

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

**Научно-исследовательский центр
«МашиноСтроение»**



Российский химико-технологический университет им Д.И. Менделеева

Казанский государственный энергетический университет

Тихоокеанский государственный университет

Нижегородский государственный технический университет
им. Р.Е. Алексеева

Волгоградский государственный технический университет

Тверской государственный технический университет

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

ISSN 2618-8953

МОДЕРНИЗАЦИЯ И ИННОВАЦИОННОЕ РАЗВИТИЕ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

**Материалы международной
научно-практической конференции**

№9

Санкт-Петербург, 2026

УДК 620.9 : 001.8

ББК 30.6

М74

М74 Модернизация и инновационное развитие топливно-энергетического комплекса: Материалы международной научно-практической конференции. – Санкт-Петербург: НИЦ МС, 2026. – № 9. – 41 с. – DOI: 10.26160/2618-8953-2026-9.

Представлены материалы IX международной научно-практической конференции «Модернизация и инновационное развитие топливно-энергетического комплекса» (25 сентября 2026г.). Направления работы конференции: 1) Фундаментальные принципы и подходы к исследованию объектов и процессов ТЭК; 2) Машины и механизмы ТЭК; 3) Добыча и переработка природных ресурсов; 4) Ресурсосберегающие технологии; 5) Транспортировка и хранение энергоресурсов; 6) Угольная промышленность; 7) Нефтегазовая отрасль; 8) Электроэнергетика; 9) Общие проблемы топливной промышленности; 10) Результаты инновационной деятельности в области энергоэффективности.

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

Учредитель: *Жукова Елена Валерьевна.*

Ответственный редактор:

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

Редакционная коллегия:

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

Зверева Эльвира Рафиковна – профессор кафедры инженерной экологии и безопасности труда КГЭУ, д.т.н., доцент;

Исаев Сергей Петрович – профессор высшей школы промышленной инженерии Политехнического института ТОГУ, д.т.н., профессор;

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

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

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

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

ISSN 2618-8953

© Авторы, 2026

© НИЦ МС, 2026

СОДЕРЖАНИЕ

Фундаментальные принципы и подходы к исследованию объектов и процессов ТЭК

Кубрин С.С., Шиповский И.Е. Методические основы моделирования переходных процессов в геомеханике для задач ТЭК 4

Машины и механизмы ТЭК

Макарова Т.Г. Стратегия точного дозирования химического реагента для предотвращения асфальтосмолопарафиновых отложений 7

Добыча и переработка природных ресурсов

Гарькин И.Н., Войнаш С.А., Салтыкова С.А. Перспективы применения беспилотных летательных аппаратов в геологоразведке урановых месторождений 10

Гарькин И.Н., Войнаш С.А., Салтыкова С.А. Стратегия не прямых действий в геологоразведке урана: междисциплинарный подход к поиску стратегического сырья 17

Нефтегазовая отрасль

Солодовников А.Ю. О вкладе НК «Роснефть» в добычу нефти и газа в Ханты-Мансийском автономном округе – Югре в начале XXI века 22

Беляева Е.П., Безбородов Ю.Н. Комплексный контроль гидродинамического состояния водонефтяных потоков при внутрипромысловой перекачке 25

Электроэнергетика

Воробьева С.Е., Голованов И.Ю., Соколова С.А., Шумова Н.В. Теплоотдача в трубном канале двухтрубных аппаратов с эллипсоидальным профилем теплообменной трубы 28

Воробьева С.Е., Голованов И.Ю., Навкаршоева С.Б., Шумова Н.В. Влияние формы стержневого наружного оребрения на теплопередачу в аппарате типа «труба в трубе» 32

Савченко А.Ю., Добродей А.О. Анализ перенапряжений на основе программного комплекса NI Multisim в электрической сети 10 кВ 38

МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В ГЕОМЕХАНИКЕ ДЛЯ ЗАДАЧ ТЭК

Кубрин С.С., Шиповский И.Е.

*Институт проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В. Мельникова
Российской академии наук, Москва*

Ключевые слова: переходные процессы, геомеханика, газоносный угольный пласт, внутренняя переменная, кинетика Ли–Тарвера, газодинамическое явление, SPH, цифровой двойник процесса, безопасность горных работ.

Аннотация. Рассматривается методический подход к моделированию переходных геомеханических процессов, при которых газоносная геосреда вследствие накопления повреждений и сопряжения механических и газодинамических факторов переходит в динамически активное состояние. Пороговый переход описывается внутренней переменной и адаптированной структурой Ли–Тарвера; модифицированный метод сглаженных частиц SPH используется на стадиях больших деформаций. Модель позиционируется как компонент цифрового двойника процесса с учетом ГОСТ Р 72242-2025.

METHODOLOGICAL FOUNDATIONS FOR MODELING TRANSIENT GEOMECHANICAL PROCESSES IN FUEL AND ENERGY SECTOR PROBLEMS

Kubrin S.S., Shipovskii I.E.

*Research Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources
of Russian Academy of Sciences, Moscow*

Keywords: transient processes, geomechanics, gas-bearing coal seam, internal variable, Lee–Tarver kinetics, gas-dynamic event, SPH, process digital twin, mining safety.

Abstract. A methodological approach to transient geomechanical processes is considered, in which a gas-bearing geomaterial evolves to a dynamically active state due to damage accumulation and coupled mechanical–gas-dynamic effects. The threshold transition is described by an internal variable and an adapted Lee-Tarver structure; SPH is used for large-deformation stages. The model is positioned as a component of a process digital twin using GOST R 72242-2025 terminology.

Современные задачи добывающего сегмента топливно-энергетического комплекса включают процессы, в которых массив горных пород проходит последовательность нестационарных состояний: докритическое накопление энергии и повреждений, локальную потерю несущей способности, динамическое разрушение и перемещение разрушенной геосреды. К этому классу относятся, в частности, внезапные выбросы угля, породы и газа. Поэтому расчетная модель должна фиксировать не только достижение предельного состояния, но и кинетику перехода между состояниями.

Для газоносных угольных пластов такая постановка особенно существенна вследствие взаимосвязи геомеханической и газодинамической подсистем. Перераспределение напряжений при горных работах изменяет трещиноватость, проницаемость и газоотдачу, тогда как давление и десорбция газа способны ускорять повреждение. В моделях дегазации используется совместный учет

нестационарного напряженного состояния и фильтрации метана [1]; для динамических газопроявлений необходим дополнительный эволюционный механизм, описывающий скорость приближения системы к пороговому событию.

Для описания порогового перехода в [2] предложена адаптированная структура кинетики Ли–Тарвера, исходно разработанной для инициирования реакции в гетерогенных взрывчатых веществах [3]. При переносе в геомеханику химическая интерпретация исключается; сохраняется схема «активация – рост – истощение ресурса». Состояние геоматериала задается внутренней переменной F , изменяющейся от состояния связного угольного материала к развитому повреждению и повышенной газоотдаче. В обобщенном виде кинетический закон записывается как

$$\frac{dF}{dt} = \Phi_a(S, F) + \Phi_g(S, F) - \Phi_e(S, F),$$

где F – внутренняя переменная состояния; S – совокупность управляющих параметров геосреды, включающая напряжения, деформации и газодинамические характеристики; Φ_a , Φ_g и Φ_e – соответственно функции активации, развития и истощения доступного ресурса перехода. Данное выражение следует рассматривать как методическую схему, а не как универсальный закон для всех геоматериалов. Конкретный вид функций и их параметры должны идентифицироваться для рассматриваемого пласта и механизма газодинамического явления.

Внутренняя переменная F связывает во времени повреждение и изменение транспортных свойств. Зависимости свойств угля от F обеспечивают обратную связь: активация повреждения увеличивает газоотдачу и изменяет напряженно-фильтрационные условия, способствуя расширению активной зоны; истощение ресурса ограничивает интенсивность процесса [2]. В отличие от одномоментного критерия разрушения такая постановка описывает историю перехода после достижения порога.

Переходный процесс представляется последовательностью стадий докритической подготовки, локальной активации, пространственного развития активной зоны и завершения вследствие истощения ресурса либо формирования макроскопического газодинамического события. Для его количественной характеристики используются время до события и длина развития активной зоны [2], что позволяет перейти от бинарной оценки «опасно/неопасно» к оценке темпа приближения системы к критическому состоянию.

Метод SPH в данной концепции выполняет вычислительную функцию на стадиях больших деформаций, фрагментации и перемещения разрушенной массы. Гибридная SPH-FEM постановка обеспечивает совместное описание динамического разрушения, газодинамического выброса и последующего крупнодеформационного движения [4].

При постановке и интерпретации численных исследований учитывались положения ГОСТ Р 72242-2025 [5] в части терминологии цифровой горнодобывающей промышленности. Согласно п. 15, математическая модель входит в состав цифрового двойника процесса наряду с информационными представлениями и процедурами отображения результатов. Поэтому

рассматриваемая модель трактуется как физико-математический компонент такого двойника, а не как полный цифровой двойник; ГОСТ не регламентирует уравнения и численную схему, которые определяются физической постановкой, верификацией и валидацией.

Такое позиционирование не отменяет требований к физической достоверности расчета. Для использования модели как компонента цифрового двойника процесса необходимы трассируемость исходных данных, верификация численной реализации и валидация по экспериментальным или натурным данным. Следовательно, ГОСТ задает системное место модели, но не заменяет обоснования ее применимости.

Адаптацию кинетики Ли–Тарвера, которая изначально была создана для описания детонации, принципиально не следует отождествлять с моделированием детонации: переносится только эволюционная структура процесса с конечным ресурсом. Функции Φ и их параметры должны идентифицироваться по данным о напряженном состоянии, прочности, газоносности, сорбционно-фильтрационных свойствах и динамике повреждения конкретного пласта.

Практическая интерпретация связана с превентивным управлением состоянием массива. Расчетные метрики могут использоваться при обосновании дегазации и разгрузочных мероприятий в разрабатываемом массиве, выборе параметров мониторинга его состояния и дополнительного крепления выработки, а также при ограничении горных работ по достижении пороговых признаков [2]. В цифровом контуре горнотехнической системы они могут поддерживать горные цифровые решения в смысле ГОСТ Р 72242-2025 [5].

Научная новизна состоит в развитии кинетического подхода [2] до методической схемы переходных геомеханических процессов, где внутренняя переменная связывает структурное состояние угольного материала с механическими и газодинамическими свойствами, а активная зона характеризуется временной и пространственной кинетикой. Практическая значимость определяется расчетными признаками приближения к опасному состоянию. Модель может использоваться как физико-математический компонент цифрового двойника процесса для задач угольной промышленности.

Список литературы

1. Курленья М.В., Ли К.Х., Казанцев В.Г., Ли Хи Ун. Физико-математическая модель фильтрации метана в нестационарном поле напряжений угольного пласта // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2024. – №3. – С. 3-13. – DOI: 10.15372/FTPRPI20240301.
2. Шиповский И.Е. Моделирование газодинамических процессов в угольных пластах на основе кинетики Ли–Тарвера // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2026. – №3. – С. 39-49. – DOI: 10.15372/FTPRPI20260304.
3. Lee E.L., Tarver C.M. Phenomenological model of shock initiation in heterogeneous explosives // The Physics of Fluids. 1980, vol. 23, no. 12, pp. 2362-2372. DOI: 10.1063/1.862940.
4. Шиповский И.Е. Гибридная модель больших деформаций при динамическом воздействии на угольные пласты // Вестник ЮУрГУ. Серия «Математика. Механика. Физика». – 2026. – Т. 18, №2. – С. 77-85. – DOI: 10.14529/mmph260209.
5. ГОСТ Р 72242-2025. Цифровая горнодобывающая промышленность. Термины и определения. Введ. 2025-10-01. – М.: Российский институт стандартизации, 2025.

