы молодых энтузиастов,教育ющих покорять природу.	«Романтика ударной комсомольской стройки. Акцент на технологическом прогрессе, могуществе страны, освоении недр. Лозунги о выполнении плана пятилетки, обеспечении энергетической безопасности. Героем был не тракторист, а высококвалифицированный инженер-газовик.
3. Массовый приток мигрантов, демографический взрыв	За несколько лет в область прибыло свыше 100 тыс. человек со всего СССР (Украина, Поволжье, Центральная Россия). Резко помолодел возрастной состав населения. Сформировались целые новые поселения.	Массовый приток высококвалифицированных специалистов (инженеров, геологов, строителей) из Тюмени, Баку, с Поволжья, а также выпускников столичных вузов. Строительство поселка Пригородный – это создание нового сообщества с нуля.
4. Кардинальное изменение экономического профиля региона	Оренбуржье из животноводческо-зернового региона с устойчивым натуральным хозяйством превратилось в крупнейшую фабрику по производству товарного зерна экстенсивного типа.	Регион из аграрно-промышленного стал крупным индустриальным центром общесоюзного значения с развитой газодобывающей и газоперерабатывающей промышленностью.
5. Социальные издержки на начальном этапе	Жестчайшие бытовые условия: жизнь в палатах, вагончиках, землянках; отсутствие нормальных дорог, бань, медицинской помощи; тяжелейший физический труд.	«Стройка в степи»: первые годы – жизнь во временных общежитиях, вахтовых поселках, отсутствие инфраструктуры. Однако масштаб и длительность бытовых лишений были меньше, чем на целине, благодаря большим ресурсам проекта.

**Таблица 2. Ключевые различия проектов**

<b>Различия</b>	<b>Освоение целины</b>	<b>Освоение ОГКМ</b>
1. Ресурсы и модель развития	Экстенсивная модель. Главный ресурс – новые площади земли и человеческий труд. Техника (трактора, комбайны) была дефицитом и работала на износ. Урожайность сильно зависела от погоды.	Капиталоемкий технологический проект. Главный ресурс – advanced технологии и высококвалифицированные кадры. Закупалось импортное оборудование (из ФРГ, США), строились сложнейшие химические производства (Гелиевый завод).
2. Социальный состав участников	Широкая масса молодежи. Преимущественно комсомольцы-добровольцы без специального образования, горожане, не знакомые с сельским трудом. Массовый характер.	Инженерно-техническая элита. Специалисты с высшим и средним специальным образованием, опытные кадры с других нефтегазовых месторождений. Элитарный, отборный характер.
3. Долгосрочный результат	Привело к затяжному аграрному кризису. Распашка степей привела к эрозии почв, пыльным бурям, падению урожайности. Экономика осталась экстенсивной и дотационной. Исход молодежи из села после спада энтузиазма.	Заложило основу долговременной экономической стабильности. Создана высокотехнологичная отрасль, которая до сих пор является донором бюджета и области, и страны. Обеспечило энергетическую безопасность.
4. Влияние на повседневность и среду	Кратковременный героический порыв с последующим спадом. Создавались временные поселения, инфраструктура была poor и быстро деградировала. Не произошло коренного перелома в качестве жизни на селе.	Создание устойчивой современной городской среды. Появление образцового поселка Пригородный с полным набором соцбыта, развитие Оренбурга как промышленного и научного центра. Качественно новый уровень жизни для сообщества газовиков.
5. Характер взаимодействия с местным сообществом	Прямое внедрение в существующую аграрную структуру. Часто возникали конфликты между «целинниками» и местными хлеборобами из-за разницы в подходе к земле.	Создание «государства в государстве». Ведомственная замкнутость «Оренбурггазпрома» создала анклав с высоким уровнем жизни, что породило социальный контраст с окружающими сельскими районами и даже с самим Оренбургом.

Оба проекта были детищами своей эпохи: целина – эпохи хрущевской оттепели и веры в простые решения сложных проблем, ОГКМ – эпохи брежневского «развитого социализма» с ставкой на технологическую модернизацию при сохранении жесткой административной системы.

Целина осталась в памяти как мощный, но краткосрочный социальный и аграрный эксперимент, чьи негативные экологические и экономические последствия оказались долговременными.

Освоение ОГКМ стало структурообразующим проектом, который не только изменил экономику региона, но и создал новую социальную реальность – современное urbanized сообщество, которое и сегодня определяет лицо Оренбуржья.

**Заключение.** Проведенное сравнение позволяет сделать вывод о принципиально разном влиянии двух мегапроектов на повседневность Оренбургской области. Целина, реализованная форсированно и с пренебрежением к социальным аспектам, стала примером мобилизационной модели развития, где экономический результат был достигнут ценой огромных социальных издержек и человеческих жертв. Ее наследие амбивалентно: с одной стороны, кратковременный экономический подъем и освоение восточных районов, с другой – долгосрочные демографические и экологические проблемы.

Освоение ОГКМ, напротив, демонстрирует более сбалансированную модель, где технологическая модернизация сопровождалась созданием новой социальной инфраструктуры и формированием новой индустриальной культуры. Этот проект заложил основу для устойчивого развития региона на десятилетия вперед.

Оба проекта, несмотря на все различия, привели к формированию в Оренбуржье уникального социокультурного пласта – сообщества людей, связанных общим опытом первооткрывательства, жизни в экстремальных условиях и созидания. Этот опыт, реконструированный через призму повседневности, является неотъемлемой частью исторической памяти региона и важным объектом для дальнейших исследований.

### **Библиографический список**

1. Пахомова Е.В. Обеспечение районов освоения целинных и залежных земель трудовыми ресурсами в 1954–1956 гг. (на материалах Южного Урала): автореф. дис. ... канд. ист. наук. – Оренбург, 2007.
2. ОГАОО. Ф. 371. Оп. 17. Д. 2009. Л. 28.
3. ОГАОО. Ф. Р-1003. Оп. 10. Д. 125. Л. 19.
4. ОГАОО. Ф. Р-1465. Оп. 1. Д. 368. Л. 374–37.
5. РГАЭ. Ф. 1562. Оп. 2. Д. 1225. Л. 8.
6. «ООО «Газпром добыча Оренбург» – 40 лет великих свершений» / Сост. В.Н. Кузнецов. – Оренбург, 2009.

УДК 004.9

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ МЕХАНИЗМА ПОДАЧИ ВАЛКОВОГО ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЯ

*C.Y. Соловых*

к.т.н., доцент, sergsolo@mail.ru

Филиал РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина в г. Оренбурге, Оренбург

*V.A. Федотов*

д.т.н., доцент, vital\_asm@mail.ru

Оренбургский государственный университет, Оренбург

**Аннотация:** Для повышения эффективной работы валковой дробилки целесообразно автоматическое регулирование технических параметров механизма подачи путем изменения числа оборотов подающих роликов или величины зазора, с помощью информационно-измерительной системы.

**Ключевые слова:** управление процессом измельчения; информационно-измерительные системы.

## USING AN INFORMATION AND MEASUREMENT SYSTEM TO IMPROVE THE FEED MECHANISM OF A ROLLER SHREDDER

*S.Y. Solovykh*

Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor, sergsolo@mail.ru

Orenburg Branch for Gubkin Russian State University of Oil and Gas (RSU), Orenburg

*V.A. Fedotov*

Dr. of Engineering Science, Associate Professor, vital\_asm@mail.ru

Orenburg State University, Orenburg

**Abstract:** To improve the efficiency of the roll crusher, it is advisable to automatically adjust the technical parameters of the feed mechanism by changing the speed of the feed rollers or the gap size using an information and measurement system.

**Keywords:** control of the grinding process; information and measurement systems.

Одним из основных параметров валковой машины является ее производительность. Задача максимизации производительности при сохранении качества продукции всегда является актуальной. Подача валковых машин имеет решающее значение для процесса производительности. Однако современные механизмы подачи не способны обеспечить высокоскоростную подачу продукта.

В данной статье рассматриваются принципы работы подающих механизмов валковых машин и предлагается более совершенный подающий механизм, отвечающий требованиям качественной и производительной работы мельниц.

Механизмы подачи роликовых машин делятся на следующие типы: двухвалковые, одновалковые и встрихивающие. Первый тип используется в отечественном машиностроении, а

также в Европе. Второй и третий типы используются главным образом в машинах американского производства.

Принцип работы двухвалкового податчика следующий: продукт, поступающий в приемный бункер роликовой машины, захватывается верхним подающим роликом, имеющим меньшую скорость вращения относительно нижнего, который в свою очередь выравнивает сырье в тонкую линию и передает на медленно вращающийся рабочий валок. Количество продуктов, подаваемых в рабочую зону валов, регулируется на верхнем подающем ролике с помощью заслонки.

Влияние механизмов подачи на производительность валковых машин следует рассматривать на примере механизмов подачи роликов. С увеличением окружных скоростей рабочих валов увеличиваются и окружные скорости подающих роликов. Согласно [1], при увеличении окружных скоростей валков с 1,5 до 7,2 м/с наблюдались изменения окружных скоростей подающих роликов в диапазоне от 0,125 до 0,785 м/с. В рассматриваемой валковой машине, работающей на высоких скоростях (до 6 м/с), подающие ролики имеют следующие окружные скорости: верхние – 0,15 м/с, нижние – 0,55 м/с.

Согласно данным работ ряда исследователей оптимальная окружная скорость – 0,55 м/с [2]. В этом случае конечная скорость частицы продукта, которая является суммой начальной скорости подающего ролика и скорости частицы продукта при ее свободном падении на пути между подающим роликом и рабочим роликом, соответствует скорости медленно вращающегося рабочего ролика.

Однако при увеличении скорости до 6 м/с, при сохранении параметров подающего механизма, конечная скорость частицы не соответствует скорости медленно вращающегося рабочего валка. Для существующего типа питателей максимальное число оборотов (во избежание отрыва частиц продукта) подающего ролика составит 154 об/мин, что соответствует максимальной окружной скорости 0,6 м/с, т. е. в применяемых конструкциях подающего механизма роликового типа невозможно увеличить скорость подающих роликов выше 0,55 м/с [2].

Расчетная производительность рабочих валков в 3,5 раза превышает нормальную производительность валковых машин, т. е. имеется серьёзный запас роста производительности. Требование обхода ограничения роликовых податчиков приводит нас к предложению принципиально новых конструкций подающих механизмов, которые будут соответствовать возросшей производительности валковых машин и обеспечивать надлежащую подачу продукта при одновременном устраниении разрыва между скоростью конечного продукта и скоростью медленно вращающегося рабочего валка.

Было предложено устройство, используемое для подачи сырья на валки, имеющее специальный ускоряющий механизм, состоящий из двух бесконечных лент в сочетании с подачей одного валка. Поверхность подающих роликов прорезана канавкой трапециевидной формы. Для обеспечения лучшего сцепления и равномерной подачи продукта рифления расположены наклонно по отношению к образующей на 2,5%. Продукт, подаваемый через приемный бункер и одновалковый питатель в клиновидное пространство между лентами ускоряющего механизма подачи, имеет большую скорость: скорость ленты составляет около 7 м/с; скорость приводного барабана составляет 1440 оборотов в минуту; производительность составляет около 25 т/ч. В момент поступления частиц сырья в зону измельчения конечная скорость продукта составляет сумму окружной скорости подающих роликов и скорости, полученной при свободном падении (под действием силы тяжести) с высоты, равной расстоянию между

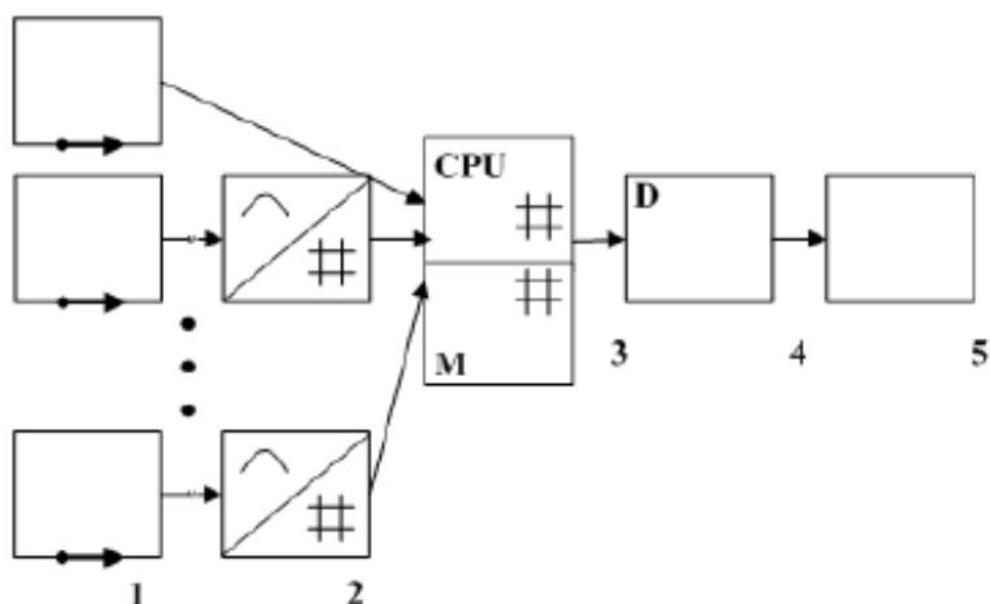
горизонтальными линиями, проходящими через центры подающего и рабочего органов. Изменяя число оборотов и величину зазора подающих роликов, достигается регулирование производительности в широких пределах.

При проведении эксперимента в лабораторных условиях в пределах окружных скоростей подающих роликов от 2,8 до 5,5 м/с большая нагрузка была зарегистрирована при окружной скорости 2,8 м/с, а меньшая нагрузка была зарегистрирована при скорости 5,5 м/с. Производительность увеличивается в диапазоне скоростей от 0,6 м/с до 2,4 м/с (точную максимальную окружную скорость экспериментально определить не удалось). Затем она постепенно уменьшается. Более низкая производительность механизма подачи соответствует зазору в 2 мм; по мере его увеличения производительность повышается. Самая высокая производительность характеризуется зазором в 8 мм.