Сведения об авторах:

Кубрин Сергей Сергеевич – д.т.н., профессор, заведующий лабораторией, ученый секретарь;
Шиповский Иван Евгеньевич – к.т.н., старший научный сотрудник.

СТРАТЕГИЯ ТОЧНОГО ДОЗИРОВАНИЯ ХИМИЧЕСКОГО РЕАГЕНТА ДЛЯ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ АСФАЛЬТОСМОЛОПАРАФИНОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ

Макарова Т.Г.

*Альметьевский государственный технологический университет
«Высшая школа нефти», Альметьевск*

Ключевые слова: механизированная добыча, асфальтосмолопарафиновые отложения, электролопастной насос, насосно-компрессорные трубы, эжектор.

Аннотация. Формирование асфальтосмолопарафиновых отложений – одна из ключевых проблем при механизированной эксплуатации нефтяных и газовых скважин. Точность и оперативность подачи ингибиторов напрямую влияют на эффективность предотвращения отложений, надёжность оборудования и экономику. В статье рассмотрена стратегия точного дозирования химического реагента для предотвращения асфальтосмолопарафиновых отложений за счет разработанного технического устройства при эксплуатации установок электроприводных лопастных насосов.

PRECISE CHEMICAL DOSING STRATEGY TO PREVENT ARPS

Makarova T.G.

Almetyevsk State Technological University Higher School of Oil, Almetyevsk

Keywords: mechanized mining, asphalt-resin-paraffin deposits, electric bladed pump, tubing, ejector.

Abstract. The formation of asphalt-resin-paraffin deposits is one of the key problems in the mechanized operation of oil and gas wells. The accuracy and responsiveness of inhibitor delivery directly affect the effectiveness of scale prevention, equipment reliability, and economics. The article discusses the strategy of accurate dosing of chemical reagent to prevent asphalt-resin-paraffin deposits due to the developed technical device during operation of electrically driven vane pumps.

Явление отложения асфальтосмолопарафиновых отложений (АСПО) повышают гидравлическое сопротивление, приводят к частым простоям и дорогостоящим мероприятиям по промывке и механической очистке оборудования скважин [1]. На интенсивность парафиноотложения влияют различные факторы. Механизированная эксплуатация требует систем профилактики, которые экономически оправданы и обеспечивают стабильную защиту.

Основные участки риска образования отложений: приёмная зона насоса, всасывающая линия, межтрубное пространство, приёмный коллектор, устье и сборная линия [2]. Химический реагент должен достигать зон риска в активной концентрации и поддерживаться там.

Ингибитор подбирается лабораторно в соответствии с физико-химическими параметрами флюида, материалами оборудования, температурной стабильностью, токсичностью и экологичностью, стоимостью индивидуально под конкретный объект [3]. Требуемый расход реагента определяется в зависимости от объёмной производительности нефти, плотность реагента, требуемой концентрации реагента в рабочей фазе и принимается из расчета 100-300 грамм реагента на тонну нефти.

Существуют различные стратегии дозирования химических реагентов:

- импульсное/слоговое дозирование: периодические «пульсы» концентрированного реагента эффективны при локации отложений;
- непрерывное дозирование: поддерживает стабильную малую концентрацию; предпочтительно при равномерной работе скважины.

Наибольшее распространение в борьбе с АСПО получил метод введения химических реагентов с помощью насосов-дозаторов. Обработка производится согласно заранее разработанных под конкретные параметры работы скважин планов обработок. Доставка растворителей до места применения осуществляется специальными автоцистернами. Однако такой метод требует дополнительных затрат, а также такой метод обладает относительно низкой эффективностью и обладает рядом недостатков, в связи с чем разработано альтернативное решение для подачи ингибитора (патент № 2752569), которое представляет собой комбинацию из трех технических устройств – установки электроприводного лопастного насоса (УЭЛН), а также насоса-дозатора, (при этом под насосом-дозатором понимается часть нагнетательного патрубка, идущего от устья скважины к месту контакта со струйным насосом, а также входное отверстие в камере смешения и устьевая емкость) и струйного насоса (рис. 1) [4].

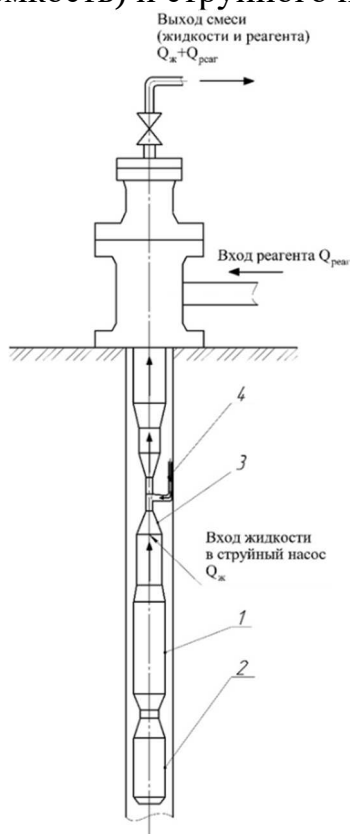


Рис. 1. Стратегия работы насосной установки для предотвращения отложений:
1 – центробежный насос, 2 – погружной электродвигатель; 3 – струйный насос;
4 – патрубок насоса, дозирующего реагент

В данной скважинной дозирующей установке для предотвращения отложений для подачи жидкостного реагента в скважину используется струйный аппарат.

Было исследовано влияние конструктивных параметров эжектора на его работу: наибольшее влияние оказывают диаметр камеры смешения, диаметр

проходного сечения насоса, дозирующего реагент. Определено влияние диаметра насоса, дозирующего реагент на величину объемного расхода реагента при различных значениях подачи УЭЛН [5]. Для обеспечения требуемого расхода реагента в требуемом диапазоне при подаче УЭЛН от 100 до 200 м³/сут определен рекомендуемый ряд типоразмера установки дозирования. Изучено формирование температурного поля по стволу скважины в НКТ. На основе выражений для расчета температуры возможен расчет оптимальной глубины спуска установки дозирования реагента, позволяющий минимизировать риски образования АСПО. На основе частного моделирования получено, что оптимальная глубина спуска установки дозирования составляет не менее 200 м при рассмотренных параметрах работы УЭЛН и скважины (дебит скважины 100-200 м³/сут, температура кристаллизации АСПО – 30-40°С).

Эффективность разработанной стратегии точного дозирования химического реагента подтверждается лабораторной верификацией и тестами на скважине. Внедрение ее при эксплуатации позволят минимизировать потребление реагента и снизить риск возникновения АСПО избежать дополнительных затрат.

Список литературы

1. Пресняков А.Ю., Хакимов А.М., Волошин А.И., Рагулин В.В., Даминов А.А. Обоснование выбора технологий защиты осложненного фонда добывающих скважин // Экспозиция Нефть Газ. – 2017. – №7 (60). – С. 45-47.
2. Кравцов С.А. Моделирование условий и прогноз образования АСПО отложений в скважинах / В сборнике: Совершенствование методологии познания в целях развития науки. сборник статей по итогам Международной научно-практической конференции. – Уфа: Агенство международных исследований, 2018. – С. 24-27.
3. Доломатов М.Ю., Телин А.Г. и др. Физико-химические основы направленного подбора растворителей асфальтосмолистых веществ. Отчёт ЦНИИТЭнефтехим., 1990. – 35 с.
4. Патент №2752569 РФ. Скважинная дозирующая насосная установка для предотвращения отложений / К.Р. Уразаков, Т.Г. Макарова, Е.Б. Думлер, Р.И. Вахитова, А.О. Борисов. – Заявка №2021104654 от 25.02.2021; опубл. 29.07.2021.
5. Уразаков К.Р., Макарова Т.Г., Борисов А.О. Влияние геометрии струйного эжектора на подачу насосной установки, предупреждающей асфальтосмолопарафиновые отложения // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2024. – Т. 335, №6. – С. 214-222.

Сведения об авторах:

Макарова Татьяна Георгиевна – старший преподаватель школы цифрового инжиниринга.

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ В ГЕОЛОГОРАЗВЕДКЕ УРАНОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Гарькин И.Н., Войнаш С.А., Салтыкова С.А.

Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы, Москва

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат, урановые месторождения, геологоразведка, гамма-спектрометрия, радиометрическая съёмка, аэрогеофизика, дистанционное зондирование, радиационный контроль, геофизические методы, природный уран, поисково-оценочные работы.

Аннотация. Анализируются применение беспилотных летательных аппаратов в геологоразведочных работах на урановых месторождениях. Проведён анализ современных методов аэрогеофизической съёмки с использованием беспилотных платформ, оценены их преимущества перед традиционными наземными и пилотируемыми авиационными методами. Рассмотрены гамма-спектрометрические, магнитометрические и радиометрические методы дистанционного зондирования, реализуемые на базе беспилотных летательных аппаратов. Показана высокая эффективность применения беспилотных систем в условиях труднодоступного рельефа, радиационно опасных зон и экономически ограниченных проектов. Определены основные технические, нормативно-правовые и методологические барьеры, препятствующие широкому внедрению технологии. Предложены пути решения выявленных проблем и обозначены перспективные направления дальнейших исследований в данной области.

PROSPECTS FOR THE USE OF UNMANNED AERIAL VEHICLES IN GEOLOGICAL EXPLORATION OF URANIUM DEPOSITS

Garkin I.N., Voinash S.A., Saltykova S.A.

Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba, Moscow

Keywords: unmanned aerial vehicle, uranium deposits, geological exploration, gamma spectrometry, radiometric survey, airborne geophysics, remote sensing, radiation monitoring, geophysical methods, natural uranium, prospecting and evaluation work.

Abstract. This article examines the use of unmanned aerial vehicles in geological exploration at uranium deposits. Modern airborne geophysical survey methods using unmanned platforms are analyzed, and their advantages over traditional ground-based and manned aerial methods are assessed. Gamma-spectrometric, magnetometric, and radiometric remote sensing methods implemented using unmanned aerial vehicles are considered. The high efficiency of unmanned systems in difficult-to-reach terrain, radiation-hazardous zones, and economically constrained projects is demonstrated. The key technical, regulatory, and methodological barriers hindering the widespread adoption of this technology are identified. Solutions to the identified problems are proposed, and promising areas for further research in this area are outlined.

Разведка урановых месторождений остаётся одной из стратегически важных задач горнодобывающей отрасли и ядерно-энергетического комплекса. Значение урана как базового ресурса для атомной энергетики возрастает в условиях глобального энергетического перехода и декарбонизации экономики. По данным Международного агентства по атомной энергии (МАГАТЭ), основные разведанные запасы урана сосредоточены в Казахстане, Австралии, Канаде, России, Намибии и ряде других стран; при этом значительная часть перспективных

объектов расположена в труднодоступных районах с суровыми природно-климатическими условиями [1, 2].

Традиционные методы геологоразведки урановых месторождений, включая наземные маршрутные съёмки, буровые работы и пилотируемую аэрогеофизическую разведку, характеризуются высокой стоимостью, значительными временными затратами и повышенными рисками для здоровья персонала, работающего в условиях повышенного радиационного фона. В связи с этим особую актуальность приобретает разработка и внедрение новых технологических решений, способных повысить эффективность и безопасность поисково-разведочных работ.

За последнее десятилетие беспилотные летательные аппараты (БПЛА) [3, 4] претерпели существенное технологическое развитие: увеличились их грузоподъёмность и автономность, повысились точность навигации и устойчивость к эксплуатации в широком диапазоне температур. Одновременно миниатюризация геофизической аппаратуры, в том числе гамма-спектрометров, магнитометров и радиометров, создала реальные предпосылки для её интеграции в беспилотные платформы. Совокупность этих изменений формирует новую технологическую парадигму геологоразведочных работ, в рамках которой БПЛА становятся важнейшим инструментом первичной и детальной съёмки.

Геологоразведка урановых месторождений связана с рядом специфических проблем, существенно отличающих её от поисково-разведочных работ на большинство других видов полезных ископаемых. Прежде всего, такие объекты характеризуются повышенным радиационным фоном, что ограничивает продолжительность безопасного пребывания персонала на местности, требует применения специализированных средств индивидуальной защиты и повышает вероятность накопления доз облучения, приближающихся к предельно допустимым значениям при регулярных полевых работах.

Серьёзным ограничивающим фактором выступает и труднодоступность значительной части перспективных урановых провинций. Многие из них расположены в районах с крайне сложными природно-географическими условиями, включая пустынные территории Центральной Азии, арктические зоны России и Канады, горные области Монголии и Центральной Африки [5]. Высокогорный рельеф, отсутствие развитой транспортной инфраструктуры, в том числе дорог и аэродромов, существенно осложняют организацию, как наземных маршрутов, так и пилотируемых авиационных работ.

Дополнительную проблему представляет высокая стоимость традиционных методов разведки. Выполнение аэрогеофизической съёмки с использованием пилотируемых воздушных судов связано со значительными финансовыми затратами, многократно превышающими расходы на эксплуатацию беспилотных платформ сопоставимого назначения. В свою очередь, организация наземных экспедиций требует существенных вложений в логистику, размещение персонала, полевое обеспечение и меры безопасности.

Существенные ограничения имеет и традиционная аэросъёмка с точки зрения пространственного разрешения получаемых данных. Пилотируемые самолёты и вертолёты, выполняющие радиометрические наблюдения на рабочих высотах порядка 30–100 м, далеко не всегда обеспечивают достаточную

детальность для выявления и картирования малоамплитудных аномалий, особенно в условиях расчленённого рельефа и сложного геологического строения.

Наряду с технологическими и экономическими барьерами сохраняются нормативно-правовые и методические ограничения. Во многих странах применение беспилотных летательных аппаратов в промышленных геологоразведочных работах до сих пор не обеспечено чётко сформированной регуляторной базой, что затрудняет широкое внедрение данной технологии в практику. Одновременно отсутствие стандартизированных методических подходов к обработке и интерпретации данных БПЛА-гамма-спектрометрии применительно к поискам урановых месторождений сдерживает её распространение среди геологоразведочных организаций и ограничивает возможности сопоставления результатов, получаемых в разных природно-геологических условиях.

К числу наиболее перспективных направлений решения обозначенных проблем относится внедрение беспилотных технологий в комплекс геологоразведочных работ. Наиболее прямым и информативным методом выявления уранового оруденения является гамма-спектрометрическая съёмка, поскольку уран-238 и его дочерние продукты распада, в частности висмут-214 и свинец-214, формируют характерное гамма-излучение с диагностически значимыми энергетическими линиями, что позволяет надёжно выделять уран на фоне других естественных радиоактивных элементов, прежде всего тория и калия. Современные сцинтилляционные детекторы на основе NaI(Tl) и LaBr₃(Ce), обладающие относительно небольшой массой и компактными размерами, могут эффективно интегрироваться в состав тяжёлых БПЛА мультироторного или самолётного типа. Выполнение съёмки на малых высотах, как правило, в диапазоне 5-30 м над поверхностью, при умеренных скоростях полёта обеспечивает получение данных с пространственным разрешением порядка 2-10 м, что существенно превосходит возможности пилотируемой авиации. Обработка результатов включает коррекцию фонового космического излучения, учёт техногенных факторов, стриппинг-коррекцию перекрёстных каналов и пересчёт измеренных значений в эквивалентные концентрации урана, что в итоге позволяет формировать высокодетальные геохимические карты распределения радиоактивного компонента.

Важным дополнением к гамма-спектрометрии выступает магнитометрическая съёмка, особенно эффективная при изучении месторождений скарнового и метасоматического генезиса, где урановое оруденение нередко связано с магнетитовой минерализацией. Применение на БПЛА трёхосных феррозондовых и квантовых магнитометров, размещаемых на выносных подвесах для снижения электромагнитных помех от бортовых систем, позволяет фиксировать тонкие вариации магнитного поля и выявлять структурные элементы, контролируемые размещение рудных тел, включая разрывные нарушения, зоны расщепления и литологические контакты. По совокупности затрат и пространственной детальности такой подход во многих случаях оказывается более эффективным, чем традиционная наземная или пилотируемая авиационная магнитометрия.

Наибольший эффект достигается при использовании интегрированных мультисенсорных платформ, объединяющих в едином комплексе гамма-спектрометр, магнитометр, гиперспектральную камеру и лидар. Совместная интерпретация данных различных физических методов позволяет существенно снизить неоднозначность геологической трактовки и повысить достоверность прогноза оруденения. Гиперспектральная съёмка в диапазоне 400–2500 нм обеспечивает дистанционное картирование минералов-индикаторов, включая каолинит, иллит, монтмориллонит, карбонаты и оксиды железа, которые часто сопровождают зоны гипергенного изменения урановых руд. Лидар, в свою очередь, используется для построения высокоточных цифровых моделей рельефа, необходимых как для морфоструктурного анализа, так и для топографической коррекции радиометрических данных.

Существенную роль в обеспечении качества съёмки играют современные системы автономной навигации и планирования полётов. Оснащение БПЛА системами RTK/PPK-GPS, барометрическими альтиметрами и средствами огибания рельефа позволяет поддерживать заданную высоту полёта с высокой точностью. Это имеет принципиальное значение для радиометрических наблюдений, поскольку интенсивность регистрируемого гамма-излучения быстро изменяется с увеличением расстояния до источника, и даже сравнительно небольшие колебания высоты могут приводить к заметным систематическим ошибкам измерений. Использование специализированного программного обеспечения для автоматического планирования маршрутов даёт возможность оптимизировать полётные задания с учётом рельефа местности, ветровой обстановки, энергетических ограничений платформы и необходимого перекрытия профилей съёмки, что повышает воспроизводимость и точность получаемых данных.

Наконец, полноценное внедрение беспилотных технологий в практику геологоразведки невозможно без формирования соответствующей нормативно-правовой и методической базы. Для этого требуется разработка отраслевых стандартов применения БПЛА в геологоразведочных работах, согласованных с требованиями национальных авиационных регуляторов, создание методических документов, регламентирующих метрологическую аттестацию радиометрических комплексов, порядок обработки результатов и принципы интерпретации данных. Наличие унифицированных требований, сопоставимых с действующими международными и национальными нормативами, является необходимым условием для широкого распространения технологии и её интеграции в систему промышленной оценки уранового сырья.

Перспективные направления исследований в области применения БПЛА для геологоразведочных работ связаны прежде всего с созданием специализированных платформ, адаптированных к условиям длительных и пространственно распределённых съёмок. Одной из ключевых технических задач выступает разработка аппаратов с увеличенной продолжительностью полёта – свыше 4 часов – на базе водородных топливных элементов, гибридных энергетических установок, а в дальнейшем и иных высокоэффективных систем энергоснабжения. По сравнению с существующими аккумуляторными БПЛА, обеспечивающими, как правило, лишь 30-90 минут автономной работы, такие решения способны

существенно расширить площадь покрытия за один вылет, снизить долю вспомогательных операций и повысить общую производительность полевых работ.

Не менее значимым направлением является развитие роевых технологий, предполагающих координированное применение группы БПЛА для одновременной съёмки крупных территорий. Использование роя из нескольких синхронизированных платформ открывает возможности для параллельного сбора данных, более гибкого планирования маршрутов, оперативного перераспределения задач между аппаратами и повышения устойчивости всей системы к отказам отдельных единиц. В условиях геологоразведки такой подход потенциально позволяет многократно увеличить производительность съёмки по сравнению с одиночной платформой, повысить полноту и оперативность получения информации по труднодоступным и протяжённым объектам.

Ещё одним перспективным направлением следует считать разработку летающих платформ-аэродромов на основе дирижаблей, предназначенных для обеспечения работы БПЛА в удалённых и слабоосвоенных районах. Подобные платформы могут выполнять функции мобильных базирования, запуска, приёма и технического обслуживания беспилотных аппаратов непосредственно в районе проведения работ. Важным преимуществом дирижабельных аэродромов является возможность размещения на борту всей необходимой инфраструктуры: систем подзарядки и замены аккумуляторов, научных лабораторий для первичной обработки проб и материалов, вычислительных комплексов для обработки данных, средств хранения и передачи информации оборудования связи и навигационной поддержки. Это позволяет существенно сократить логистические издержки, повысить автономность экспедиционных работ и обеспечить практически непрерывный цикл сбора, анализа и передачи геолого-геофизической информации. В совокупности перечисленные направления формируют основу для перехода к более автономным, высокопроизводительным и интеллектуально интегрированным технологиям геологоразведки нового поколения (табл. 1).

Проведённый анализ показывает, что использование БПЛА в геологоразведке урановых месторождений следует рассматривать не как частное технологическое усовершенствование, а как переход к качественно новой методологии поисково-оценочных работ. Оснащённые гамма-спектрометрическими, магнитометрическими и гиперспектральными системами БПЛА обеспечивают сочетание высокого пространственного разрешения, оперативности получения данных, сравнительно низких эксплуатационных затрат и повышенного уровня радиационной безопасности персонала, что имеет особое значение именно для урановой геологоразведки.

Вместе с тем масштабное промышленное внедрение данной технологии в настоящее время ограничивается рядом факторов. К числу основных из них относятся недостаточная продолжительность полёта большинства серийных платформ, обусловленная возможностями аккумуляторных источников питания, отсутствие унифицированных методик обработки и интерпретации получаемых данных, неполная нормативно-правовая и методическая проработанность применения БПЛА в геологоразведочном цикле, ограниченная чувствительность

малогабаритных радиометрических и спектрометрических датчиков по сравнению с полноразмерными авиационными системами.