Для функционирования информационно-измерительной системы, управляющей работой подающего механизма валковой машины, авторами разработано специальное программное обеспечение, в частности для оценки качества получаемой продукции с использованием результатов анализа измельченного сырья и прочее [3, 4].

Общий вид структуры этой информационно-измерительной системы представлен на рисунке 1.

Опираясь на результаты анализа измельчённого продукта в реальном времени, система позволяет управлять процессом подачи, обеспечивая наиболее эффективное значение подачи сырья зону измельчения.



*Рисунок 1 – Обобщенная структурная схема информационно-измерительной системы для определения потребительских свойств зерна:*

- 1 – измерительные приборы;
- 2 – аналого-цифровой преобразователь;
- 3 – подсистема обработки информации;
- 4 – подсистема отображения информации о потребительских свойствах;
- 5 – потребитель информации

Основываясь на полученных результатах экспериментальных исследований, мы можем сделать следующие выводы.

Использование обратной связи посредством использования информационно-измерительной системы помогло улучшить производительность механизма подачи. Производительность повышается с увеличением окружной скорости подающих роликов до 2,4–2,8 м/с. При дальнейшем увеличении окружной скорости производительность снижается. Производительность зависит от величины зазора между подающими роликами. Степень заполнения рабочего объема подающих роликов выше при большем зазоре. С увеличением окружных скоростей с 2,8 до 5,5 м/с степень заполнения уменьшается.

Автоматическое регулирование мощности целесообразно осуществлять при низких окружных скоростях (до 2,4–2,8 м/с в зависимости от продукта) путем изменения числа оборотов или размера зазора); при высоких окружных скоростях (2,4–2,8 м/с) – путем изменения размера зазора.

### **Библиографический список**

1. Fedotov V.A. Application of the information measuring system to improve the feeding mechanism of a roller machine / Fedotov V.A., Medvedev P.V., Solovykh S.Y. // Всборнике: Journal of Physics: Conference Series. International Conference "High-Tech and Innovations in Research and Manufacturing," HIRM 2019. 2019. C. 012079.
2. Souza E.J., Martin J.M., Guttieri M.J., O'Brien K., Habernicht D.K., Lanning S.P., Carlson G.R., Talbert L.E. 2004 Influence of genotype, environment, and nitrogen management on spring wheat quality. Crop Sci. 44 – p. 425–432.
3. Федотов В.А. Свидетельство о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2016660501, зарегистр. 16.09.2016 г. Программный комплекс оценки качества продукции зерноперерабатывающей отрасли с использованием результатов зернового анализа.
4. Федотов В.А. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2018610895 зарегистр. 19.01.2018 г. Расчет композитных смесей с заданными показателями качества.

УДК 658.567.1

## К ВОПРОСУ О ВЫБОРЕ РАЦИОНАЛЬНОГО СПОСОБА ПЕРЕРАБОТКИ РЕЗИНОСОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ

*С.Ю. Соловых*

к.т.н., доцент, sergsolo@mail.ru

Филиал РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина в г. Оренбурге, Оренбург

*С.В. Антимонов*

к.т.н., доцент, antimonov.23@yandex.ru

Оренбургский государственный университет, Оренбург

**Аннотация:** В статье проанализированы основные способы утилизации РСО и рекомендованы наиболее рациональные способы для дальнейшей оптимизации и трансформации.

**Ключевые слова:** резиносодержащие отходы, утилизация, измельчение, криообработка.

## ON THE CHOICE OF AN RATIONAL METHOD FOR PROCESSING RUBBER-CONTAINING WASTE

*S.Y. Solovykh*

Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor, sergsolo@mail.ru

Orenburg Branch for Gubkin Russian State University of Oil and Gas (RSU), Orenburg

*S.V. Antimonov*

Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor, antimonov.23@yandex.ru

Orenburg State University, Orenburg

**Abstract:** The article analyzes the main methods of RSW disposal and recommends the most rational methods for further optimization and transformation.

**Keywords:** rubber-containing waste, recycling, grinding, cryoprecipitation.

Утилизация резиносодержащих отходов – сложный и дорогостоящий процесс, вследствие конструктивных особенностей и химического состава перерабатываемого изделия.

Резиносодержащие отходы в большинстве случаев представляют собой эластомеры. Особенность химического строения эластомеров заключается в наличии длинных молекул с радикалами, которые образуют прочную трехмерную структуру с поперечными связями.

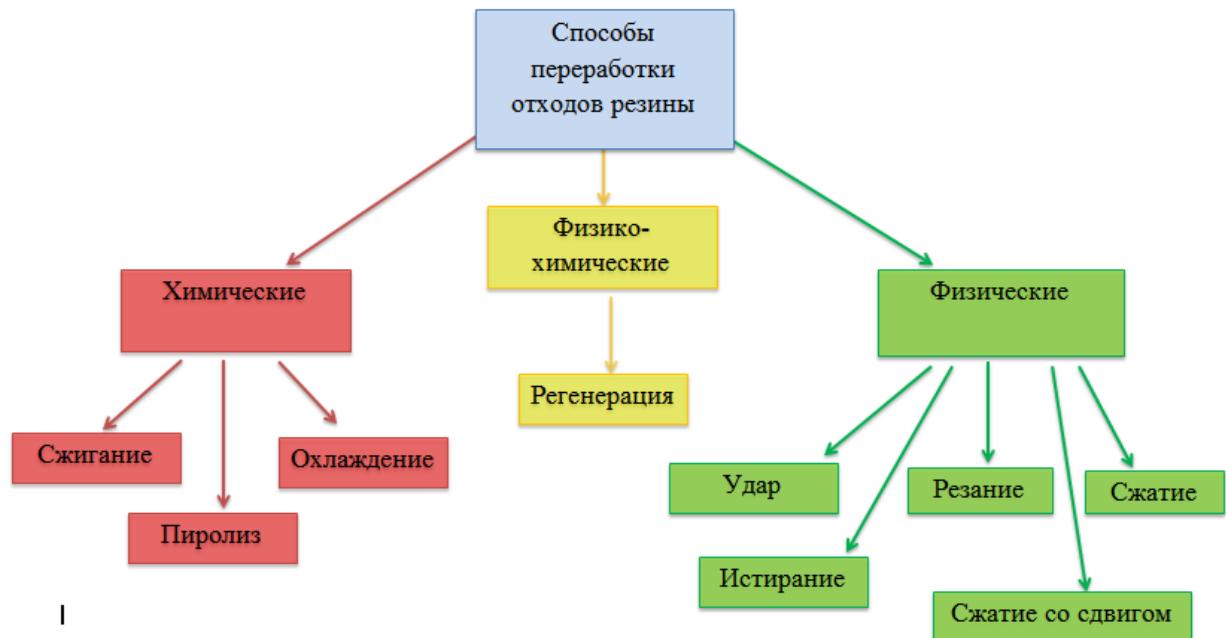
Кроме того, сложность надмолекулярных структур эластомеров придают им уникальные свойства и делают незаменимыми материалами для современного машиностроения и других отраслей экономики. Поэтому объем производства резинотехнических изделий очень велик. Одних только автомобильных шин в России выпущено в 2024 году более 34,5 млн. штук, что на 13% больше предыдущего года [1].

Следовательно, резко возрастает необходимость их последующей утилизации в форме, максимально безопасной для окружающей среды.

Оптимальный выбор того или иного способа утилизации резинотехнического изделия с учетом его механических, физических и физико-химических свойств позволит сэкономить

средства на его утилизацию, максимально рационально и полноценно переработать, а также обеспечит выбор наиболее экологически чистой технологии.

Так, известные способы переработки резиносодержащих отходов можно разделить на химические, физико-химические и физические (рисунок 1) [2].



*Рисунок 1 – Способы переработки резинотехнических отходов*

Остановимся подробнее на каждом из способов, рассмотрев их достоинства и недостатки. Результаты сведем в таблицы 1–3.

**Таблица 1 – Химические способы переработки резинотехнических отходов**

Методы переработки	Условия реализации	Виды	Достоинства	Недостатки
Химический (нагрев)	деструкция материала при высокой температуре	сжигание и пиролиз	позволяет получить ценные продукты и тепло	не позволяет сохранить исходные полимерные материалы
Химический (охлаждение)	низкотемпературная обработка перед дроблением при температурах от минус 90° С до минус 60° С, резина находится в псевдохрупком состоянии	шоковая заморозка или промораживание резины	уменьшает энергозатраты на дробление, улучшает отделение металла и текстиля от резины (например, автомобильные покрышки), повышает выход резины	для охлаждения резины используется жидкий азот*. Но сложность его доставки, хранения, высокая стоимость и высокие энергозатраты нивелируют эффективность его использования

\* авторы, как альтернативу в ходе замораживания резинотехнических отходов предлагают использовать специальные холодильные установки

**Таблица 2 – Физико-химические способы переработки резинотехнических отходов**

<b>Методы переработки</b>	<b>Условия реализации</b>	<b>Виды</b>	<b>Достоинства</b>	<b>Недостатки</b>
Физико-химический	разрушается пространственная вулканизационная сетка за счет теплового, механического и химического воздействия на резину	регенерация резины различными способами	регенерат обладает пластическими свойствами и используется при изготовлении резиновых смесей с целью замены каучука; снижение энергозатрат на производство новых резиновых изделий из каучука	Ограниченое применение для вулканизированной резины, кроме того, разрушается пространственная структура материала

**Таблица 3 – Физические способы переработки резинотехнических отходов**

<b>Методы переработки</b>	<b>Условия реализации</b>	<b>Виды</b>	<b>Достоинства</b>	<b>Недостатки</b>
Физические	наличие механического устройства измельчающего типа	различные способы их измельчения с целью получения резиновой крошки (муки)	наиболее полно сохраняются свойства резины; широкий диапазон дисперсности получаемого продукта от частиц 10 мм до порошкообразной структуры; наиболее экологически безопасен для окружающей среды	непроизводительные потери энергии на механические потери; эффективность измельчения резины зависит от температуры и скорости приложения нагрузки

По мнению авторов из проанализированных основных способов утилизации резинотехнических отходов наиболее эффективным является физический способ с одновременным использованием химического воздействие на исходные резинотехнические отходы.

Применение химической обработки (охлаждение) ослабит температурные зависимости и повлияет на эффективность измельчения резины, увеличив скорость приложения нагрузки, а значит величину передаваемой энергии для разрушения [3].

### **Библиографический список**

1. Производство шин для легковых автомобилей в 2024 году выросло на 13% – Аналитическое агентство «Автостат» – Режим доступа: <https://www.autostat.ru/news/59430/>.
2. Вещев А.А. Утилизация изношенных покрышек пневматических шин / А.А. Вещев, А.В. Проворов // Каучук и резина. – 2009. – № 4. – С. 37–40.
3. Переработка отработанных резинотехнических изделий автопрома [Электронный ресурс] / Ганин Е.В., Антимонов С.В., Абдрахманова А.М., Иванова Ю.С. // Нефтегазовое дело, 2017. – Т. 15, № 1. – С. 121–131. – 11 с.

УДК 550

## ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ И ЛИКВИДАЦИЯ МЕЖКОЛОННЫХ ДАВЛЕНИЙ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ СКВАЖИН

*A.C. Тришкин*

студент, trishkin2020@mail.ru

*Э.Г. Халитова*, старший преподаватель, e.khalitova@burgaz.ru

Филиал РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина в г. Оренбурге, Оренбург

**Аннотация:** Среди множества рисков именно межколонные давления и вызванные ими перетоки флюидов являются одной из наиболее сложных и опасных проблем. В статье рассмотрены методы предупреждения и ликвидации межколонных давлений.

**Ключевые слова:** межколонные давления (МКД), межколонные перетоки (МКП), скважина.

## PREVENTION AND ELIMINATION OF INTER-COLUMN PRESSURES DURING WELL CONSTRUCTION

*A.S. Trishkin*

student, trishkin2020@mail.ru

*E.G. Khalitova*, senior lecturer, e.khalitova@burgaz.ru

Orenburg Branch for Gubkin Russian State University of Oil and Gas (RSU), Orenburg

**Abstract:** Among the many risks, inter-column pressures and the resulting fluid flows are one of the most complex and dangerous problems. This article discusses methods for preventing and eliminating inter-column pressures.

**Keywords:** inter-column pressures, inter-column flows, well.

Скважина является сложным техническим сооружением, воплощающим колоссальный опыт бурения предыдущих поколений. За десятилетия интенсивного освоения недр пробурено колоссальное количество скважин, образовавших сложнейшую систему.

С ростом числа скважин увеличилось число техногенных аварий – газовых и нефтяных фонтанов, грифонов и т. д., которые приводят к серьезным экологическим последствиям, а также к огромным экономическим затратам. На сегодняшний день экология окружающей среды является одним из важных вопросов при бурении и эксплуатации скважин.

Среди множества рисков именно межколонные давления и вызванные ими перетоки флюидов являются одной из наиболее сложных и опасных проблем. Данное осложнение способна долгое время оставаться незамеченной, постепенно разрушая целостность скважины и создавая предпосылки для масштабных осложнений.

Межколонные давления в скважинах – это давление в межколонном пространстве, которое возникает из-за нарушения герметичности крепи скважины. Флюид из пласта мигрирует по негерметичному заколонному пространству, насыщает проницаемые породы и проявляется на устье в виде межколонных проявлений или грифонов.

Межколонные давления приводят к выходу газа и нефти на устье скважины или к неконтролируемым перетокам в межколонном пространстве. Флюид перемещается по каналам, которые образовались в цементном камне как при строительстве, так и в процессе эксплуатации скважины.

Основной причиной возникновения межколонных давлений, осложняющих бурение и эксплуатацию скважин, является некачественное крепление скважин. Состояние цементного кольца в межколонном пространстве имеет решающее значение при образовании межколонных давлений в скважинах.

Из вышесказанного следует, что для того, чтобы предупредить возникновение межколонных давлений необходимо повысить качество крепления скважин. Одной из современных технологий позволяющей повысить качество цементирования является использование устьевого генератора силовых волн. Суть метода в том, что при цементировании обсадных колонн, после достижения продавочной пробки кольца «Стоп», производится вибрационно-волновое воздействие на цемент, находящийся в затрубном пространстве. Вибрационно-волновая обработка раствора производится до начала времени схватывания цемента. Эта технология помогает сократить разрывы в сплошности цемента, улучшить его сцепление с колонной и породой, что обеспечивает надёжность крепления скважины и значительно снижает риск появления межколонных давлений.