Табл. 1. Сравнительная таблица методов геологоразведки урановых месторождений

Критерий сравнения	Наземная съёмка	Пилотируемая аэросъёмка	БПЛА-съёмка
Пространственное разрешение	1-5 м (высокое)	30-100 м (низкое)	2-15 м (высокое)
Производительность (км ² /день)	0,5-2	500-2000	5-50
Стоимость (\$/км ²)	800-3000	50-200	80-400
Радиационная безопасность персонала	Низкая	Высокая	Высокая
Работа в труднодоступных районах	Крайне затруднена	Возможна (ограничена)	Высокая гибкость
Высота съёмки над рельефом	0 м	30-150 м	5-50 м
Чувствительность к малым аномалиям	Высокая	Низкая	Высокая
Зависимость от метеоусловий	Средняя	Высокая	Средняя
Мобильность и переброска	Высокая	Низкая	Высокая
Возможность мультисенсорной съёмки	Ограничена	Да	Да
Нормативная база	Развитая	Развитая	Формируется
Риск для персонала	Высокий	Средний	Минимальный
Время развёртывания	1-3 дня	7-30 дней	1-2 дня
Экологическая нагрузка	Средняя	Высокая	Минимальная
Точность навигации	±1-5 м	±5-15 м	±0,05-0,1 м (RTK)

В связи с вышеизложенным приоритетными направлениями дальнейших исследований и разработок являются создание специализированных БПЛА с гибридными и водородными силовыми установками, разработка новых поколений радиационных детекторов с более высоким отношением чувствительности к массе, внедрение методов машинного обучения и интеллектуального анализа данных для интерпретации комплексной геофизической информации, формирование современной нормативно-методической базы, учитывающей специфику беспилотных технологий в задачах поиска и оценки урановых объектов.

Таким образом, можно заключить, что в среднесрочной перспективе БПЛА-геофизика имеет все предпосылки для того, чтобы занять одно из ключевых мест на этапах регионального прогноза, поисковых и поисково-оценочных работ на урановых месторождениях. Расширение её применения будет способствовать не

только изменению технологического облика геологоразведочной отрасли, но и повышению экономической эффективности, оперативности и безопасности проведения работ.

Список литературы

1. Котельников А.Е., Щетинников С.А., Кириенко В.П., Щетинников М.А., Васильева Ю.А. Применение инновационных инженерно-геологических методов для разведки и разработки нефтегазовых месторождений в Удмуртской Республике // Экономика строительства. – 2025. – №4. – С. 421-425.
2. Барри А.М. Оценка возможности применения трехмерного моделирования проветривания для условий бокситовых месторождений Гвинейской Республики // Перспективы развития геологии, горного и нефтегазового дела: материалы научно-практической конференции. Москва, РУДН, 29 сентября 2023 г. – М.: РУДН, 2023. – С. 82-84.
3. Гарькин И.Н., Войнаш С.А., Воробьева П.А. Применение критерия Гурвица для повышения качества подготовки операторов беспилотных летательных аппаратов в строительной отрасли // Journal of Advanced Research in Technical Science. – 2025. – №49. – С. 113-117.
4. Гарькин И.Н., Войнаш С.А., Воробьева П.А. Повышение качества подготовки операторов БПЛА в сельском хозяйстве на основе концепций Дж. Неймана-Моргенштерна // Агротехнологии XXI века: стратегия развития, технологии, инновации. Материалы Международной конференции. В 3-х частях. – Пермь: ИПЦ «Прокрость», 2025. – С. 256-261.
5. Котельников А.Е., Корлосама Ф.Х., Котельникова Е.М., Ибрахим М.А.А., Хассан М.А. Выявление перспективных участков медно-порфировой минерализации в районе казахского мелкосопочника на основе ДЗЗ // Международный научно-исследовательский журнал. – 2020. – №7-1 (97). – С. 174-177.

Сведения об авторах:

Гарькин Игорь Николаевич – к.т.н., заведующий кафедрой «Архитектуры и реставрации»;

Войнаш Сергей Александрович – ассистент кафедры «Архитектуры и реставрации»;

Салтыкова Софья Алексеевна – студент.

СТРАТЕГИЯ НЕПРЯМЫХ ДЕЙСТВИЙ В ГЕОЛОГОРАЗВЕДКЕ УРАНА: МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЙ ПОДХОД К ПОИСКУ СТРАТЕГИЧЕСКОГО СЫРЬЯ

Гарькин И.Н., Войнаш С.А., Салтыкова С.А.

Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы, Москва

Ключевые слова: геологоразведка, урановые месторождения, стратегия не прямых действий, минерально-сырьевая база, цифровые технологии, искусственный интеллект, междисциплинарные методы.

Аннотация. В условиях истощения легкодоступных урановых ресурсов и усложнения геологической обстановки возрастает необходимость пересмотра традиционных подходов к разведке. В работе рассматривается возможность применения концепции «стратегии не прямых действий» Бэзила Лиддел Гарта к поиску урановых месторождений. Прямолинейные методы, основанные на жёсткой последовательности геолого-геофизических работ и детальном бурении по первичным признакам, теряют эффективность и экономическую оправданность при работе со скрытыми и структурно сложными объектами. Вместо «прямого штурма» предлагается адаптивная стратегия, ориентированная на выявление линий наименьшего геологического сопротивления – слабых аномалий и косвенных индикаторов, указывающих на потенциальное рудообразование. Такой подход требует интеграции данных из широкого спектра источников: дистанционного зондирования, минералогии, гидрогеохимии, палеогеографии, а также методов математического анализа и работы с большими данными. Междисциплинарный синтез позволяет на основе косвенных признаков выявлять глубинные закономерности размещения скрытых урановых залежей и целенаправленно распределять ресурсы в наиболее перспективные зоны, повышая вероятность обнаружения стратегически значимых объектов при минимальных затратах. Предложенная стратегия соответствует современным вызовам отрасли и перспективна в условиях меняющейся структуры минерально-сырьевой базы.

INDIRECT ACTION STRATEGY IN URANIUM EXPLORATION: AN INTERDISCIPLINARY APPROACH TO THE SEARCH FOR STRATEGIC RAW MATERIALS

Garkin I.N., Voinash S.A., Saltykova S.A.

Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba, Moscow

Keywords: geological exploration, uranium deposits, indirect action strategy, mineral resource base, digital technologies, artificial intelligence, interdisciplinary methods.

Abstract. With readily accessible uranium resources depleting and geological conditions becoming increasingly complex, there is a growing need to reconsider traditional exploration approaches. This paper examines the potential application of Basil Liddell Hart's "indirect strategy" to uranium exploration. Direct methods based on a strict sequence of geological and geophysical surveys and detailed drilling based on primary features are ineffective and economically viable when working with hidden and structurally complex targets. Instead of a "direct assault," an adaptive strategy is proposed, focused on identifying lines of least geological resistance-weak anomalies and indirect indicators indicating potential ore formation. This approach requires the integration of data from a wide range of sources: remote sensing, mineralogy, hydrogeochemistry, paleogeography, as well as mathematical analysis and big data. This interdisciplinary synthesis allows us to identify underlying patterns in the distribution of hidden uranium deposits using indirect evidence and to target resources to the most promising areas, increasing the likelihood of discovering strategically significant targets at minimal

cost. The proposed strategy meets current industry challenges and is promising in the context of the changing structure of the mineral resource base.

Уран, являясь фундаментальным элементом для развития атомной энергетики и ряда критически важных высокотехнологичных отраслей, по праву относится к категории стратегически значимого минерального сырья, степень обеспечения которым определяет уровень энергетической безопасности и технологического суверенитета государства. Современное состояние мировой урановой минерально-сырьевой базы характеризуется истощением доступных для разведки и разработке поверхностных, геологически простых месторождений, что обуславливает необходимость смещения фокуса геологоразведочных исследований на глубоко залегающие рудные тела, сложные многоуровневые структуры, а также труднодоступные и малозаселённые регионы.

В результате такого смещения наблюдается резкий рост издержек, связанных с проведением поисковых работ, рост доли высокорискованных проектов и снижение общей успешности традиционных методик, включая широкомасштабную аэрогамма-съёмку и регулярное сетевое бурение. Названные технологии можно рассматривать в терминах военной доктрины как «фронтальную атаку» – прямолинейное и затратное применение техники и ресурсов, зачастую не позволяющее добиться высокой эффективности в условиях истощения лёгких и очевидных объектов. Актуальные требования к отрасли обусловлены не только экономическими факторами (оптимизация затрат, повышение рентабельности), но и необходимостью сокращения временных интервалов между открытием и промышленной оценкой новых урановых ресурсов. В этой связи особую значимость приобретает поиск методологических основ, способствующих кардинальной трансформации разведочных стратегий. Настоящая работа выдвигает гипотезу о применимости принципов стратегии не прямых действий, разработанной Бэзилем Лиддел Гартом в военной теории [1], в качестве эвристической и методологической базы для оптимизации и интенсификации геологоразведочных процессов урана. Концепция не прямых действий предполагает отказ от прямого и механистичного подхода к решению задач в пользу поиска малозаметных, опосредованных признаков, разработки комплекса интегративных решений, и построения предиктивных моделей на основе междисциплинарного синтеза данных и современных цифровых технологий [2]. Ключевой аспект такой парадигмы – использование нестандартного аналитического инструментария и теоретических подходов, ранее не применявшихся или игнорировавшихся в промышленной геологии. Таким образом, поиск и исследование стратегического минерального сырья, в частности урана, в современных условиях сопряжён с необходимостью адаптации научно-исследовательских и прикладных программ к новым реалиям через внедрение стратегий, основанных на элементах не прямых действий, что в перспективе позволит повысить результативность, снизить риски и обеспечить технологическую конкурентоспособность национальной горнодобывающей промышленности [3, 4].

Сэр Бэзил Лиддел Гарт в своих военных трудах утверждал, что прямое нападение на хорошо подготовленную оборону редко приводит к успеху и, как

правило, сопровождается значительными и неоправданными потерями. Ключ к достижению победы, по мнению Лиддел Гарта, заключается в использовании непрямых методов воздействия, направленных на дезорганизацию противника, нарушение его равновесия и поражение наиболее уязвимых позиций. Эти стратегические принципы оказываются исключительно плодотворными при экстраполяции на задачи геологоразведки, в частности – при поиске и оценке рудных месторождений урана.

Во-первых, концепция поиска «линии наименьшего сопротивления» предполагает отказ от прямолинейных геологоразведочных подходов, таких как широкомасштабное сплошное бурение, в пользу структурно-контролируемого исследования территорий. В гидротермальных и инфильтрационных урановых системах критически важными выступают тектонические нарушения, разломные зоны, участки высокой трещиноватости и проницаемости. Именно по ним происходила миграция ураносодержащих флюидов, определяя последующую локализацию рудных тел. Современный инструментарий глубинной сейсморазведки, электротомографии, магнитотеллурических методов и ГИС-анализ облегчает выявление и картографирование этих подповерхностных структур, тем самым оптимизируя размещение разведочных работ и минимизируя долю рискованных буровых площадей. Такой подход позволяет аккумулировать усилия на перспективных структурных узлах и эффективно расходовать ресурсы, что особенно важно при работе в малоосвоенных или экономически сложных районах [5, 6].

Во-вторых, перенос принципа «нарушения равновесия системы» (dislocation) заключается в сдвиге аналитической парадигмы с поиска исключительно очевидных (прямых) признаков минеральных залежей на всестороннее системное осмысление геологического процессогенеза месторождений. Это требует функционального понимания роли источников урана, путей его гидродинамической или коллоидной миграции, особенностей формирования литолого-стратиграфических и геохимических барьеров, в которых происходила его аккумуляция. Комплексный анализ структурной архитектуры, гидрогеологических условий, фазовой минералогии и палеогеохимии позволяет не только повысить точность прогнозов, но и выявить скрытые (слепые) объекты, которые не детектируются по прямым геофизическим или геохимическим сигналам. Данная трансформация исследовательского фокуса с объекта разведки на всю породившую его геодинамическую систему повышает эффективность поисков в сложных геологических условиях и обеспечивает прорывные решения за счет создания новых поисковых моделей.