В основном для ликвидации перетоков газа по межколонному пространству и пространству между обсадной колонной и породой необходимо решить следующие задачи:

Восстановить герметичность цементного камня над интервалом поступления флюида. Именно этот цементный камень и может служить каналом связи источника флюидопоявления и устья.

Перекрыть каналы между цементным камнем и породой. Зачастую это пространство, являющееся каналом для движения газа, образуется вследствие недостаточного вытеснения бурового раствора буферным или в результате продолжительной эксплуатации скважины, из-за чего вследствие колебаний обсадной колонны и образуются эти каналы перетока газа.

На сегодняшний день существует множество способов ликвидации межколонных давлений, но наиболее эффективным методом является закачка на устье специальных герметизирующих составов совместно с обработкой межколонного пространства генератором силовых волн.

### 1. Кольматирующий состав.

Метод основан на закачке специального герметизирующего состава на основе не синтетических масел в межколонные пространства с подъемом цементного камня до устья. Закачка происходит по принципу нагнетания под давлением состава в межколонное пространство через шиберную задвижку межколонного отвода в трещины цементного камня и в пространство пути миграции флюида.

### 2. Гравитационный состав.

Метод основан на закачке в межколонное пространство специальных составов на углеводородной основе и гравитационном замещении межколонного флюида. Используется при ликвидации межколонных давлений с не подъемом цемента до устья.

Подводя итоги, можно сделать однозначный вывод: наличие межколонных давлений в скважинном фонде представляет собой серьезнейшую двуединую угрозу – как для экономики, так и для экологии. Прямые финансовые потери от падения добычи, дорогостоящих ремонтов

и штрафов – лишь видимая часть айсберга. Гораздо опаснее скрытые экологические последствия, которые могут проявиться спустя годы, делая целые территории непригодными для жизни и хозяйственной деятельности.

В свете этого, работа с межколонными перетоками не должна рассматриваться как вынужденная операционная деятельность. Это стратегическая задача, требующая опережающих инвестиций в науку, современные технологии и подготовку кадров.

### **Библиографический список**

1. Агадуллин И.И. Экологические аспекты негерметичности заколонного пространства в скважинах различного назначения // Электронный научный Журнал «Нефтегазовое дело». 2011, – № 4. – С. 82–89.
2. Горбачева О.А. Разработка и внедрение методов контроля и исследований скважин с межколонными давлениями на Астраханском ГКМ // Диссертация. Уфа, 2012. – С. 12–17.
3. Калинин А.Г., Семенов В.П. Анализ причин возникновения межколонных давлений на месторождениях Западной Сибири // Бурение и нефть. – 2022. – № 5. – С. 18–23.
3. Мерчева В.С. Экологически безопасные технологии эксплуатации и ликвидации скважин с межколонными давлениями // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2012, № 6 – С. 37–41.
4. Левайн Д.К. и др. Предотвращение миграции газа в затрубном пространстве цементируемой скважины // Нефть, газ и нефтехимия. 1980, № 10. – С. 8–17.
5. Фадеев М.В. Методы ликвидации МКД на газовых скважинах / М.В. Фадеев // Геология в развивающемся мире: Материалы VIII научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием, Пермь, 23–26 апреля 2015 года / Ответственный редактор П.А. Белкин. Том 1. – Пермь: Пермский государственный национальный исследовательский университет, 2015. – С. 529–532.

УДК 531.8

## КИНЕМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ КРИВОШИПНО-КОРОМЫСЛОВОГО МЕХАНИЗМА НАСОСНОЙ СТАНЦИИ

**А.Д. Чибизова**

студент, angelinatchibizova@yandex.ru

**Э.И. Кужина**

студент, elmirakuzina64@gmail.com

филиал РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина в г. Оренбурге,

**Ю.Л. Власов**

к.т.н., доцент, ulvlasov@mai.ru

филиал РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина в г. Оренбурге, Россия

**Аннотация:** В статье рассмотрен кривошипно-коромысловый механизм. Данный тип механизмов используется в нефтегазовой промышленности и других отраслях машиностроения. Основное внимание уделяется математическому моделированию движения этих механизмов, а также анализу их кинематических характеристик. Описаны основные принципы работы кривошипно-коромыслового механизма.

**Ключевые слова:** механизм, кривошип, коромысло, кинематика, плоское движение.

## KINEMATIC ANALYSIS OF THE CRANK-ROCKER MECHANISM OF A PUMPINGSTATION

**A. Chibizova**

student, angelinatchibizova@yandex.ru

**E.I. Kuzhina**

student, elmirakuzina64@gmail.com

Orenburg Branch for Gubkin Russian State University of Oil and Gas (RSU), Orenburg,

**Y.L. Vlasov**

Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor

Orenburg Branch for Gubkin Russian State University of Oil and Gas (RSU), Orenburg

**Abstract:** The article discusses the crank-rocker mechanism. This type of mechanism is used in the oil and gas industry and other branches of engineering. The main focus is on the mathematical modeling of the movement of these mechanisms, as well as the analysis of their kinematic and dynamic characteristics. The basic principles of operation of the crank-rocker mechanism, including their designs and functional features, are described.

**Keywords:** mechanism, crank, rocker arm, kinematics, plane movement.

Основным назначением механизмов является выполнение необходимых движений, которые описываются посредством его кинематических характеристик. К ним относятся траектории движения точек и звеньев механизма, координаты точек, перемещения точек и звеньев, их скорости и ускорения. К числу кинематических параметров относятся также и такие, которые не зависят от закона движения ведущего звена, а определяются только строением

механизма, размерами его звеньев и, в общем случае, зависят от положения ведущего звена. Это аналоги скоростей и ускорений или передаточные функции.

По кинематическим характеристикам можно сделать вывод о том, насколько успешно выполнена одна из основных задач проектирования механизма – выбор структурной схемы и определения размеров звеньев.

Знание кинематических характеристик важно также для динамических расчетов.

Существует несколько методов определения кинематических характеристик:

- графические;
- аналитические;
- экспериментальные.

Графические методы расчетов обладают наглядностью и отличаются удобством контроля. Иногда только графические методы дают наиболее простое решение. Точность графических методов 0,3...0,5% (при большом желании) достаточно для решения многих практических задач. Использование компьютерной графики позволяет повысить точность расчётов на порядок. Кинематическое исследование базируется на следствии из принципа Асупа. Рассмотрим механизм, показанный на рисунке 1.

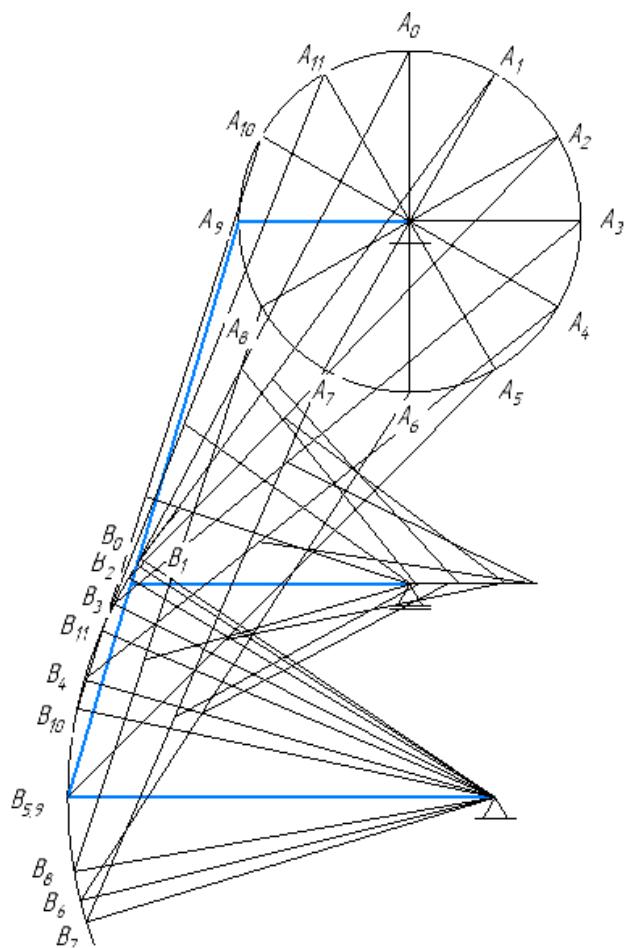


Рисунок 1 – Основные положения механизма

Изобразим план скоростей для точки A<sub>0</sub>, воспользовавшись теоремой с сложении скоростей при плоскопараллельном движении (рисунок 2):

$$\bar{V}_B = \bar{V}_{AO} + \bar{V}_{BA}.$$

$$V_{AO} = \omega_{AO} \cdot AO = 8 \text{ см/с},$$

$$V_{BA} = 6.6 \text{ см/с}.$$

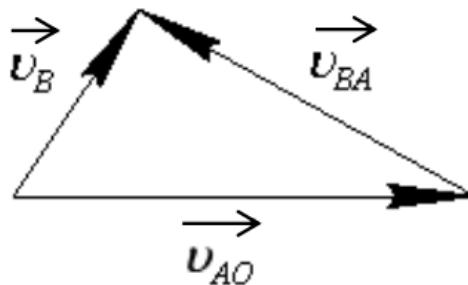


Рисунок 2 – План скоростей для точки B

Построим план ускорений (рисунок 3), применив теоремы о сложении ускорений при плоском движении:

$$\overline{a_B^n} + \overline{a_B^\tau} = \overline{a_A^n} + \overline{a_A^\tau} + \overline{a_{BA}^n} + \overline{a_{BA}^\tau}.$$

Определим четыре ускорения из шести

$$\omega_{BA} = \frac{\nu_{AB}}{AB} = \frac{6,6}{14} = 0,47 \text{ rad/c},$$

$$a_{BA}^n = \omega_{BA}^2 \times AB = 0,47^2 \times 10^{-2} \times 14 = 0,031 \text{ м/c}^2,$$

$$a_B^n = \omega_{BO}^2 \times BO = \left( \frac{\nu_B}{BO} \right)^2 \times BO = \left( \frac{0,02}{0,1} \right)^2 \times 0,1 = 0,004 \text{ м/c}^2,$$

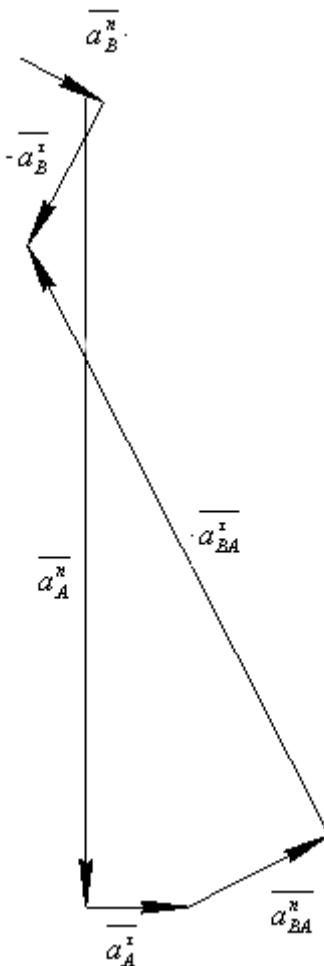
$$a_A^n = \omega_{AO}^2 \times OA = 4 \times 4 \times 10^{-2} = 0,16 \text{ м/c}^2,$$

$$a_A^\tau = \varepsilon_{BA} \times OA = 1 \times 0,02 = 0,02 \text{ м/c}^2.$$

Для построения плана ускорений и его графической интерпретации введем масштабный коэффициент

$$0,1 \text{ м/c}^2 = 8 \text{ см}.$$

План ускорений исследуемого механизма представлен на рисунке 3.



*Рисунок 3 – План ускорений исследуемого механизма*

Данные, полученные при кинематическом анализе, служат основой для последующего динамического анализа, расчета сил и моментов.

Кинематический анализ помогает понять, как механизм движется и как проектировать его для выполнения определенных функций эффективно и безопасно.

#### Библиографический список

1. Кухарь В.Д. Теоретическая механика / В.Д. Кухарь. – М.: – АСВ, – 2016. – 148 с.
2. Васько Н.Г. Теоретическая механика: Учебник / Н.Г. Васько, В.А. Волосухин, А.Н. Кабельков. – Рн/Д: Феникс, 2012. – 302 с.
- 3 Диевский В.А. Теоретическая механика: Учебное пособие / В.А. Диевский. – СПб.: Лань, 2016. – 336 с

УДК 547

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНГИБИТОРОВ ГИДРАТООБРАЗОВАНИЯ НА ПРИМЕРЕ ОРЕНБУРГСКОГО НГКМ

А.Д. Чибизова

студент, angelinatchibizova@yandex.ru

Научный руководитель: А.С. Королев, доцент, korolev.a@gubkin.ru

Филиал РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина в г. Оренбурге, Оренбург

**Аннотация:** Сравнение эффективности метанола и ингибитора Pyrroil Wincryst 205 для предотвращения гидратообразования на Оренбургском НГКМ. Показана экономия 1.4 млн руб./год на скважине.

**Ключевые слова:** гидратообразование, ингибиторы, метанол, Pyrroil Wincryst 205, Оренбургское НГКМ, экономическая эффективность.

## COMPARATIVE ANALYSIS OF THE EFFICIENCY OF HYDRATE FORMATION INHIBITORS USING THE EXAMPLE OF THE ORENBURG OGCF

A.D. Chibizova

student, angelinatchibizova@yandex.ru

Scientific adviser: A.S. Korolev, Associate Professor, korolev.a@gubkin.ru

Orenburg Branch for Gubkin Russian State University of Oil and Gas (RSU), Orenburg

**Abstract:** Comparison of the effectiveness of methanol and the Pyrroil Wincryst 205 inhibitor in preventing hydrate formation at the Orenburg NGCM. The savings of 1.4 million rubles per year on the well are shown.