В-третьих, принцип использования элементов неожиданности и внедрение нестандартных технологий раскрывается в интеграции междисциплинарного инструментария, выходящего далеко за пределы традиционной геологической практики. Анализ данных дистанционного зондирования (включая гиперспектральные, радиотермальные и лазерные каналы) способен выявлять аномалии техногенного и природного характера, отражённые в спектре растительности, почвенного покрова, гидрографии и рельефа. Биогеохимические методы, базирующиеся на мониторинге миграции элементов и их спутников через экосистемы, дополняются цифровой обработкой массивов данных с

использованием методов искусственного интеллекта, нейросетевого анализа, машинного обучения. Применение предиктивных (прогнозных) моделей, основанных на интеграции данных геофизики, геохимии, петрофизики и ландшафтного анализа, позволяет выявлять зоны потенциального рудоотложения, неочевидные для классического полевого анализа. Такой трансдисциплинарный подход создает предпосылки для прорывных открытий и обеспечивает элемент стратегической неожиданности, меняя картину перспективности площадей, ранее считавшихся маргинальными или бесперспективными. В заключение, применение военных стратегий не прямых действий в современной геологии и, в частности, в поисках урановых месторождений формирует новый по своей сущности подход к разведке минеральных ресурсов: он энергоэффективен, интегративен и ориентирован на максимизацию вероятности успеха за счет глубокого анализа сопряжённых процессов и использования передовых цифровых технологий. Такой подход не только уменьшает затраты и риски, но и существенно расширяет спектр поисковых возможностей в условиях все возрастающей сложности и зеленого перехода мировой минерально-сырьевой базы.

Применение концептуальной модели стратегии не прямых действий, разработанной Бэзилем Лидделлом Гартон, к задачам геологоразведки урановых месторождений позволяет фундаментально переосмыслить традиционные подходы к поиску и освоению минеральных ресурсов. В отличие от классической парадигмы, основанной на прямых, зачастую затратных и сопряжённых с высоким риском действиях, интеграция принципов не прямых стратегий подчеркивает необходимость углубленного, многофакторного анализа геологической среды. Такой подход направлен на выявление скрытых уязвимостей, слабых звеньев и неочевидных закономерностей в распределении уранового сырья, что открывает новые перспективы для эффективного управления рисками и ресурсами.

Реализация данной модели не исключает применение традиционных методов разведки, таких как детальное бурение, каротаж и геофизические исследования. Вместе с тем стратегическая переориентация позволяет осуществлять эти мероприятия гораздо более адресно и целенаправленно, существенно сокращая объемы лишнего бурения и связанных с этим финансовых и экологических издержек. В результате экономическая эффективность геологоразведочных работ заметно возрастает за счет оптимизации схем разведки, а сам долгосрочный успех становится более вероятным благодаря системному подходу к планированию.

Анализ современных тенденций в управлении минерально-сырьевыми ресурсами указывает на необходимость интеграции знаний и методов из смежных дисциплин. Так, синтез теоретических положений военной стратегии, современных информационных технологий, достижений в области биогеохимии и молекулярной геологии, а также использования передовых методов моделирования создаёт условия для возникновения качественно нового стиля мышления. Решение комплексных задач, связанных с обеспечением государства стратегическим сырьем, требует от специалистов гибкости мышления, готовности к трансдисциплинарному сотрудничеству и оперативному внедрению инновационных инструментов анализа.

В современной борьбе за ограниченные минеральные ресурсы именно интеллектуальная мобильность, способность видеть скрытые связи и применение междисциплинарных стратегий становятся ключевыми драйверами успеха. Построение комплексных цифровых моделей, анализ больших массивов географических и геофизических данных, использование искусственного интеллекта и машинного обучения для прогнозирования перспективных зон – всё это органично вписывается в рамки стратегии не прямых действий. Такой подход не только обеспечивает повышение результативности и рентабельности разведочных работ, но и формирует новую, более устойчивую парадигму воспроизводства минерально-сырьевой базы в условиях нарастающей технологической и экологической неопределённости.

В заключение, адаптация концептуальных стратегических моделей к процессам геологоразведки урановых месторождений открывает качественно иные возможности, ориентированные на устойчивое развитие отрасли и долгосрочное обеспечение национальных интересов в сфере ядерной энергетики и высоких технологий.

Список литературы

1. Воробьев И.Н., Киселев В.А. Стратегия не прямых действий в новом облике // Военная мысль. – 2006. – №9. – С. 2-10.
2. Смирнов И.А. Стратегия не прямых действий в обеспечении конкурентоспособности промышленных предприятий среднего бизнеса: Дисс. ... канд. экон. наук. – Екатеринбург, 2006. – 177 с.
3. Котельников А.Е., Щетинников С.А., Кириенко В.П., Щетинников М.А., Васильева Ю.А. Применение инновационных инженерно-геологических методов для разведки и разработки нефтегазовых месторождений в Удмуртской Республике // Экономика строительства. – 2025. – №4. – С. 421-425.
4. Барри А.М. Оценка возможности применения трехмерного моделирования проветривания для условий бокситовых месторождений Гвинейской Республики // Перспективы развития геологии, горного и нефтегазового дела: материалы научно-практической конференции. Москва, РУДН, 29 сентября 2023 г. – М.: РУДН, 2023. – С. 82-84.
5. Гарькин И.Н., Войнаш С.А., Воробьева П.А. Применение критерия Гурвица для повышения качества подготовки операторов беспилотных летательных аппаратов в строительной отрасли // Journal of Advanced Research in Technical Science. – 2025. – №49. – С. 113-117.
6. Котельников А.Е., Корлосама Ф.Х., Котельникова Е.М., Ибрахим М.А.А., Хассан М.А. Выявление перспективных участков медно-порфировой минерализации в районе казахского мелкосопочника на основе ДЗЗ // Международный научно-исследовательский журнал. – 2020. – №7-1 (97). – С. 174-177.

Сведения об авторах:

Гарькин Игорь Николаевич – к.т.н., заведующий кафедрой «Архитектуры и реставрации»;
Войнаш Сергей Александрович – ассистент кафедры «Архитектуры и реставрации»;
Салтыкова Софья Алексеевна – студент.

О ВКЛАДЕ НК «РОСНЕФТЬ» В ДОБЫЧУ НЕФТИ И ГАЗА В ХАНТЫ-МАНСИЙСКОМ АВТОНОМНОМ ОКРУГЕ – ЮГРЕ В НАЧАЛЕ XXI ВЕКА

Солодовников А.Ю.

Тюменское отделение «СургутНИПИнефть», Тюмень

Ключевые слова: нефтяная компания, дочерние предприятия, углеводороды, запасы, добыча, Ханты-Мансийский автономный округ – Югра.

Аннотация. В статье дан анализ деятельности НК «Роснефть» в пределах Ханты-Мансийского автономного округа – Югры в первой четверти XXI в. Приведено количество месторождений, находящихся на балансе предприятия по типу флюида и величине запасов. Показана динамика добычи нефти и газа за 2005-2023 гг. Сделан вывод о вкладе компании в добычу углеводородов в пределах автономного округа. Материалы могут быть полезны специалистам нефтегазового комплекса и всем интересующимся деятельностью нефтяной отрасли.

OIL COMPANY'S «ROSNEFT» OIL COMPANY'S INFLUENCE IN GAS OIL EXTRACTION IN KHANTY-MANSIISK AUTHONOMOUS DISTRICT–UGRA IN EARLY XXI CENTURY

Solodovnikov A.Yu.

Tyumen Branch of SurgutNIPIneft, Tyumen

Keywords: oil company, undertaking company, hydrocarbons, supplies, extraction, Khanty-Mansiisk autonomous district – Ugra.

Abstract. In this article the analysis of «Rosneft» business activities in Khanty-Mansiisk autonomous district – Ugra in early quarter of XXI century is observed. The minefields' observation by the fluid types and their supplies numbers is performed. The gas and oil extraction dynamics in 2005-2023 is analysed. All materials presented can be very useful for the specialists of gas - oil industry and everyone interested in the gas – oil sphere.

Нефтяная компания «Роснефть» является самой крупной нефтедобывающей и одной из крупнейших газодобывающих компаний в России и одной из крупнейших в мире, о чём свидетельствуют её включение в различные мировые рейтинги на протяжении многих лет.

География работ в России охватывает более 10 регионов, среди которых одним из важнейших является Ханты-Мансийский автономный округ – Югра (ХМАО-Югра). В этом регионе НК «Роснефть» ведёт добычу углеводородов с 2005 г. когда ей перешёл самый ценный актив ликвидированной за долги НК «ЮКОС» – ОАО «Юганскнефтегаз». В настоящее время на территории автономного округа компания представлена 5 дочерними предприятиями: ООО «РН-Юганскнефтегаз», ОАО «Самотлорнефтегаз», ООО «РН-Няганьнефтегаз», ООО НК «Конданефть» и ООО «РН-Уватнефтегаз». Все предприятия кроме ООО «РН-Уватнефтегаз» входят в число 400 крупнейших предприятий Урала и Западной Сибири по объёму реализации продукции, занимая места в первой десятке и сотне предприятий.

Объём доказанных остаточных извлекаемых запасов нефти в пределах ХМАО-Югры по категории АВ₁С₁ на 01.01.2023 г. превысил 3,4 млрд руб. по этому

критерию компания занимает 1 место в автономном округе среди других недропользователей. Обеспеченность запасами нефти колеблется от 34 лет (ООО «РН-Юганскнефтегаз») до более чем 100 лет (ООО «РН-Уватнефтегаз») при уровне добычи 2022 г. [1].

На начало 2026 г. на балансе компании числилось около 50 месторождений. По типу флюида почти 94% месторождений относится к нефтяным и более 6% – к нефтегазоконденсатным. По величине запасов больше всего средних и крупных месторождений (по 32,7%), меньше всего — уникальных (6,1%). Нефтяные месторождения отмечены во всех категориях, нефтегазоконденсатные – в категории средние и уникальные (табл. 1).

Табл. 1. Распределение месторождений НК «Роснефть» по типу флюида и величине запасов на 01.01.2026 г.

Тип по флюиду	Всего		Мелкие		Средние		Крупные		Уникальные	
	кол-во	%	кол-во	%	кол-во	%	кол-во	%	кол-во	%
Нефтегазоконденсатные	3	100,0			1	33,3			2	66,7
Нефтяные	46	100,0	14	30,4	15	32,5	16	34,8	1	2,2
Итого	49	100,0	14	28,5	16	32,7	16	32,7	3	6,1

Примечание: составлена по [2-4].

Всего за 2005-2023 гг. всеми предприятиями компании в пределах ХМАО-Югры было добыто 1,6 млрд т нефти и 195,2 млрд м³ газа. По объёмам добычи нефти и газа НК «Роснефть» относится к числу самых крупных нефтегазодобывающих предприятий ХМАО-Югры, занимая 1 место. На долю компании приходится около 40% добычи нефти и более 40% автономного округа. В отдельные годы доля компании по добыче этих полезных ископаемых была ещё выше. В целом с 2005 по 2023 гг. доля компании в добычу нефти округа выросла в 2 раза, газа – в 8,4 раза (табл. 2).

Табл. 2. Вклад НК «Роснефть» в добычу углеводородов ХМАО-Югры в 2005-2023 гг.