**Keywords:** hydrate formation, inhibitors, methanol, Pyrroil Wincryst 205, Orenburg NGKM, economic efficiency.

Образование газовых гидратов представляет одну из наиболее значимых технологических проблем в нефтегазовой отрасли, приводящую к существенным экономическим потерям. Формирование гидратных пробок в элементах промысловой инфраструктуры вызывает простой оборудования, требует внеплановые ремонтные работы и, как следствие, значительное снижение добычи. Масштабы ущерба исчисляются миллиардами рублей ежегодно, что определяет актуальность поиска эффективных и экономичных методов предотвращения гидратообразования. Особую остроту проблема приобретает в регионах с сложными климатическими и геологическими условиями, таких как Оренбургский нефтегазоконденсатный комплекс (НГКМ). Низкие температуры в зимний период, характерные для данного региона, в сочетании с высоким пластовым давлением и наличием пластовой воды создают идеальные условия для интенсивного формирования гидратов. Эти кристаллические соединения, стабильные при определенных термобарических условиях, образуются при контакте воды с углеводородными газами и способны полностью блокировать поток в трубопроводах и технологическом оборудовании.

В настоящее время в нефтегазовой отрасли применяются три основных подхода к предотвращению гидратообразования: физические, технологические и химические.

Физические методы, такие как активный подогрев потока или снижение давления, характеризуются высокой энергоемкостью и сложностью технической реализации, особенно на протяженных магистральных трубопроводах и распределительных сетях.

Технологические методы, в частности глубокая осушка газа, требуют значительных капитальных вложений в строительство и эксплуатацию установок комплексной подготовки газа, что зачастую экономически нецелесообразно или технически невозможно на поздних стадиях разработки месторождения.

На этом фоне наибольшее распространение получили химические методы, основанные на вводе в поток реагентов-ингибиторов. Их ключевыми преимуществами являются универсальность применения, гибкость управления дозировками в зависимости от текущих условий и высокая операционная эффективность. Данный анализ фокусируется на сравнительной оценке именно химических методов, что позволяет обоснованно подойти к выбору оптимального ингибитора.

В качестве объектов исследования выступили два реагента: традиционный метанол, выступающий эталонным средством, и современный низкодозированный ингибитор «Pyrroil Wincrust 205», позиционируемый как высокоэффективная и экологичная альтернатива. Экспериментальные работы выполнялись на скважине № 1045-2, где осуществлялся постепенный редукционный переход с начальной дозировкой метанола 500 л/сутки на различные дозы «Pyrroil Wincrust 205» с поэтапным снижением объемов вплоть до 131 л/сутки. Контроль наличия гидратных отложений осуществлялся путем непрерывного мониторинга технологических параметров: перепада давления на участке, температуры потока и дебита скважины.

Проведенный эксперимент наглядно продемонстрировал, что для надежного подавления гидратообразования в условиях Оренбургского НГКМ метанол требуется в объеме 500 литров в сутки на одну скважину. В то же время, современный реагент «Pyrroil Wincrust 205» показал сопоставимую эффективность при дозе 164 л/сутки, что свидетельствует о его трехкратном превосходстве по эффективности. Было установлено, что снижение дозировки до 131 л/сутки приводит к возобновлению образования гидратных пробок, что подтверждает необходимость поддержания оптимальной концентрации.

Экономический расчет (таблица 1) совокупных годовых затрат выявил существенную разницу: использование метанола обходится в 2185 тыс. рублей на скважину, тогда как применение «Pyrroil Wincrust 205» – лишь в 729 тыс. рублей. Экономия в 1,4 млн рублей достигается не только за счет снижения объемов потребления, но и благодаря исключению сопутствующих издержек: затрат на спецхранилища I-II класса опасности, систему регенерации паров, утилизацию токсичных отходов, экологические платежи и борьбу с коррозией оборудования. С точки зрения безопасности метанол представляет постоянный риск для персонала и окружающей среды due to его высокой токсичности и летучести, в то время как новый реагент характеризуется значительно более благоприятным профилем. Кроме того, он не оказывает коррозионного воздействия на трубопроводы и технологическое оборудование, а его логистика и хранение не требуют соблюдения строгих норм опасных производств.

**Таблица 1 – Сравнительная характеристика затрат при использовании метанола и Pyrroil Wincrust за 1 год**

Наименование статьи	Метанол	Pyrroil Wincrust
Количество израсходованного ингибитора за год, т	114,2	12,3
Стоимость 1 т, руб.	15 610,00	39 100,00
Стоимость завоза 1 т, руб.	1 510,00	1 510,00
Стоимость суток обслуживания дозирующего устройства, руб.	632,3	632,3
Общие затраты, тыс. руб.	2185,7	729,1
Экономический эффект 1 456,6 тыс. руб.		

Проведенный эксперимент наглядно продемонстрировал, что для надежного подавления гидратообразования в условиях Оренбургского НГКМ метанол требуется в объеме 500 литров в сутки на одну скважину. В то же время, современный реагент «Pyrroil Wincrust 205» показал сопоставимую эффективность при дозе 164 л/сутки, что свидетельствует о его трехкратном превосходстве по эффективности. Было установлено, что снижение дозировки до 131 л/сутки приводит к возобновлению образования гидратных пробок, что подтверждает необходимость поддержания оптимальной концентрации. Экономический расчет совокупных годовых затрат выявил существенную разницу: использование метанола обходится в 2185 тыс. рублей на скважину, тогда как применение «Pyrroil Wincrust 205» – лишь в 729 тыс. рублей. Экономия в 1,4 млн рублей достигается не только за счет снижения объемов потребления, но и благодаря исключению сопутствующих издержек: затрат на спецхранилища I-II класса опасности, систему регенерации паров, утилизацию токсичных отходов, экологические платежи и борьбу с коррозией оборудования. С точки зрения безопасности метанол представляет постоянный риск для персонала и окружающей среды due to его высокой токсичности и летучести, в то время как новый реагент характеризуется значительно более благоприятным профилем. Кроме того, он не оказывает коррозионного воздействия на трубопроводы и технологическое оборудование, а его логистика и хранение не требуют соблюдения строгих норм опасных производств.

По результатам проведенного исследования можно сделать вывод о безусловном технико-экономическом и экологическом превосходстве низкодозированного ингибитора «Pyrroil Wincrust 205» над традиционным метанолом в условиях Оренбургского НГКМ. Его применение позволяет в три раза снизить объем потребляемого реагента, обеспечивает годовую экономию в размере 1,4 млн рублей на одну скважину и значительно снижает операционные и экологические риски. Срок окупаемости перехода на новый реагент оценивается в 1–2 года. В качестве рекомендаций предлагается приоритетное внедрение «Pyrroil Wincrust 205» на вводимых в эксплуатацию объектах, а также разработка программы постепенной замены метанола на действующих скважинах с высокой вероятностью гидратообразования.

### Библиографический список

1. Бухгалтер Э.Б. Метанол и его использование в газовой промышленности/ Э.Б. Бухгалтер – Недра. – 1986. – 238 с.
2. Запорожец Е.П., Шостак Н.А. Оценка эффективности одно- и многокомпонентных антигидратных реагентов // Записки Горного института. – 2019. – Т. 238. – С. 423–429.
3. Истомин В.А. Предупреждение и ликвидация газовых гидратов в системах сбора и промысловой обработки газа и нефти. – М.: ВНИИЭ газпром, 1990, 214с.
4. Тройникова А.А. Экспериментальные исследования ингибиторов гидратообразования на основе солей хлоридов двухвалентных металлов / А.А. Тройникова, В.А. Истомин и др. // Научно-технический сборник «Вести газовой науки». – 2017. – № 2. – С. 104–109.
5. Дж. Кэрролл. Гидраты природного газа / Пер. с англ. – М.: Издательство «Технопресс», 2007. – 316 с.
6. Бешенцева С.А. Анализ методов предупреждения гидратообразования в трубопроводах // Вестник кибернетики. – 2012. – № 11. – с. 40–44.
7. Кулиев А.М. Влияние солей на взаимную растворимость системы газовый конденсат-метанол-вода / А.М. Кулиев и др. // Газовая промышленность. – 1977. – № 9. – 60 с.

УДК 622.245.428

## ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ ДВУХСТУПЕНЧАТОГО ЦЕМЕНТИРОВАНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ КОЛОННЫ НА ПРИМЕРЕ СКВАЖИНЫ № 222 ЖИЛИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

*А.Д. Чибизова*

студент, angelinatchibizova@yandex.ru

*Э.Г. Халитова*, старший преподаватель, e.khalitova@burgaz.ru

Филиал РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина в г. Оренбурге, Оренбург

**Аннотация:** Разработка оптимизированных технологических решений для двухступенчатого цементирования эксплуатационной колонны на основе анализа фактических данных и программы работ по цементированию скважины № 222 Жилинского месторождения. В статье проведен детальный анализ геолого-технических условий месторождения, выявлены основные факторы, влияющие на качество цементирования, и предложены технические решения по оптимизации процесса.

**Ключевые слова:** двухступенчатое цементирование, эксплуатационная колонна, Жилинское месторождение, тампонажный раствор, качество крепления скважин, оптимизация технологии.

## OPTIMIZATION OF TWO-STAGE CEMENTING TECHNOLOGY FOR PRODUCTION COLUMN USING WELL #222 OF THE ZHILINSKOE FIELD

*A.D. Chibizova*

student, angelinatchibizova@yandex.ru

*E.G. Khalitova*, senior lecturer, e.khalitova@burgaz.ru

Orenburg Branch for Gubkin Russian State University of Oil and Gas (RSU), Orenburg

**Abstract:** Development of optimized technological solutions for two-stage cementing of the production column based on the analysis of actual data and the well 222 cementing program. The article provides a detailed analysis of the geological and technical conditions of the field, identifies the main factors affecting the quality of cementing, and proposes technical solutions for optimizing the process.

**Keywords:** two-stage cementing, production string, Zhilinskoye field, plugging mud, well крепление quality, technology optimization.

Качественное цементирование эксплуатационной колонны (ЭК) является одним из ключевых этапов строительства скважины, определяющим её долговечность, безопасность и эффективность эксплуатации.

На месторождениях со сложными горно-геологическими условиями, к которым относится Жилинское месторождение, обеспечение надёжного изоляционного барьера затруднено из-за аномально низкого пластового давления, рисков газопроявлений, кавернозности ствола и значительных зенитных углов. Несовершенство цементирования приводит к межпластовым перетокам, коррозии колонны, преждевременному обводнению

продукции и экономическим потерям. В этих условиях особое значение приобретает применение оптимизированных технологий, в частности – двухступенчатого цементирования, адаптированного к конкретным условиям скважины.

Скважина № 222 Жилинского месторождения имеет пятиколонную конструкцию: шахтовое направление (0–25 м, Ø530 мм), направление (0–47 м, Ø426 мм), кондуктор (0–250 м, Ø324 мм) и техническая колонна (0–1373 м, Ø245 мм). Эксплуатационная колонна диаметром 168 мм спущена до глубины 2471 м. Особенностью ЭК является использование равнопрочной секции с переменной группой прочности стали (Е-Д-Е) в интервалах 0–400 м, 400–2171 м и 2171–2471 м, что обусловлено изменением нагрузок по стволу. Толщина стенки – 8,9 мм, внутренний диаметр – 150,2 мм.

Скважина пробурена на глубину по вертикали 2394 м при общей длине ствола 2473 м, что свидетельствует о наличии отклонения от вертикали. Максимальный зенитный угол достигает 17,8° в интервале 1931,0–2058,0 м, формируя наклонно-направленный профиль, который создает дополнительные сложности для обеспечения равномерного распределения тампонажного раствора. Важным параметром является коэффициент кавернозности равный 1,10 в интервале открытого ствола (1373–2473 м), что указывает на нестабильность стенок скважины и увеличенный фактический диаметр до 226,4 мм. Последний – требует тщательного расчета объемов материалов и применения турбулизирующих элементов в оснастке.

Ключевым параметром, определяющим выбор плотности технологических жидкостей, является пластовое давление. Его оценка проводилась на основе данных бурения и геофизических исследований. Среднестатистическая температура на забое скважины составляет +35° С, что относится к категории нормальных температур и позволяет применять стандартные тампонажные материалы без риска их преждевременного «схватывания». Однако наличие интервалов с потенциалом газопроявлений обусловило необходимость применения тампонажного раствора с газоблокирующими добавками в нижней части цементируемого интервала (2473–1982 м).

Выбор двухступенчатой технологии для крепления ЭК в скважине № 222 является технически и экономически оправданным решением, продиктованным следующими факторами:

1. Длина цементируемого интервала – более 2400 м. Одноступенчатое цементирование в данной ситуации создало бы чрезмерное давление на пластины в приуставной зоне, что могло привести к их разрыву.

2. Неоднородность условий. Разделение на ступени позволяет использовать разные составы цементных растворов: облегчённый для изоляции слабых пластов и плотный – для продуктивных зон.

3. Повышение качества изоляции. Поэтапное цементирование снижает риск загрязнения тампонажного раствора буровым и обеспечивает лучший контроль параметров, особенно в наклонных участках.

Для цементирования интервала 1982–1363 м, характеризующегося слабыми коллекторами, применяется облегчённый раствор ПЦТ-1Г-СС-1 плотностью 1450–1550 кг/м<sup>3</sup> на основе микросферической фракции. Это позволяет снизить плотность раствора без увеличения водоцементного отношения, предотвращая расслоение и обеспечивая высокую

прочность. Для регулирования реологии и времени схватывания используются диспергаторы RIG DF и ретардеры RIG PF(V).

Нижний интервал (2473–1982 м) цементируется раствором плотностью 1830 кг/м<sup>3</sup> с добавками RIG GB и RIG DRU, обеспечивающими структурную вязкость и подавляющими миграцию газа через незатвердевший цементный камень. Приустьевой интервал (0–1363 м), изолируется расширяющейся смесью РМФТМ-МКП, которая компенсирует усадку и предотвращает микроаннулярные перетоки за счёт контролируемого расширения.

Общий объём первой ступени – 88,1 м<sup>3</sup>: буферные жидкости – 19 м<sup>3</sup>, тампонажные растворы – 22,3 м<sup>3</sup>, продавочная жидкость – 46,8 м<sup>3</sup>. Последовательность закачки обеспечивает чёткое разделение фронтов: сначала буфер, затем облегчённый и плотный тампонажные растворы. Режим продавки – переменный: старт – 20 л/с, снижение до 8–10 л/с при прохождении пробки через пакер ПДМ-168, финиш – 7–8 л/с. Давление «СТОП» – 12,1 МПа, конечное давление продавки – 9,1 МПа, что исключает риск разрыва пласта. Время процесса – 275 мин, не превышающее 75% от времени загустевания раствора, что является критически важным для предотвращения потери подвижности.

Для обеспечения центрирования колонны установлено 69 центраторов и 27 турбулизаторов. В верхних участках центрирование достигает 100%, в наклонных интервалах – 77–86%. Зоны с центрированием около 78% (1100–1370 м) считаются рискованными: возможны каналы с остатками бурового раствора. Пакер ПДМ-168 на глубине 1363 м разделяет ступени, обратные клапаны ЦКОДУ предотвращают обратный поток.

Обобщая вышеприведенную информацию, стоит отметить, что двухступенчатая технология с дифференцированными составами растворов эффективно адаптирована для сложных геолого-технических условий скважины № 222 Жилинского месторождения подтвердил. Ключевыми преимуществами данных решений являются адаптация рецептур растворов к специфике интервалов (облегченный МСФ-раствор для слабых коллекторов, газоблокирующий состав для зон риска) и детальная проработка гидравлического режима.

Выявленные зоны риска, связанные со снижением центрирования колонны в наклонных интервалах и жесткими временными рамками, послужили основой для разработки оптимизационных мер. Приведем некоторые из них:

1. Оптимизация схемы центрирования. В интервалах с центрированием ниже 85% (особенно вокруг точки перегиба ствола) рекомендуется сократить шаг установки пружинных центраторов с 30–50 м до 20–25 м. Это повысит гарантированный процент центрирования до 90% и снизит риск образования каналов.

2. Повышение трещиностойкости цементного камня. Например, внедрение микрофибры или полимерных добавок в состав первой ступени позволит увеличить пластичность и устойчивость к знакопеременным нагрузкам. Данное решение успешно применяется на соседних площадях.

3. Гидравлическое моделирование. Рекомендуется использовать специализированное программное обеспечение (например, CemPRO+™ или WELLCEM™) для более точного прогнозирования давления с учётом реологии многофазного потока и нестационарных условий.

4. Онлайн-мониторинг. Внедрение системы непрерывного контроля плотности и давления с автоматическим документированием позволит оперативно корректировать процесс и повысить надёжность.

Предлагаемые решения – корректировка схемы установки центраторов, внедрение микрофибры для повышения трещиностойкости цементного камня и усиление операционного контроля – носят практический характер и направлены на повышение надежности изоляции. Исследования в данном направлении не окончены.

### **Библиографический список**

1. Программа работ на цементирование скважины № 222 Жилинского месторождения.
2. Опыт применения новых материалов и инновационной технологии цементирования 168-мм эксплуатационной колонны на Харьягинском месторождении / А.В. Самсоненко, С.Л. Симонянц, К.С. Двукраев [и др.] // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2011. – № 5. – С. 31–34. – EDN NTSPSL.
3. Карпунин А.С. Разработка цементировочного устройства для двухсекционного цементирования обсадных колонн / А.С. Карпунин // Современные технологии в науке и образовании – СТНО-2018: Сборник трудов международного научно-технического форума: в 11 томах, Рязань, 28 февраля – 02 2018 года / Под общ. ред. О.В. Миловзорова. Том 6. – Рязань: Рязанский государственный радиотехнический университет, 2018. – С. 197–200. – EDN XVSPJR.
4. Булатов А.И., Проселков Ю.М., Шаманов С.А. Технология и техника бурения нефтяных и газовых скважин. – М.: Нефть и газ, 2003. – 1007 с.
5. Шамилов Ф.Р., Хабибов Р.Г., Ганиев И.Г. Проектирование цементирования обсадных колонн. – Уфа: Изд-во УГНТУ, 2005. – 131 с.

УДК 621.644

## ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАБОТОСПОСОБНОГО СОСТОЯНИЯ ТРУБОПРОВОДОВ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

*Д.Н. Щепинов*

к.т.н., ООО «Газпром добыча Оренбург», d.schepinov@gdo.gazprom.ru

*А.А. Дмитриева*

ООО «Газпром добыча Оренбург», a.dmitrieva@gdo.gazprom.ru

*А.А. Назарова*

ООО «Газпром добыча Оренбург», a.nazarova@gdo.gazprom.ru

**Аннотация:** Статья рассматривает особенности эксплуатации Оренбургского нефтегазоконденсатного месторождения, включая транспортировку газов с высоким содержанием  $CO_2$  и  $H_2S$ . Описываются методы диагностики, мониторинга и ремонта трубопроводов, а также внедрение беспилотных технологий для повышения безопасности и экологической защиты. Особое внимание уделяется системам обнаружения утечек и предотвращения аварийных ситуаций, что обеспечивает долгосрочную надежность транспортной системы.

**Ключевые слова:** нефтегазоконденсатное месторождение, трубопроводы, коррозия, диагностика, беспилотные летательные аппараты, утечки, мониторинг, гидроакустика, инфразвуковая система, подводные переходы, экологическая безопасность

## ENSURING THE FUNCTIONALITY OF PIPELINES DURING LONG-TERM OPERATION

*D.N. Shchepinov*

Ph.D., Gazprom Dobycha Orenburg LLC, d.schepinov@gdo.gazprom.ru

*A.A. Dmitrieva*

Gazprom Dobycha Orenburg LLC, a.dmitrieva@gdo.gazprom.ru

*A.A. Nazarova*

Gazprom Dobycha Orenburg LLC, a.nazarova@gdo.gazprom.ru

**Аннотация:** This article examines the operational aspects of the Orenburg oil and gas condensate field, including the transportation of gases with high  $CO_2$  and  $H_2S$  contents. It describes methods for pipeline diagnostics, monitoring, and repair, as well as the implementation of unmanned technologies to improve safety and environmental protection. Particular attention is paid to leak detection and emergency prevention systems, which ensure the long-term reliability of the transportation system.

**Ключевые слова:** this article examines the operational aspects of the Orenburg oil and gas condensate field, including the transportation of gases with high  $CO_2$  and  $H_2S$  contents. It describes methods for pipeline diagnostics, monitoring, and repair, as well as the implementation of unmanned technologies to improve safety and environmental protection. Particular attention is paid to leak detection and emergency prevention systems, which ensure the long-term reliability of the transportation system.

## **Введение**

Оренбургское нефтегазоконденсатное месторождение (ОНГКМ), эксплуатируемое с 1974 года, является одним из крупнейших в России. На его территории функционируют сложные трубопроводные системы, транспортирующие газ и конденсат, содержащие высокотоксичные компоненты – диоксид углерода ( $\text{CO}_2$ ) и сероводород ( $\text{H}_2\text{S}$ ). Высокие коррозионные свойства продукции и протяженность трубопроводов требуют внедрения современных методов диагностики, мониторинга и ремонта для обеспечения их надежной и безопасной эксплуатации.

Особенность трубопроводов ОНГКМ заключается в том, что они проходят вблизи густонаселенной, экономически развитой местности с наличие водных преград, разветвленной транспортной и энергетической инфраструктурой. При этом срок эксплуатации 82% трубопроводов составляет более 50 лет, при гарантированном сроке эксплуатации 12 лет.

Трубопроводная система ООО «Газпром добыча Оренбург» (Общество), осуществляет транспорт сероводородсодержащего сырья от места добычи до места его переработки и далее транспортирует готовую продукцию потребителям.

Протяженность трубопроводов составляет более четырех тысяч километров с диаметром труб от 219 до 720 мм. Территориально объекты транспорта расположены в Оренбургской, Самарской областях, Республике Башкортостан и Республике Татарстан, поэтому основная задача – это надежная и безопасная эксплуатация трубопроводов. Даже незначительные повреждения и разрушения оборудования на месторождении могут быть сопряжены со значительными экологическими и экономическими последствиями, а в некоторых случаях и с негативным воздействием на людей. В большей степени это относится к возможным авариям, сопровождающимся выбросами в атмосферу газа или загрязнением почвы жидкими углеводородами.

## **Особенности эксплуатации**

На начальном этапе разработки месторождения вплоть до 1980 года подготовка газа к транспорту на УКПГ осуществлялась путем его сепарации и осушки по методу низкотемпературной сепарации. За счет «дроффель-эффекта» обеспечивалась степень осушки газа до относительной влажности менее 60%.

В настоящее время месторождение находится в режиме падающей добычи, низкие пластовые давления скважин и текущая подготовка газа методом механической сепарации, приводят к транспортировке сырого газа с влажностью до 100%, т. е. до появления в трубопроводах свободной жидкости.

В таких условиях безопасная эксплуатация трубопроводов осуществляется при выполнении мероприятий по эффективному ингибирированию коррозии. Ингибирирование проводится 1 раз в квартал всех участков трубопроводов путем нанесения 4%-ого ингибиторного раствора на внутреннюю поверхность поршневым, аэрозольным и гидродинамическим методами.

При проектировании производственных объектов, обустройстве и разработке ОНГКМ были заложены основы безопасных методов и технологий, строительства и эксплуатации объектов добычи и транспорта. Впервые введены специальные технические условия на поставку труб для эксплуатации в среде влажного сероводородсодержащего газа. Технические условия содержали ограничения по содержанию серы и фосфора и обязывали проводить испытания образцов труб на стойкость металла и сварных швов труб против сероводородного растрескивания под напряжением.

Считалось, что гарантированное исходное качество изделий обеспечивает надежную и безопасную эксплуатацию поэтому на начальном этапе контроль технического состояния оборудования и трубопроводов не был комплексным и сводился в основном к наружному и внутреннему осмотру, замерам остаточных толщин стенок в отдельных точках, считавшихся мерами наибольшего коррозионного воздействия (ультразвуковой контроль, визуально-измерительный контроль, цветная дефектоскопия, водородные зонды и другие).

Как показал опыт, такой подход оказался малоэффективным. С развитием микропроцессорной техники и высоких технологий на ОНГКМ начали использовать новое поколение диагностических средств линейной части трубопроводов.

### **Диагностирование и мониторинг**

Наиболее эффективным методом диагностики трубопроводов на сегодня остается внутритрубная дефектоскопия (ВТД). Для проведения ВТД применяют два основных метода – ультразвуковой и магнитный. Для определения дефектов геометрии и привязке трубопровода к системе координат GPS применяется многоканальный профилемер.

Несмотря на отдельные проблемы, возникающие при проведении ВТД, этот метод диагностики имеет ряд несомненных преимуществ перед альтернативными методами:

- высокая производительность при нормальном режиме эксплуатации трубопровода;
- возможность определения опасности дефектов на основе расчетов дефектных участков на прочность и долговечность;
- возможность определения скорости коррозии;
- высокая разрешающая способность дефектоскопов дает возможность обнаружить не только критические, но и потенциально опасные дефекты.

Периодичность ВТД на трубопроводах ОНГКМ составляет 1 раз в 5 лет.

На смену традиционным способам мониторинга линейной части трубопроводов приходят беспилотные летательные аппараты (БПЛА). Принимая во внимание преимущества беспилотного патрулирования опасных производственных объектов с 2019 года в Обществе проведена поэтапная замена вертолетного патрулирования на БПЛА и с 2020 года воздушное патрулирование линейной части трубопроводов проводится на постоянной основе с привлечением специализированных организаций, что позволило сократить расходы на полеты практически в три раза.

Функциональное применение БПЛА в рамках Общества следующее:

- патрулирование протяженных объектов с целью сокращения времени обходов;
- оценка технического состояния трубопроводов, поиск утечек, разливов, несанкционированных врезок для обеспечения непрерывной и надежной работы объектов;
- инвентаризация объектов инфраструктуры, уточнение границ охранной зоны и зоны минимальных расстояний;
- контроль за выполнением ремонтных работ на объекте;
- оперативный контроль состояния объектов Общества;
- создание ортофотопланов;
- экологический мониторинг.

В настоящее время в ООО «Газпром добыча Оренбург» действуют два направления: воздушное патрулирование трасс БПЛА самолетного типа и использование квадрокоптеров для решения оперативных задач, таких как, обследование объектов в особо опасные периоды (рис. 1).



*Рисунок 1 – Обследование воздушных переходов в паводковый период с применением БПЛА*

В перспективе развития технологии беспилотного патрулирования – создание в ООО «Газпром добыча Оренбург» собственного центра по организации полетов с использованием БПЛА, для этого уже проведено обучение работников по специальности внешний пилот воздушного судна.

Существенным повышением степени аварийной защиты линейной части трубопроводов, прежде всего за счёт своевременного выявления предаварийных и аварийных ситуаций путём дистанционного отключения аварийных участков является инфразвуковая система мониторинга трубопроводов (ИСМТ).

Принцип работы системы состоит в используемом методе регистрации инфразвуковых колебаний. Такие колебания формируются утечкой и распространяются внутри трубопровода с жидкими продуктами на расстояние до нескольких сотен километров. Благодаря слабому затуханию инфразвука система обнаруживает утечки из трубопровода на значительном удалении от места регистрации и с низкой интенсивностью.

ИСМТ обеспечивает:

- локацию внутритрубных устройств;
- регистрацию механических воздействий;
- измерение давления;
- обнаружение утечек, в том числе через отводы с малым диаметром и большой протяжённостью.

Отличительной особенностью трубопроводов, как источника опасности, является то, что возникновение аварии может произойти в любой точке протяженного участка. При этом повышенной опасностью обладают переходы через водные преграды, так как в случае возникновения на них аварийной ситуации экологический ущерб значительно выше, по сравнению с другими участками.

### **Обследование подводных переходов**

Для оценки технического состояния подводных переходов проводятся диагностические работы с применением ультразвуковых и магнитных дефектоскопов и инструментальному обследованию подводных переходов. Инструментальное обследование включает гидролокацию бокового обзора; сейсмоакустическое профилирование; электрометрию.