Год	ХМАО-Югра				НК «Роснефть»			
	Нефть с газовым конденсатом		Газ		Нефть с газовым конденсатом		Газ	
	млн. т	%	млрд. м ³	%	млн. т	%	млрд. м ³	%
2005	268,0	100,0	27,5	100,0	51,2	19,1	1,4	5,0
2006	275,6	100,0	29,3	100,0	56,5	20,5	1,5	5,1
2007	278,6	100,0	28,4	100,0	60,4	21,7	1,5	5,3
2008	277,6	100,0	30,0	100,0	65,8	23,7	1,9	6,3
2009	270,6	100,0	31,1	100,0	66,4	24,5	4,0	12,9
2010	266,0	100,0	31,4	100,0	66,0	24,8	4,1	13,0
2011	263,2	100,0	31,4	100,0	66,7	25,2	4,4	14,0
2012	260,2	100,0	32,3	100,0	66,8	25,6	4,6	14,2
2013	254,2	100,0	33,0	100,0	101,8	40,0	15,7	47,6
2014	250,2	100,0	32,2	100,0	99,0	39,6	15,7	48,8
2015	242,8	100,0	32,0	100,0	95,7	39,4	15,9	49,7
2016	239,2	100,0	35,5	100,0	95,8	40,0	16,4	46,2
2017	234,6	100,0	33,9	100,0	98,5	42,0	17,0	50,1

Табл. 2. Продолжение

Год	ХМАО-Югра				НК «Роснефть»			
	Нефть с газовым конденсатом		Газ		Нефть с газовым конденсатом		Газ	
	млн. т	%	млрд. м ³	%	млн. т	%	млрд. м ³	%
2018	235,9	100,0	34,3	100,0	103,0	43,7	17,3	50,4
2019	235,3	100,0	34,7	100,0	105,2	44,7	18,0	51,9
2020	209,7	100,0	32,4	100,0	97,8	46,6	18,0	55,6
2021	214,1	100,0	31,9	100,0	92,5	43,2	12,8	40,1
2022	222,8	100,0	31,0	100,0	87,5	39,3	12,6	40,6
2023	216,0	100,0	29,4	100,0	84,6	39,2	12,4	42,1
Итого	5 608,0	100,0	711,4	100,0	1 516,2	27,9	195,2	27,4

Примечание: Публикация данные о добыче нефти и газа временно приостановлена на основании распоряжении Правительства РФ от 26.04.2023 № 1074-р. Составлена по [4-6].

Таким образом, НК «Роснефть» для главного нефтяного региона страны – ХМАО-Югры является одним из важнейших недропользователей, от деятельности которого в значительной степени зависит социально-экономическое развитие региона. При этом добываемые объёмы нефти и газа весьма ощутимы и в масштабах всей страны (к примеру, доля нефти добытой Роснефтью в ХМАО-Югре в 2025 г. составила 15,6% от общероссийской).

Список литературы

1. Недропользование в Ханты-Мансийском автономном округе – Югре в 2022 г. – Тюмень–Ханты-Мансийск: Издат. дом «ИздатНаукаСервис», 2023. – 224 с.
2. Разработка месторождений нефти и газа Ханты-Мансийского автономного округа – Югры. Том 1. А – М. – Тюмень: АУ НАЦ РН им. В.И. Шпильмана, 2020. – 501 с.
3. Разработка месторождений нефти и газа Ханты-Мансийского автономного округа – Югры. Том 2. Н – Я. – Тюмень: АУ НАЦ РН им. В.И. Шпильмана, 2020. – 501 с.
4. Официальный сайт научно-аналитического центра рационального недропользования ХМАО-Югры им. В.И. Шпильмана. – URL: <https://www.crru.ru/>
5. Официальный сайт ежемесячного нефтегазового журнала «Инфо ТЭК» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.citek.ru>
6. Солодовников А.Ю. География Тюменской области: нефтяная и газовая промышленность: монография. – Тюмень: Издательство Тюменского государственного университета, 2020. – 440 с.

Сведения об авторе:

Солодовников Александр Юрьевич – д.геогр.н., доцент, начальник научно-исследовательского отдела Экологии.

КОМПЛЕКСНЫЙ КОНТРОЛЬ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ВОДОНЕФТЯНЫХ ПОТОКОВ ПРИ ВНУТРИПРОМЫСЛОВОЙ ПЕРЕКАЧКЕ

Беляева Е.П., Безбородов Ю.Н.

Сибирский федеральный университет, Красноярск

Ключевые слова: водонефтяная смесь, эмульсия, динамическая вязкость, гидравлическое сопротивление, фазовая инверсия, внутрипромысловая перекачка, SCADA, энергосбережение.

Аннотация. Рассмотрена задача оперативного контроля водонефтяных потоков при внутрипромысловой перекачке. Предложен алгоритм расчёта эффективной вязкости, гидродинамического режима, коэффициента гидравлического сопротивления и потерь давления по данным о расходе, температуре, давлении и обводнённости. Показано, что учёт динамического изменения свойств эмульсии позволяет выявлять области неустойчивого течения и обосновывать рациональные режимы смешения продукции скважин. Практическая значимость работы заключается в возможности интеграции алгоритма в SCADA для поддержки решений технологического персонала.

INTEGRATED MONITORING OF THE HYDRODYNAMIC STATE OF OIL- WATER FLOWS DURING FIELD PIPELINE TRANSPORTATION

Belyaeva E.P., Bezborodov Yu.N.

Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

Keywords: oil-water mixture, emulsion, dynamic viscosity, hydraulic resistance, phase inversion, field pipeline transportation, SCADA, energy efficiency.

Abstract. The study addresses real-time monitoring of oil-water flows during field pipeline transportation. An algorithm is proposed for calculating effective viscosity, flow regime, hydraulic resistance and pressure losses using flow rate, temperature, pressure and water-cut data. Accounting for the dynamic changes in emulsion properties makes it possible to identify unstable flow conditions and justify rational wellstream mixing regimes. The practical significance lies in the potential integration of the algorithm into SCADA systems to support operational decisions.

Введение

Водонефтяные потоки, транспортируемые по промысловым трубопроводам, характеризуются изменяющимся соотношением фаз и нестационарными реологическими свойствами. Рост обводнённости продукции скважин и объединение потоков с различными расходами и вязкостью могут приводить к перестройке структуры эмульсии, изменению гидравлического сопротивления и увеличению потерь давления. Особенно важными становятся переходные режимы, в которых возможна смена непрерывной фазы и образование более вязкой эмульсионной структуры. В отличие от лабораторного анализа проб, оперативный контроль должен учитывать состояние потока непосредственно в процессе перекачки.

Цель работы – разработать расчётный подход к комплексной оценке гидродинамического состояния водонефтяного потока по текущим промысловым данным и определить возможность его применения для выбора рациональной последовательности смешения продукции скважин. Практическая задача

заключается в снижении вероятности неустойчивых режимов перекачки, значительных перепадов давления и неоправданных энергозатрат.

Материалы и методы

Исходными данными для расчёта служат расход, обводнённость, плотность, температура и давление продукции скважин, а также внутренний диаметр, длина и шероховатость контролируемого участка трубопровода. Данные могут поступать от поточных средств измерений и системы SCADA. Для каждого варианта смешения определяются суммарный расход и средневзвешенная обводнённость объединённого потока. Средняя скорость рассчитывается по выражению

$$v = \frac{4Q}{\pi D^2},$$

где Q – объёмный расход смеси, м³/с; D – внутренний диаметр трубопровода, м.

Эффективная динамическая вязкость определяется по выбранной реологической зависимости с учётом обводнённости и температуры. Для оценки режима течения используется число Рейнольдса

$$Re = \frac{\rho v D}{\mu_{eff}},$$

где ρ – плотность смеси, кг/м³; μ_{eff} – эффективная динамическая вязкость, Па·с.

Коэффициент гидравлического сопротивления выбирается с учётом режима течения и шероховатости трубопровода. Потери давления на участке оцениваются по уравнению Дарси–Вейсбаха

$$\Delta P = \lambda \left(\frac{L}{D} \right) \left(\frac{\rho v^2}{2} \right),$$

где λ – коэффициент гидравлического сопротивления; L – длина участка, м; ΔP – потери давления, Па.

Алгоритм предусматривает сравнение двух вариантов организации потока: беспорядочного смешения продукции скважин и селективного смешения потоков, сгруппированных по диапазонам обводнённости. Для каждой группы последовательно определяются характеристики объединённого потока, после чего анализируются зависимости $\lambda = f(v)$ и $\mu_{eff} = f(W, T)$. Критерием предпочтительного режима считается плавное изменение λ без выраженных локальных скачков.

Результаты

Расчёты выполнены по обезличенным данным одной из кустовых площадок рассматриваемого месторождения. При беспорядочном смешении продукции скважин с различной обводнённостью коэффициент гидравлического сопротивления изменяется неравномерно и имеет локальные максимумы. Такая динамика может свидетельствовать о структурной перестройке смеси и повышает вероятность роста потерь давления при транспортировке.

При селективном смешении потоки объединялись последовательно по диапазонам обводнённости: менее 50%, 50-70% и 70-99%. В этом случае изменение коэффициента гидравлического сопротивления становилось более плавным. Полученный результат указывает на возможность уменьшить контраст свойств смешиваемых потоков и обеспечить более предсказуемый гидродинамический режим.

Рассчитанные зависимости использовались для формирования рекомендации по очередности подключения продукции скважин к системе сбора. Алгоритм не заменяет решение технологического персонала: перед переключением должны проверяться достоверность измерений, фактическая схема трубопроводов, состояние арматуры и режим работы насосов.

Заключение

Разработан расчётный алгоритм комплексной оценки водонефтяного потока по расходу, обводнённости, температуре, плотности и давлению. Показано, что порядок смешения продукции скважин влияет на характер изменения гидравлического сопротивления и устойчивость процесса внутрипромысловой перекачки. Последовательное объединение потоков с близкими диапазонами обводнённости снижает вероятность резких изменений λ и может использоваться для выбора более стабильного режима работы системы сбора. Дальнейшие исследования должны включать проверку алгоритма на нескольких кустовых площадках, сопоставление расчётных результатов с поточными измерениями и количественную оценку энергетического эффекта.

Список литературы

1. Шестаков Р.А., Дульченко А.А. Анализ реологических свойств водонефтяных эмульсий // Neftegaz.RU. – 2022. – №12. – URL: <https://magazine.neftegaz.ru/articles/transportirovka/764898-analiz-reologicheskikh-svoystv-vodoneftyanykh-emulsiy/>.
2. Шарифуллин А.В., Хуснуллин Р.Р., Шарифуллин В.Н., Байбекова Л.Р. Поведение нефтяных эмульсий в процессе их перекачки // Вестник технологического университета. – 2014. – Т. 17, №8. – С. 289-293.
3. Евдокимов И.Н., Лосев А.П. Проблема инверсии в промысловых водонефтяных эмульсиях: I. Традиционные представления и их экспериментальное обоснование // Бурение и нефть. – 2010. – №3. – С. 16-17. – URL: <https://burneft.ru/archive/issues/2010-03>.
4. Arirachakaran S.K., Oglesby M.S., Malinovsky M.S., Shoham O., Brill J.P. An analysis of oil-water flow phenomena in horizontal pipes // SPE Production Engineering. 1989. Paper SPE-18836. P. 155-167.
5. Шарифуллин А.В., Байбекова Л.Р., Дусметова Г.И. Энергосбережение при транспортировке высоковязких нефтей и нефтяных эмульсий // Вестник технологического университета. – 2015. – Т. 18, №7. – С. 99-102.

Сведения об авторах:

Беляева Евдокия Петровна – к.т.н., доцент кафедры топливообеспечения и горюче-смазочных материалов Института нефти и газа;

Безбородов Юрий Николаевич – д.т.н., профессор, заведующий кафедрой топливообеспечения и горюче-смазочных материалов.

ТЕПЛООТДАЧА В ТРУБНОМ КАНАЛЕ ДВУХТРУБНЫХ АППАРАТОВ С ЭПИЦИКЛОИДАЛЬНЫМ ПРОФИЛЕМ ТЕПЛООБМЕННОЙ ТРУБЫ

*Воробьева С.Е., Голованов И.Ю., Соколова С.А., Шумова Н.В.
МИРЭА – Российский технологический университет, Москва*

Ключевые слова: теплообменник типа «труба в трубе», эпициклоидальная труба, трубный канал, теплоотдача, критерий Рейнольдса, критерий Нуссельта, численное моделирование, SolidWorks.

Аннотация. Выполнено численное сопоставление теплоотдачи в трубном пространстве двухтрубного теплообменного аппарата для внутренней трубы круглого сечения и труб с эпициклоидальными профилями, имеющими от одного до трёх каспов. Расчётные модели построены в программном комплексе «SolidWorks». Установлено, что при критерии Рейнольдса свыше 30000 применение профильных труб увеличивает коэффициент теплоотдачи относительно базового круглого канала. По результатам моделирования выполнена аппроксимация данных и предложено уточнённое уравнение для вычисления критерия Нуссельта в трубном пространстве всех рассмотренных аппаратов с эпициклоидальными трубами.

TUBE-SIDE HEAT TRANSFER IN DOUBLE-PIPE EXCHANGERS WITH AN EPICYCLOIDAL HEAT-TRANSFER-TUBE PROFILE

*Vorobyeva S.E., Golovanov I.Yu., Sokolova S.A., Shumova N.V.
MIREA – Russian Technological University, Moscow*

Keywords: double-pipe heat exchanger, epicycloidal tube, tube-side flow, heat-transfer coefficient, Reynolds criterion, Nusselt criterion, numerical simulation, SolidWorks.

Abstract. Numerical simulations were performed to evaluate tube-side convective heat transfer in a double-pipe exchanger fitted with inner tubes whose cross-sections are epicycloids with one, two, or three cusps. A circular tube served as the reference configuration. The models were created in the SolidWorks software package. At tube-side Reynolds criterion values above 30000, the profiled tubes yielded a higher heat-transfer coefficient than the circular tube. The simulation results were correlated to obtain a refined equation for the tube-side Nusselt criterion applicable to all three epicycloidal profiles.

Изменение геометрии внутренней теплообменной трубы относится к пассивным способам интенсификации теплопередачи [1]. Некруглый профиль создаёт дополнительные возмущения в потоках и одновременно увеличивает площадь поверхности теплопередачи при сохранении наружных размеров аппарата.

Количественной характеристикой интенсивности процесса в рекуперативном аппарате служит коэффициент теплопередачи [2]:

$$K = \frac{Q}{F \cdot \Delta t}, \quad (1)$$

где K – коэффициент теплопередачи, Вт/(м²·°С); Q – тепловая мощность, определяемая из теплового баланса, Вт; F – площадь поверхности теплопередачи, м²; Δt – средний температурный напор, °С.

Если отношение толщины стенки теплообменной трубы к её внутреннему диаметру меньше 0,4, суммарное термическое сопротивление допускается рассчитывать по схеме теплопередачи через плоскую стенку [2]:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_T} + \frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ст}} + \frac{1}{\alpha_{MT}} + R_{заг}}, \quad (2)$$

где α_T и α_{MT} – коэффициенты теплоотдачи, соответственно, трубного и межтрубного пространств, Вт/(м²·°C); $\delta_{ст}$ – толщина теплопередающей стенки, м; $\lambda_{ст}$ – теплопроводность материала стенки, Вт/(м·°C); $R_{заг}$ – термическое сопротивление загрязнений на этой стенке, (м²·°C)/Вт.

Величина коэффициента теплопередачи определяется участком с наибольшим термическим сопротивлением, то есть стороной с меньшим коэффициентом теплоотдачи. Поэтому профилирование внутренней трубы может быть полезно сразу для обоих потоков двухтрубного аппарата.

Для описания конвективной теплоотдачи при движении рабочей среды в каналах двухтрубного аппарата используют обобщённую критериальную зависимость [2]:

$$Nu = f(Re, Pr), \quad (3)$$

где Nu – критерий Нуссельта, Re – критерий Рейнольдса, Pr – критерий Прандтля.

Для круглой теплообменной трубы значения коэффициентов теплоотдачи со стороны трубного и межтрубного потоков находят по известной зависимости [3]:

$$Nu = 0,022 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,4} \cdot (Pr/Pr_{ст})^{0,25}, \quad (4)$$

где $Pr_{ст}$ – критерий Прандтля, рассчитанный при температуре теплопередающей стенки.

Поправочный множитель $(Pr/Pr_{ст})^{0,25}$ при нагревании жидкости принимают равным 1, а при её охлаждении – 0,93 [3].

Цель численного исследования – сопоставить теплоотдачу в трубном канале базового двухтрубного аппарата и трёх модификаций внутренней трубы. Для модифицированных вариантов в «SolidWorks» заданы сечения в форме эллипсоидов с одним, двумя и тремя каспами (рис. 1).

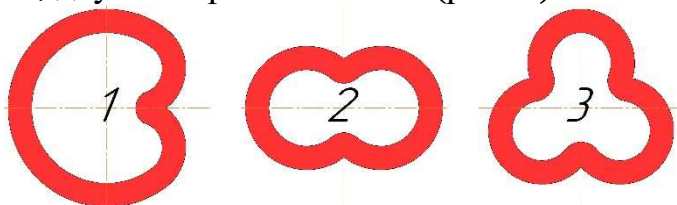


Рис. 1. Исследованные эллипсоидальные сечения теплообменных труб с одним, двумя и тремя каспами

В расчётных моделях использованы следующие геометрические характеристики [4]. Кожуховая труба имеет размер Ø57×4 мм и длину 1400 мм, а внутренняя труба базового аппарата – Ø25×3 мм и длину 1500 мм. Характерный диаметр каждого эллипсоидального профиля выбран из условия равенства площади его сечения площади сечения базовой круглой трубы. Длина поверхности теплопередачи во всех вариантах составляет 1400 мм; патрубки межтрубного пространства имеют размер Ø50×4 мм и длину 155 мм. Материал аппаратов – сталь

08X18H10T, для которой теплоёмкость принята равной 504 Дж/(кг·°С), а теплопроводность – 17 Вт/(м·°С).

Вода используется в качестве теплоносителя в обоих каналах. На входе в трубное пространство её температура равна 60°С, на входе в межтрубное = 20°С. Расход трубного потока изменяется от $7,1 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{с}$ ($Re = 10000$) до $2,8 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с}$ ($Re = 40000$). Для межтрубного потока установлен диапазон от $5,9 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с}$ ($Re = 10000$) до $2,3 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$ ($Re = 40000$).

Аппроксимация результатов моделирования для всех трёх эллипсоидальных профилей позволила получить единое расчётное уравнение критерия Нуссельта с уточнёнными эмпирическими коэффициентами:

$$Nu = 0,012 \cdot Re^{0,83} \cdot Pr^{0,4} \cdot (Pr/Pr_{ст})^{0,25}. \quad (5)$$

По уравнениям (4) и (5) рассчитаны коэффициенты теплоотдачи в трубном пространстве для круглой и эллипсоидальных труб. Полученная зависимость от критерия Рейнольдса приведена на рисунке 2.

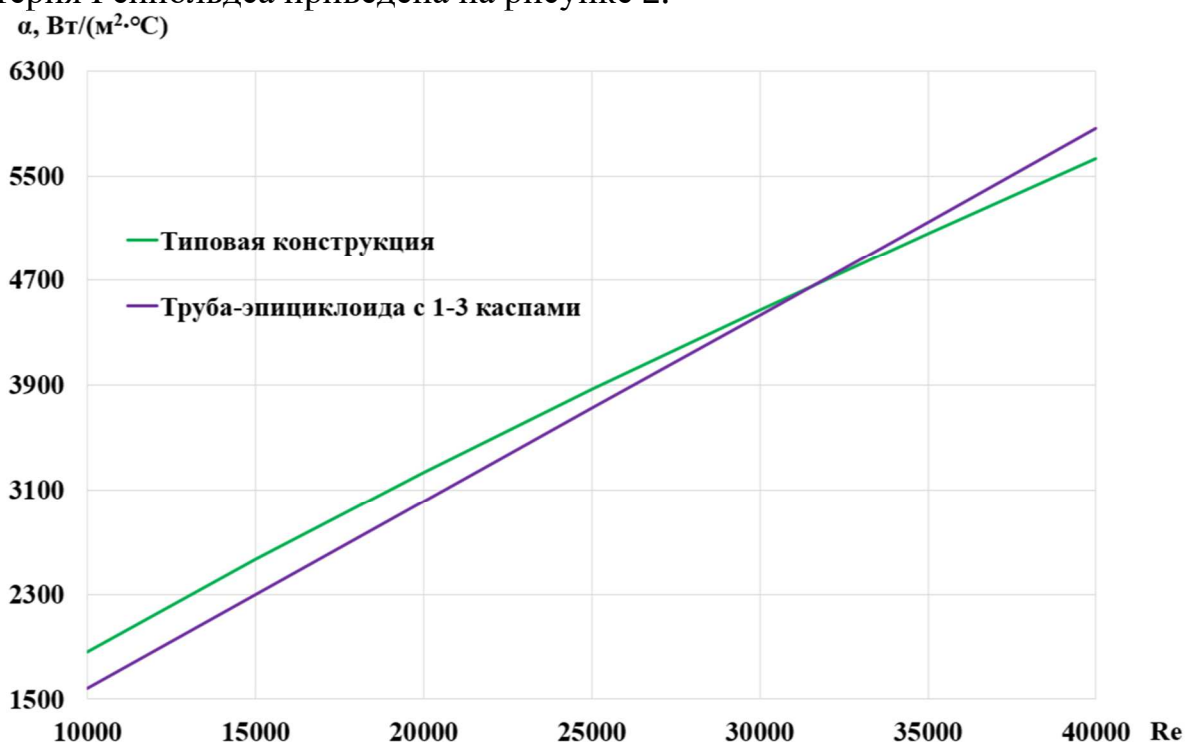


Рис. 2. Изменение коэффициента теплоотдачи в трубном пространстве при увеличении критерия Рейнольдса для базовой и модифицированных конструкций

Графики показывают, что после достижения $Re = 30000$ эллипсоидальные каналы с одним, двумя и тремя каспами обеспечивают более высокий коэффициент теплоотдачи, чем круглая труба. Следовательно, эффект профилирования наиболее выражен в верхней части исследованного диапазона расходов.

Трубы с эллипсоидальным сечением также представляют интерес для иных видов теплоэнергетического и холодильного оборудования [5-9]. Увеличение коэффициента теплоотдачи со стороны трубного пространства за счёт эллипсоидального профиля в таком оборудовании может приводить к росту коэффициента теплопередачи и общей интенсивности процесса.