Данный подход позволяет с достаточной точностью совместить результаты обследований и провести комплексный анализ для оценки технического состояния подводных переходов. Так по результатам инструментального обследования, технический коридор располагается в зоне активных руслообразовательных процессов, где происходит, размыв дюкеров с образованием оголенных участков.

Зная точную привязку дефектов металла труб на водных переходах, выявленных при проведении внутритрубной дефектоскопии, проводится совмещение результатов и их анализ на предмет нахождения дефектов на провисах (размывах) с последующей оценкой напряженного состояния трубопроводов и его технического состояния.

На основании результатов приборного обследования подводных переходов проводятся ремонтные работы с использованием универсальных гибких защитных бетонных матов (рис. 2). Данный метод ремонта подводных переходов трубопроводов позволяет сократить затраты по сравнению с другими способами ремонта, уменьшить сроки проведения ремонтных работ и провести работы без остановки действующих трубопроводов.

*a)**б)*

*Рисунок – 2. Ремонтные работы подводного перехода трубопровода:*

*а – ремонт гибкими бетонными матами;*

*б – отремонтированный участок подводного перехода трубопровода*

### **Предупреждение чрезвычайных ситуаций**

Особое внимание уделяется организационным мероприятиям по предупреждению чрезвычайных ситуаций. Мероприятия организуются и проводятся в соответствии с планами работ и в соответствии с целевой программой обеспечения безопасной эксплуатации трубопроводного транспорта на территории Республики Башкортостан.

Сегодня в подразделениях ООО «Газпром добыча Оренбург» сформирована систему предупреждения, ликвидации аварий и чрезвычайных ситуаций и как любая система имеет координационный орган управления (комиссия по чрезвычайным ситуациям – КЧС), орган повседневного управления (производственно-диспетчерская служба – ПДС), силы и средства, систему связи, оповещения, информационного обеспечения, резервы материальных ресурсов.

Главными задачами такой системы являются:

- координация, управление силами, средствами, материальными ресурсами при ликвидации аварий и чрезвычайных ситуациях;
- подготовка сил и средств к защите работников, населения и материальных ценностей Общества в чрезвычайных ситуациях;

- дальнейшее повышение уровня обученности руководящего состава всех уровней по вопросам предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций;
- совершенствование нормативной базы.

Ежегодно два раза в год (зима-лето) проводятся широкомасштабные учения по ликвидации условных разливов жидких углеводородов (рис. 3).



a)



б)

Рисунок 3 – Установка боновых заграждений на зимних и летних учениях

### Заключение

Следует отметить, что в Обществе принимается достаточно мер, необходимых для соблюдения экологических требований при эксплуатации объектов добычи и транспортировки углеводородного сырья.

Применение комплексного подхода и интеграция беспилотных технологий в систему управления промышленной и экологической безопасности позволяет обеспечить стабильную экологическую обстановку в населенных пунктах, минимизировать риски развития экологических аварий и проводить оперативный контроль за состоянием объектов.

Основываясь на результатах систематического диагностирования, коррозионного мониторинга и расчетов остаточного ресурса работоспособное состояние трубопроводов прогнозируется на длительную перспективу.

### Библиографический список

1. Иванов С.И., Кушнаренко В.М. и др. Обеспечение безопасной эксплуатации трубопроводов, транспортирующих сероводородсодержащие среды. – М.: Недра. – 2006. – 214 с.
2. Баэр А.А., Кушнаренко В.М. и др. Надежность трубопроводов, транспортирующих сероводородсодержащие нефтегазовые среды.: «ОренПечать», – 2018. – С. 506.
3. Швец А.В., Щепинов Д.Н. Контроль технического состояния трубопроводов, отработавших нормативный срок эксплуатации // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – 2008. – № 9. – С. 81–83.
4. Резвых А.И., Курякова Т.А. и др. Обследование и ремонт переходов трубопроводов через малые реки // Сборник научных трудов РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина. – 2015. – С. 65–69.
5. Погожев О.А., Дмитриева А.А., Назарова А.А. Применение беспилотных летательных аппаратов для мониторинга объектов. Статья журнала «Экология производства». Выпуск № 4. – 2025.

УДК 681.5

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПНЕВМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ С ИСКРОБЕЗОПАСНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

**В.П. Щукин**

студент, jabaaga833@gmail.com

Научный руководитель: **А.В. Дудко**, к.п.н., доцент, dudko1111@mail.ru  
Филиал РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина в г. Оренбурге, Оренбург

**Аннотация:** Данная статья посвящена сравнительному анализу пневматических и электрических систем управления, используемых в производственных процессах. В работе подробно рассматриваются преимущества и недостатки пневматических систем и современных электрических систем управления. По итогу работы, в результате проведенного анализа сравнения двух видов систем, сделан вывод о преимуществе использования электрических систем в современном производстве.

**Ключевые слова:** пневматическая система управления, электрическая система управления.

## COMPARATIVE ANALYSIS OF A PNEUMATIC CONTROL SYSTEM WITH AN INTRINSICALLY SAFE ELECTRIC CONTROL SYSTEM

**V.P. Shchukin**

student, jabaaga833@gmail.com

Scientific adviser: **A. V. Dudko**, Ph.D. Associate Professor, dudko1111@mail.ru  
Orenburg Branch for Gubkin Russian State University of Oil and Gas (RSU), Orenburg

**Abstract:** This article provides a comparative analysis of pneumatic and electric control systems used in manufacturing processes. The advantages and disadvantages of pneumatic systems and modern electric control systems are examined in detail. Based on the comparative analysis of the two systems, the conclusion is drawn that electric systems are superior in modern manufacturing.

**Keywords:** pneumatic control system, electric control system.

Первой автоматической системой управления была система регулирования скорости пара в 1775 году. В связи с индустриализацией в начале XX века произошел настоящий прорыв в технологиях применения пневматических устройств в целях создания автоматизированных систем управления производства.

Пневматическая система управления (далее по тексту ПСУ) представляет собой систему управления, в которой **в качестве рабочей среды используется сжатый воздух** для управления автоматизированной системой.

Компонентами данных систем являются:

- **компрессоры** – используются для создания необходимого давления в системе;
- **трубопроводы** – каналы, которые связываются между собой первичные (полевые) приборы со вторичными приборами;

- **регуляторы давления** – приборы необходимые в системе для поддержания рабочего давления;
- **фильтры** – часть систем, необходимая для отчистки и осушки воздуха в системе управления;
- **арматура** – клапаны, вентили и другие запорные устройства необходимые для управления воздухом в системе;
- **датчики** – это часть пневматической системы необходимая для контроля технологического процесса производства;
- **устройства безопасности** – устройства необходимые для защиты пневматических систем от перегрузок, утечек давления и прочих аварийных ситуаций.

Несмотря на прорыв в развитии технологических процессов за последнее столетие на современных автоматизированных производствах и в настоящее время используется пневмоавтоматика, использование которой имеет, как и положительные, так и отрицательные моменты для производства. Рассмотрим подробнее «плюсы» и «минусы» применения пневматических систем в автоматизации производственных процессов.

**Преимущества применения ПСУ:**

- **безопасность** – для работы пневмосистемы и исполнительных механизмов электричество требуется только для компрессора, что исключает искрообразование при запуске и функционировании оборудования;
- **устойчивость** – нечувствительность к радиационным помехам, электромагнитным помехам, вибрациям.

**Недостатки применения ПСУ:**

- **ненадежность** – при установке пневмосистемы на улице на воздуховод оказывается весь спектр внешнего воздействия, начиная от климата, заканчивая содержанием в окружающем воздухе агрессивных компонентов;
- **низкая ремонтопригодность** – при повреждении воздуховода необходимо найти место утечки воздуха из системы, что в условиях крупных производств бывает довольно трудозатратно;
- **необходимость дополнительной подготовки сжатого воздуха** – обычный воздух «с улицы» в пневмосистему нагнетать нельзя по причине возникновения опасности быстрого износа пневмоустройства из-за наличия в нем твёрдых включений и конденсата воды;
- **низкое качество «быстrodействия» и «дальнодействия»** – в связи с высокой сжимаемостью воздуха у пневмосистемы существует высокая задержка между подачей сигнала на исполнительное устройство и отображение изменений на мнемосхеме, как следствие при масштабировании размеров системы управления уменьшается скорость быстrodействия системы.
- **организация процесса хранение архива системы** – на пневматических системах управления архив данных сохраняется на бумажных ленточных либо круговых носителях, что естественно не приемлемо на современных производствах требующих сохранения всех данных технологических процессов если не на сервере, то хотя бы на твердотельном носителе.

Анализ «плюсов» и «минусов» применения пневмосистем в автоматизации технологических процессов на производствах нашего времени заставляет задуматься о рассмотрении альтернативных вариантах, для оптимизации процессов связанных с улучшения производительности системы и быстрым устранение возникающих проблем, так как с развитием технологического процесса – в связи с распространением полупроводников, появились более удобные системы автоматизации.

В качестве альтернативы рассмотрим – электрическую систему управления (далее по тексту ЭСУ) работа которой основана на использовании электрической энергии для передачи информации и управления движением исполнительных органов.

ЭСУ это комплекс технических и программных средств, предназначенных для автоматизации управления производственными процессами на предприятиях. Такие системы включают оборудование (датчики, контроллеры, исполнительные механизмы) и специализированное программное обеспечение, которое обеспечивает мониторинг, управление и анализ данных в реальном времени.

***Преимущества применения ЭСУ:***

– **высокая точность управления** – электрические системы управления обладают высокой точностью и позволяют достигать более точного контроля и регулирования движения механизмов;

– **низкие эксплуатационные затраты** – электрические системы управления обладают более низкими эксплуатационными затратами по сравнению с пневматическими системами. Они не требуют подготовки воздуха и поддержания давления в системе, как в пневматических системах, что позволяет сократить затраты на обслуживание компрессоров;

– **увеличение срока службы исполнительных механизмов (надежность)** – благодаря современным программным контроллерам и реле исполнительные механизмы меньше подвергаются износу и оборудование практически не доводится до критического состояния;

– **быстро действие и дальнодействие** – современные ЭСУ позволяют очень гибко настраивать скорость и дальность передачи данных благодаря широкому выбору передаваемого сигнала, начиная от уже устаревшего унифицированного сигнала RS232 с расстоянием передачи 15 метров, заканчивая современными одномодовыми оптико-волоконными системами с расстоянием передачи более 500 километров без ретрансляторов

– **организация процесса хранение архива системы** – благодаря современным решениям в области автоматизации отпадает необходимость в содержании отдельного помещения под компрессор, а вся логика управления производством занимает всего один металлический шкаф в углу операторской.

– **гибкость** – благодаря широкому распространению стандартизации в современных системах управления существует возможность разработки системы управления под нужды конкретного заказчика.

**Недостатки применения ЭСУ** связаны с необходимостью ограничивать электрическую энергию в электрооборудовании и соединительной проводке, данные элементы системы подвергаются воздействию потенциально взрывоопасной атмосферы, вызывающего воспламенение от искрения или нагрева, вследствие чего есть ограничения в требованиях к элементам электрооборудования, в конструкции систем и в особенностях эксплуатации, что в следствии чего при необходимости существует возможность дооборудования системы управления искробезопасными барьерами.

Для наглядности приведенной информации по всем «за» и «против» применения пневматической или электрической систем управления на производстве попробуем свести полученные данные в таблицу 1.

**Таблица 1 – Сравнительный анализ ПСУ и ЭСУ**

ПСУ		ЭСУ	
«+»	«-»	«+»	«-»
безопасность	ненадежность	высокая точность управления	небезопасность
устойчивость	низкая ремонтопригодность	низкие эксплуатационные затраты	–
–	необходимость дополнительной подготовки сжатого воздуха	увеличение срока службы исполнительных механизмов (надежность)	–
–	низкое быстродействие и дальнодействие	Быстродействие и дальнодействие	–
–	организация процесса хранение архива системы	организация процесса хранение архива системы	–
–	–	гибкость	–

Проведенный анализ наглядно показал преимущество использования электрических систем на современных производствах, а фактор, определяющий «-», предполагает рассмотреть варианты применения **современных искробезопасных электрических систем управления**.

#### **Библиографический список**

1. Донской А.С. Основы пневмоавтоматики: Учеб. пособие. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2016. – 77 с.
2. Технические средства автоматизации (пневмоавтоматика) // <https://odinelectric.ru/industry-automation/pneumoavtomatika?ysclid=mfb2qpitt527579049> (информация на момент написания статьи 30.08.2025).
3. Сравнение гидравлических и электрических систем управления // <https://psm-st.com/blog/sravnenie-gidravlicheskikh-i-elektricheskikh-sistem-upravleniya/> (информация на момент написания статьи 30.08.2025).

УДК 665.77 + 544.72

## ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ СОРБЕНТА, ПОЛУЧЕННОГО ИЗ НЕФТИНОГО КОКСА И ОТХОДОВ ПОЛИЭТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТА

*Д.С. Юхно*

аспирант, d.yukhno@pdu.by

Научный руководитель: *А.А. Ермак*, к.т.н., доцент, a.ermak@psu.by

Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой,  
Новополоцк, Беларусь

**Аннотация:** Изучение свойств углеродного сорбента, полученного путем совместной термообработки нефтяного кокса и отходов ПЭТФ (25–30%). Оценка эффективности сорбента для очистки растворов метилдиэтаноламина.

**Ключевые слова:** нефтяной кокс, полиэтилентерефталат, активация, адсорбент, ИК-спектрометрия, метилдиэтаноламин.

## INVESTIGATION OF THE PROPERTIES OF A SORBENT OBTAINED BY PETROLEUM COKE AND WASTE OF POLYETHYLENE TEREPHTHALATE

*D.S. Yukhno*

Ph.D. student, d.yukhno@pdu.by

Scientific adviser: *A.A. Yermak*, Ph.D. in engineering, Associate Professor, a.ermak@psu.by  
Euphrosyne Polotskaya State University of Polotsk, Novopolotsk, Belarus

**Abstract:** Investigation of the properties of a carbon sorbent obtained by co-thermal processing of petroleum coke and waste of PET (25–30%). Evaluation of the sorbent's effectiveness for purifying methyldiethanolamine solutions.

**Keywords:** Petroleum coke; Polyethylene terephthalate; Activation; Adsorbent; IR spectroscopy; Methyldiethanolamine.

Поиск путей рационального использования сернистого нефтяного кокса и получение из него продуктов с высокой добавленной стоимостью в настоящее время является актуальной задачей. Одними из таких продуктов могут быть сорбенты различного назначения.

Процесс получения активированных углей из нефтяного кокса сводится к его частичной декарбонизации с выделением газообразных продуктов при условиях реакции. Известно, что уже существуют технологии получения углеродных сорбентов из нефтяного кокса методами парогазовой [1–3] и химической [4–7] активации. В качестве активирующих агентов при химической активации могут применяться различные кислоты, щелочи и соли [4], способные вступать в окислительно-восстановительные реакции с углеродом кокса. Однако благодаря особенностям структуры и химическому составу нефтяного кокса помимо вышеуказанных способов активации для получения сорбентов специального назначения с заданной селективностью и уникальными свойствами могут быть использованы и другие способы активации.

Так, одним из крупнотоннажных полимерных отходов является полиэтилентерефталат (ПЭТФ). Он является весьма стойким полимером и его разложение в естественных условиях

протекает крайне медленно. В связи с этим поиск путей переработки и утилизации отходов полиэтилентерефталата также является актуальной задачей [8].

Целью проведенных исследований являлось разработка технологии получения адсорбентов технического назначения на основе кокса процесса замедленного коксования нефтяных остатков и отходов полиэтилентерефталата и оценка влияния температуры термообработки на свойства получаемого сорбента.

В эксперименте использовался нефтяной кокс процесса замедленного коксования нефтяных остатков с содержанием летучих веществ 8,5% масс. и содержанием серы 4,1% масс. Исходный измельченный нефтяной кокс (с размером частиц менее 100 мкм) смешивался до однородной массы с отходами ПЭТФ при их содержании в смеси 25–30% масс. при температуре плавления ПЭТФ, что составляет  $260^{\circ}\text{C} \pm 30^{\circ}\text{C}$ , с последующей горячей грануляцией смеси методом экструзии, и затем полученные гранулы подвергались термообработке в трубчатой печи при температуре 370–600° С при продувке азотом, в среднем, в течение 30 минут. Для приготовления образца сравнения измельченный нефтяной кокс в закрытой емкости смешивался с водой, взятой в количестве 10% от массы кокса. Полученная смесь выдерживалась при температуре 900° С 2 часа с подачей воздуха до обогара 30–45%.

Нижний предел содержания отходов ПЭТФ в смеси 25% масс связан с тем, что при меньшем содержании отходов ПЭТФ гранулы при термообработке рассыпаются. Верхний предел содержания отходов ПЭТФ в смеси 30% масс. связан с тем, что при большем содержании ПЭТФ гранулы при термообработке спекаются.

Нижний предел температуры термообработки определяется началом выделения продуктов термодеструкции активируемых образцов. Верхний предел температуры термообработки связан с разрушением гранул образца.

Затем для полученных образцов определяли адсорбционные характеристики. Удельная площадь поверхности по методу БЭТ определялась путем низкотемпературной адсорбции азота при 77 К на приборе BELSORP MAX производства компании MicrotracBEL Corp. (Япония). Адсорбционная активность по индикатору метиленовому голубому в миллиграммах на грамм сорбента определялась по ГОСТ 4453-74 п. 4.4.

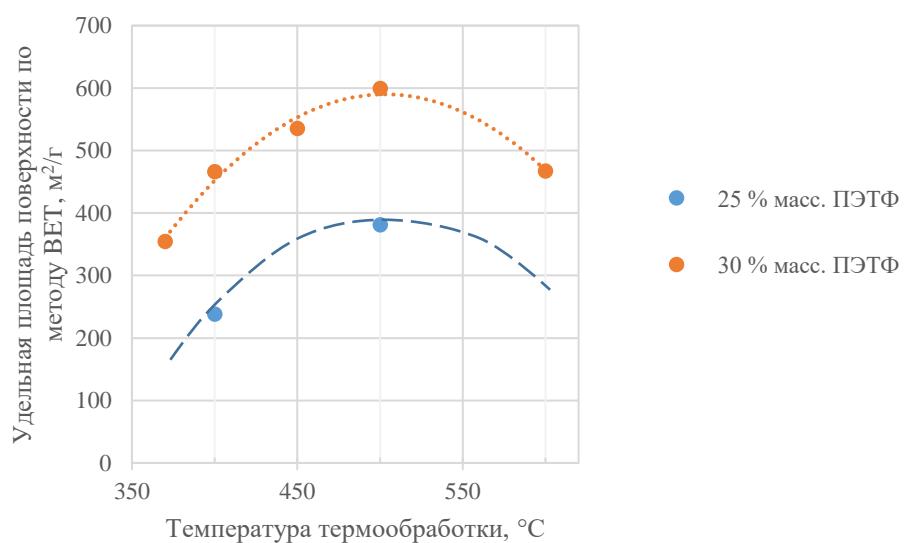


Рисунок 1 – Зависимость поверхности образцов от температуры термообработки

Присутствие ПЭТФ при термообработке кокса приводит к увеличению объёма адсорбированного азота на грамм исследуемого образца. При этом увеличивается удельная площадь поверхности (см. рисунок 1) и суммарный объём пор образцов [9].

Повышение температуры термообработки образцов приводит к увеличению их удельной площади поверхности. Дальнейшее повышение температуры термообработки выше 500° С, наоборот, приводит к снижению удельной площади поверхности образцов. Повышение содержания ПЭТФ в образцах с 25% масс. до 30% масс. позволяет при термообработке увеличить их удельную поверхность примерно на 200 м<sup>2</sup>/г. С увеличением содержания ПЭТФ в образцах и увеличением температуры термообработки количество получаемого сорбента снижается.

Результаты проведенных исследований показывают, что, как с точки зрения удельной площади поверхности, так и с точки зрения выхода образцов, наиболее оптимальными параметрами являются содержания ПЭТФ в образцах 30% масс. и температура термообработки в пределах 490–510° С.

Средний диаметр пор, определенный по методу BET, при не изменяется при различных условиях термообработки образцов при их различном составе. Характеристическая энергия адсорбции азота, определенная по методу Дубинина-Астахова, у образцов кокса с ПЭТФ также выше, чем у образца-сравнения (активированный образец из кокса, пропитанного водой).

Для анализа распределения пор по размерам был использован метод компьютерного моделирования GCMC (Grand Canonical Monte Carlo method), в котором точно решается строгая молекулярно-уровневая модель адсорбции, основанная на выбранной модели формы пор [10–12]. В данном методе в графитизированных углеродных материалах путем анализа изотерм адсорбции азота при 77 К возможно проводить оценку распределения пор щелевидной и цилиндрической форм во всем диапазоне размеров от микро- до макропор.

При использовании метода GCMC установлено, что в исследуемых образцах присутствуют микро- и мезопоры цилиндрической и щелевидной форм.

Распределение пор цилиндрической и щелевидной форм в исследуемых образцах и влияние добавки ПЭТФ на изменение распределение пор в образцах представлено на рисунках 2 и 3.

При добавлении ПЭТФ к нефтяному коксу суммарный объем в нем пор щелевидной и цилиндрической форм увеличивается минимум в 1,6 и 1,5 раза соответственно. При этом наибольшее изменение объема приходится на микропоры щелевидной формы и мезопоры цилиндрической формы – минимум в 1,8 раз. Объем мезопор щелевидной формы увеличивается на минимум 22,9%, а микропор цилиндрической формы – на минимум 33,5%. Однако, основной вклад в увеличение объема вносят микропоры щелевидной формы (см. рисунок 2), а также микро- и мезопоры цилиндрической формы с преобладанием доли микропор (см. рисунок 3). Аналогичные тенденции наблюдаются и в изменениях удельной площади поверхности пор. Макропор в исследуемых образцах не обнаружено.

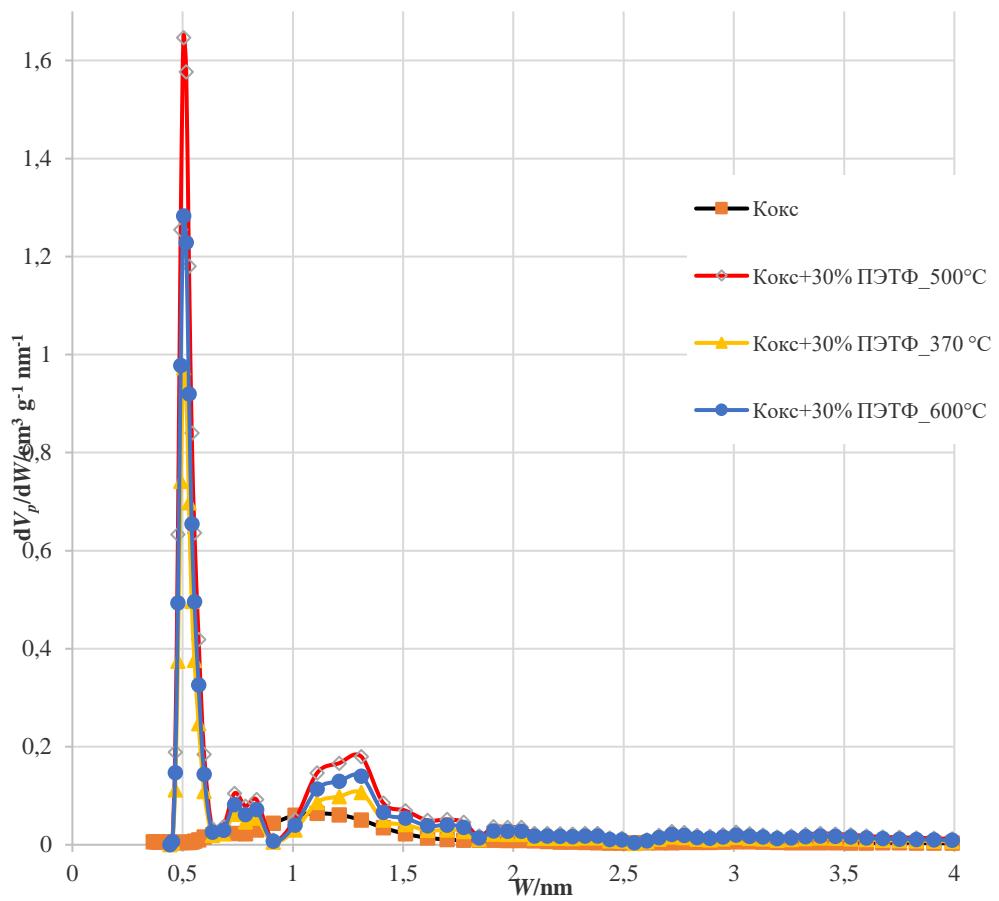


Рисунок 2 – Распределение пор щелевидной формы ( $N_2$ )

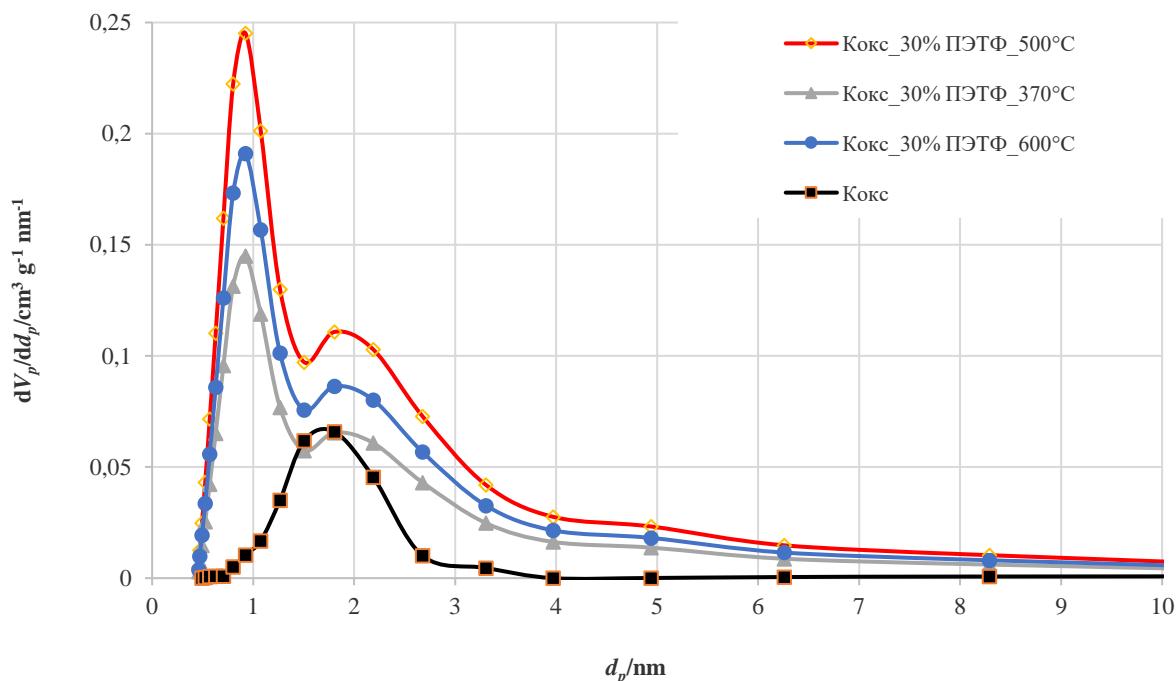
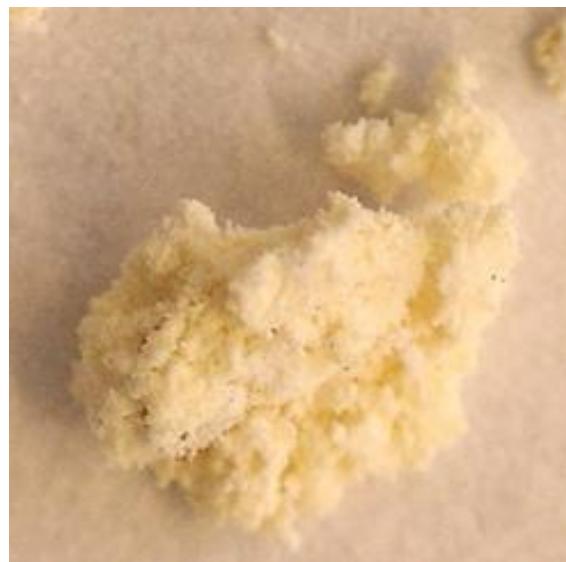


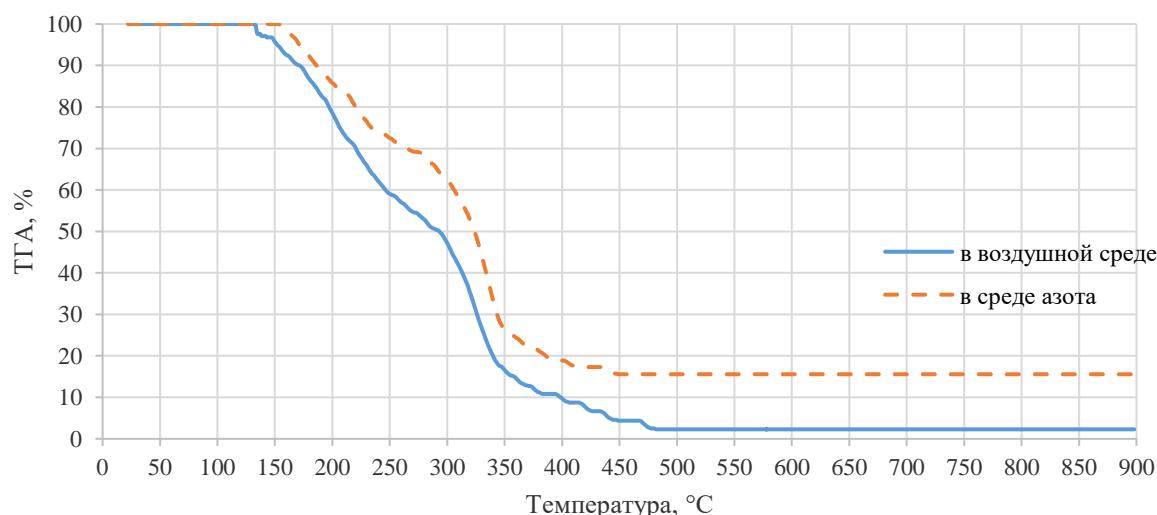
Рисунок 3 – Распределение пор цилиндрической формы ( $N_2$ )

В ходе термообработки образцов наблюдалось выделение из зоны реакции белого дыма с последующим охлаждением на воздухе и десублимацией (депозицией) в белый порошок, который быстро приобретал желтый оттенок и имел ванильный запах (см. рисунок 4). Данный порошок был подвергнут анализу.



*Рисунок 4 – Образующийся при активации порошок*

Проведенный термогравиметрический анализ полученного порошка показал, что кривые изменения массы (ТГА) и дифференциальной термогравиметрии (ДТГ) при испытаниях в воздушной и инертной (азот) средах практически идентичны (см. рисунки 5–6). Это свидетельствует о том, что процессы разложения происходят одинаково независимо от наличия кислорода, что характерно для термического разложения, т. е. материал распадается под действием температуры по одним и тем же механизмам и в те же температурные интервалы как в азоте, так и на воздухе. Т. е. продукты термодеструкции ПЭТФ с повышением температуры подвергаются не окислению, а разложению.



*Рисунок 5 – Кривые изменения массы (ТГА) порошка*

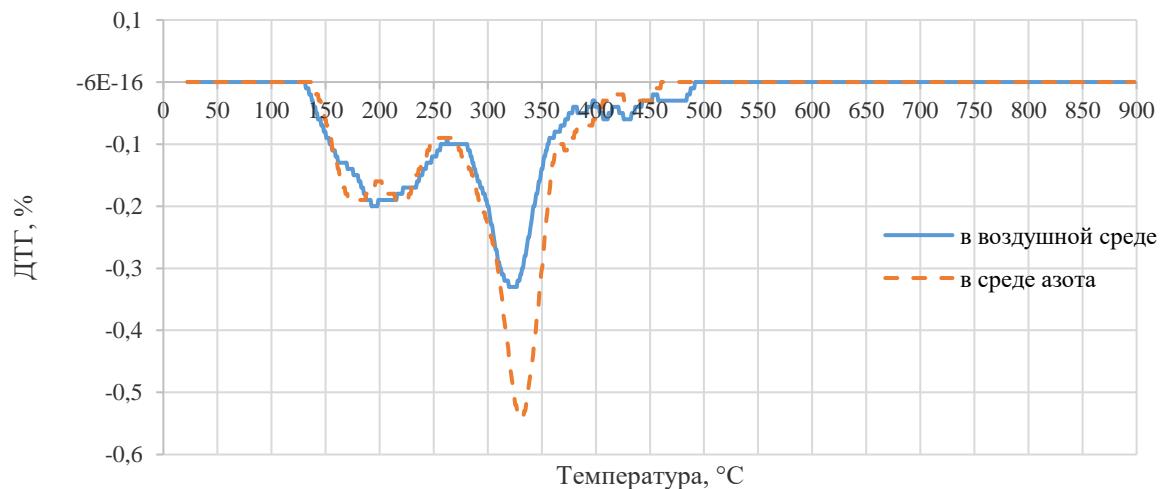


Рисунок 6 – Дифференциальная термогравиметрия (ДТГ) порошка

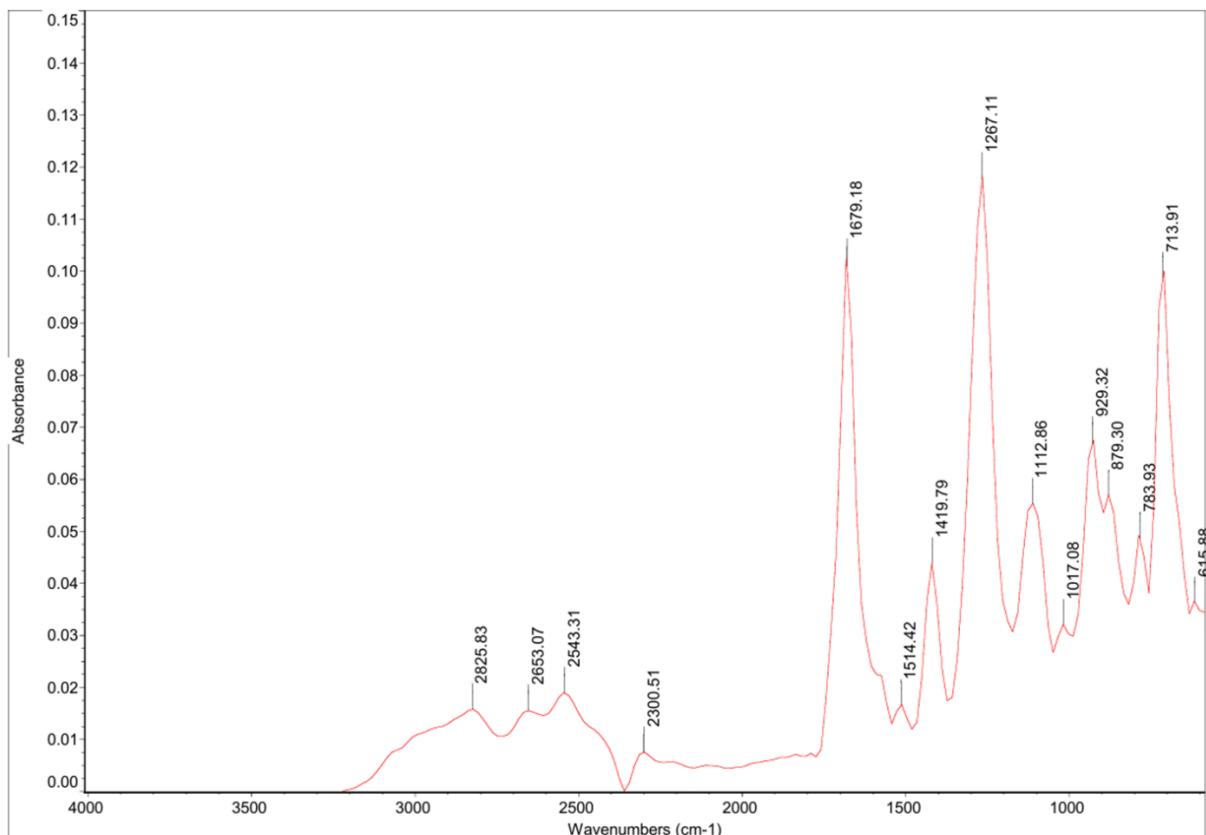


Рисунок 7 – ИК-Фурье спектрометрия порошка

На основе анализа ИК-спектра [9] можно предположить, что в составе порошка преобладает бензойная кислота. При этом также возможно присутствие следов ванилиноподобных структур, но также запах может являться и следом сложной смеси, например, бензальдегидов, суммарно создающих иллюзию «ванили». При этом, также возможно присутствие бензохинонов, которые в сочетании с указанными выше веществами сложной смеси могут придавать желтый оттенок полученному порошку.

Последующие исследования [9] образцов термообработанного углеродного материала показали, что формованный активированный с ПЭТФ нефтяной кокс может быть использован в качестве адсорбента при очистке раствора метилдиэтаноламина (МДЭА). Так, для полученного сорбента были проведены исследования по изучению процесса очистки циркулирующего раствора МДЭА процесса аминовой очистки газов. Для продления срока эксплуатации амина, снижения коррозионного воздействия и вспениваемости растворы МДЭА нуждаются в тщательной фильтрации на системе из трех последовательных фильтров, где основным является фильтр, заполненный активированным углем. Для исследований по очистке был взят образец регенерированного раствора МДЭА (после колонны регенерации амина), который по технологической схеме далее должен направляться в систему фильтрации. В качестве оценки эффективности фильтрации – изменения состояния раствора МДЭА после фильтрации, было выбрано изменение оптической плотности раствора, которая отражает степень прозрачности жидкости для световых лучей.

Так, при пропускании регенерированного раствора МДЭА через образцы активированного углеродного материала на основе смеси нефтяного кокса и ПЭТФ, оптическая плотность фильтрата при увеличении кратности раствора МДЭА к активированному коксу вначале снижается, а затем по мере насыщения адсорбента растет в направлении исходных значений.

Совместная активация нефтяного кокса с ПЭТФ позволяет относительно образца сравнения получить сорбент, эффективность которого зависит от содержания ПЭТФ в смеси и условий проведения термообработки. Полученный сорбент может быть использован для очистки циркулирующего раствора МДЭА (или другого амина) процесса аминовой очистки газов.

### **Библиографический список**

1. Юхно Д.С. Комплексная переработка высокосернистого нефтяного кокса / Д.С. Юхно, А.А. Ермак // Актуальные проблемы теории и практики гетерогенных катализаторов и адсорбентов: материалы V всероссийской науч. конф., г. Иваново, 30 июня – 2 июля 2021. – Иваново: ФГБОУ ВО Иван. гос. хим.-технол. ун-т., 2021. – с. 198–201.
2. Тагиров, М.А. Технология получения активированного углеродного материала на основе нефтяного кокса: специальность 05.17.07 «Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ»: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Тагиров Марат Анварович; Уфа, 2014. – 110 с.
3. Заявка 2011120526 Россия, МПК C10B 57/00. Способ определения времени активации поверхности нефтяного кокса: заявл. 20.05.2011: опубл. 27.11.2012 / Тагиров М.А., Жирнов Б.С., Будник В.А., Гостьков Е.В.; заявитель ГОУ ВПО «Уфимский государственный нефтяной технический университет».
4. Баширов И.И. Получение формованного углеродного адсорбента из нефтяного сырья методами паровой и щелочной активации: специальность 05.17.07 «Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ»: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Баширов Ильгиз Ильдусович; Уфа, 2016. – 91 с.
5. Кугатов П.В. Получение углеродного адсорбента на основе сырого нефтяного кокса путем совместной карбонизации с гидроксидом калия / П.В. Кугатов, А.В. Кусалиев, Б.С. Жирнов // Кокс и химия. – 2019. – № 1. – с. 23–28.

6. Кугатов П.В. Формованный углеродный адсорбент на основе активированного гидроксидом калия нефтяного кокса / П.В. Кугатов, Б.С. Жирнов // Химия и технология топлив и масел. – 2020. – № 3. – с. 22–25.
7. Исследование возможности переработки нефтяного кокса с повышенным содержанием летучих веществ в углеродные сорбенты / Е.А. Фарберова, А.С. Максимов, А.С. Ширкунов [и др.] // Изв. вузов. Химия и хим. технология. – 2021. – № 4. – с. 92–99.
8. Переработка отходов ПЭТ // ВКонтакте: [сайт]. – URL: [https://vk.com/wall-97678647\\_274](https://vk.com/wall-97678647_274) (дата обращения: 27.03.2025).
9. Юхно Д.С. Углеродный материал, полученный из нефтяного кокса и отходов полиэтилентерефталата // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В, Промышленность. Прикладные науки. – 2025. – № 2. – С. 98–104. DOI: 10.52928/2070-1616-2025-52-2-98-104.
10. C. Richard A. Catlow. Modelling and Simulation in the Science of Micro- and Meso-Porous Materials / C. Richard, A. Catlow, Veronique Van Speybroeck and Rutger A. van Santen. – London, UK: Elsevier, 2017. – 370 p. DOI: 10.1016/C2015-0-04040-0.
11. Yun J.-H. Adsorption equilibrium of polar/non-polar mixtures on MCM-41: experiments and Monte Carlo simulation / J.-H. Yun, Y. He, M. Otero, T. Düren, N. A. Seaton // Studies in Surface Science and Catalysis. Characterization of Porous Solids VI. – 2002. – Vol. 144. – P. 685–692. DOI: 10.1016/S0167-2991(02)80197-5.
12. Kohmuean P. Monte Carlo Simulation and Experimental Studies of CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> and Their Mixture Capture in Porous Carbons / P. Kohmuean, W. Inthomya, A. Wongkoblap, C. Tangsathitkulchai // Molecules. – 2021. – Vol. 26, Iss. 9. – 2413. DOI: 10.3390/molecules26092413.