Список литературы

1. Чернявская В.В., Лагуткин М.Г., Голованов И.Ю. Анализ конструкций и перспективы совершенствования трубчатых теплообменных аппаратов // Химическая технология. – 2025. – Т. 26, №11. – С. 431-439.
2. Касаткин, А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. Учебник для вузов. – М.: Альянс, 2020. – 752 с.
3. Павлов, К.Ф., Романков, П.Г., Носков, А.А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. Учебное пособие для вузов / под ред. чл.-корр. АН СССР П.Г. Романкова. – 10-е изд., перераб. и доп. – Л.: Химия, 1987. – 576 с.
4. Голованов И.Ю., Соколова С.А., Лагуткин М.Г. Повышение интенсивности теплопередачи двухтрубных теплообменных аппаратов при использовании профильных труб // Энерго- и ресурсосбережение: промышленность и транспорт. – 2026. – №1(54). – С. 6-11.
5. Чернявская В.В., Сапожников В.Б., Чернявский А.В., Угольникова М.А. Оценка энергетической эффективности установок разделения жидких сред методом вымораживания на основе анализа производства энтропии // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. – 2025. – Т. 52, №4. – С. 6-15.
6. Sapozhnikov V.B., Ugolnikova M.A., Chernyavskaya V.V. Evaluating the Performance of Low-Temperature Liquid Separation Devices with Two-Stage Refrigeration and Pre-Cooling // Chemical and Petroleum Engineering. 2023, vol. 59, no. 1-2, pp. 134-138.
7. Atachkina N.A., Baranova E.Y., Lagutkin M.G. Separation of Suspensions in Apparatus with Counterswirling Flows // Chemical and Petroleum Engineering. 2021, vol. 57, no. 1-2, pp. 89-97.
8. Ugolnikova M.A., Chernyavskaya V.V. Dynamics of Water Ice Formation during the Operation of Vessel Cryoconcentrators // Chemical and Petroleum Engineering. 2021, vol. 57, no. 7-8, pp. 561-566.
9. Маринюк Б.Т., Угольникова М.А. Динамика намораживания водного льда на трубчатых элементах льдогенераторов // Холодильная техника. – 2016. – №12. – С. 44-47.

Сведения об авторах:

Воробьева Софья Евгеньевна – студент;

Голованов Иван Юрьевич – к.т.н., доцент кафедры Процесов и аппаратов химических технологий имени Гельперина Н.И.;

Соколова Светлана Анатольевна – ассистент кафедры Процесов и аппаратов химических технологий имени Гельперина Н.И.;

Шумова Надежда Вадимовна – к.т.н., доцент кафедры Процесов и аппаратов химических технологий имени Гельперина Н.И.

ВЛИЯНИЕ ФОРМЫ СТЕРЖНЕВОГО НАРУЖНОГО ОРЕБРЕНИЯ НА ТЕПЛОПЕРЕДАЧУ В АППАРАТЕ ТИПА «ТРУБА В ТРУБЕ»

Воробьева С.Е.¹, Голованов И.Ю.¹, Навкаршоева С.Б.², Шумова Н.В.¹

¹МИРЭА – Российский технологический университет, Москва;

²Московский Политехнический университет, Москва

Ключевые слова: аппарат «труба в трубе», наружное оребрение, стержневой интенсификатор, треугольник Рёло, этиленгликоль, коэффициент теплопередачи, гидравлические потери, критерий Рейнольдса, численное моделирование.

Аннотация. Методом численного моделирования сопоставлены два варианта наружного стержневого оребрения внутренней трубы теплообменного аппарата типа «труба в трубе». В первом варианте стержни имеют сечение треугольника Рёло, во втором – крестообразное сечение, составленное из четырёх таких треугольников. Моделировалось противоточное охлаждение горячей воды, движущейся по трубному каналу, 20%-ным раствором этиленгликоля в межтрубном пространстве. Для обеих конструкций получены зависимости коэффициента теплопередачи и отношения тепловой мощности к мощности, затрачиваемой на перекачивание, от критерия Рейнольдса межтрубного потока. Установлено, что в диапазоне 18000-40000 крестообразный профиль обеспечивает наибольший коэффициент теплопередачи при сопоставимых энергетических затратах.

EFFECT OF ROD-FIN CROSS-SECTION ON HEAT TRANSFER IN A DOUBLE-PIPE EXCHANGER

Vorobyeva S.E.¹, Golovanov I.Yu.¹, Navkarshoeva S.B.², Shumova N.V.¹

¹MIREA – Russian Technological University, Moscow;

²Moscow Polytechnic University, Moscow

Keywords: double-pipe exchanger, external fins, rod intensifier, Reuleaux triangle, ethylene glycol, overall heat-transfer coefficient, hydraulic losses, Reynolds criterion, numerical simulation.

Abstract. Two arrangements of external rod-type fins on the inner tube of a double-pipe heat exchanger were compared numerically. The rods had either a Reuleaux-triangle section or a cross-shaped section assembled from four Reuleaux triangles. Countercurrent cooling of hot tube-side water by a 20 wt.% ethylene-glycol solution in the annular passage was simulated. For both configurations, the overall heat-transfer coefficient and the ratio of heat duty to pumping-power loss were evaluated as functions of the annular-flow Reynolds criterion. In the 18000-40000 range, the cross-shaped profile provided the highest heat-transfer coefficient at comparable energy expenditure.

Аппараты с концентрическим расположением двух труб применяют для нагревания и охлаждения жидкостей и газов, а также в процессах конденсации. Типовая схема такого теплообменника показана на рисунке 1 [1].

Согласно данным [2-4], общую интенсивность теплопередачи в двухтрубных аппаратах нередко ограничивает теплоотдача со стороны кольцевого канала. Одним из способов её повышения является размещение на наружной стенке внутренней трубы цельнометаллических стержневых элементов [2-4]. При невысоких значениях критерия Рейнольдса такие элементы формируют дополнительные возмущения потока и способны повысить энергетическую результативность даже при близких теплофизических свойствах сред. Этот эффект

ранее отмечен для систем вода-вода [3] и вода-этиленгликоль [4]. Поэтому практический интерес представляет выбор поперечного профиля стержней, обеспечивающего благоприятное соотношение теплового эффекта и гидравлических затрат.

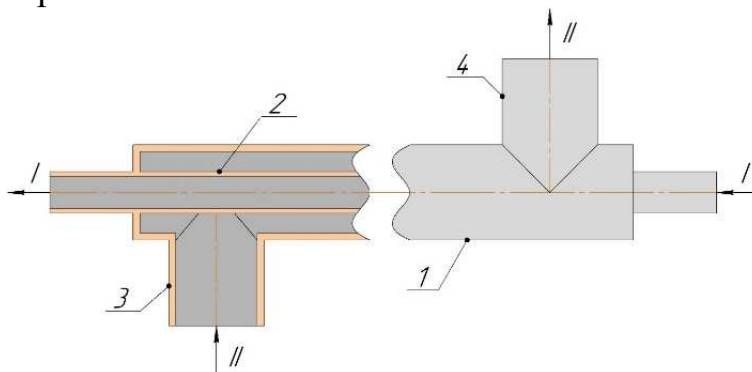


Рис. 1. Схема аппарата типа «труба в трубе»: 1 – кожуховая труба; 2 – теплообменная труба; 3 – входной патрубок межтрубного канала; 4 – выходной патрубок межтрубного канала; I – трубный поток; II – межтрубный поток

Гидродинамический режим потока характеризуется критерием Рейнольдса [1]:

$$Re = \frac{v \cdot l \cdot \rho}{\mu}, \quad (1)$$

где v – скорость теплоносителя, м/с; l – характерный размер канала, м; ρ – плотность теплоносителя, кг/м³; μ – динамическая вязкость теплоносителя, Па·с.

Для трубного потока в качестве характерного размера используют внутренний диаметр теплообменной трубы.

Характерный размер кольцевого канала базовой конструкции можно представить диаметром круга, площадь которого совпадает с площадью зазора между трубами. После установки стержней свободное сечение дополнительно зависит от их формы, размеров и количества. Это влияние учтём через объём, занятый интенсификаторами в межтрубном пространстве:

$$d_x = \sqrt{\frac{4 \cdot \left(\frac{\pi \cdot d_{\text{MT}}^2}{4} - \frac{\pi \cdot d_{\text{T}}^2}{4} - \frac{V_{\text{инт}}}{L} \right)}{\pi}}, \quad (2)$$

где d_x – характерный размер межтрубного канала, м; d_{MT} – внутренний диаметр кожуховой трубы, м; d_{T} – наружный диаметр теплообменной трубы, м; $V_{\text{инт}}$ – объём стержневых элементов, м³; L – длина межтрубного пространства, м.

Для аппарата без оребрения отношение $V_{\text{инт}}/L$ в зависимости (2) равно 0.

Сравнение вариантов конструкций выполним по двум характеристикам теплопередачи [1, 3, 4]:

– коэффициенту теплопередачи, отражающему интенсивность переноса теплоты:

$$K = \frac{Q}{F \cdot \Delta t}, \quad (3)$$

где K – коэффициент теплопередачи, Вт/(м²·°С); Q – тепловая мощность, Вт; F – площадь поверхности теплопередачи по наружной стороне внутренней трубы с

добавлением поверхности интенсификаторов, м^2 ; Δt – средний температурный напор, $^{\circ}\text{C}$;

– отношению передаваемой тепловой мощности к мощности, теряемой при прокачивании обоих теплоносителей:

$$\Delta E = \frac{Q}{E}, \quad (4)$$

где ΔE – тепловая мощность на единицу потерь мощности при перекачивании, Вт/Вт ; E – суммарные потери мощности на движение теплоносителей, Вт .

Мощность, расходуемая на преодоление гидравлического сопротивления двух каналов, определяется по формуле [3]:

$$E = V_T \cdot \Delta P_T + V_{MT} \cdot \Delta P_{MT}, \quad (5)$$

где V_T и V_{MT} – объёмные расходы, соответственно, трубного и межтрубного потоков, $\text{м}^3/\text{с}$; ΔP_T и ΔP_{MT} – гидравлические сопротивления соответствующих каналов, Па .

По показателям (3) и (4) оценим, как изменение поперечного сечения стержней наружного оребрения сказывается на характеристиках аппарата типа «труба в трубе».

Тепловое течение рассчитывается численно в модуле «Flow Simulation» программного комплекса «SolidWorks».

Рассматриваются две оребрённые конструкции. В первом случае на внешней стороне теплообменной трубы закреплены цельнометаллические стержни с сечением треугольника Рёло [3, 5]. Во втором случае сечение каждого стержня образовано четырьмя треугольниками Рёло [3]. Принцип построения второго профиля приведён на рисунке 2.

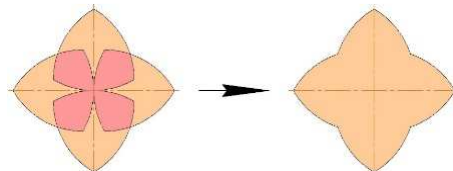


Рис. 2. Формирование крестообразного профиля стержня объединением четырёх треугольников Рёло

Рабочей средой трубного канала является вода, а в межтрубном пространстве движется раствор этиленгликоля с массовой концентрацией 20%. Конструкции целиком выполнены из стали 08Х18Н10Т. Температурные зависимости теплофизических характеристик стали и обеих жидкостей задаются средствами «Flow Simulation». При последующей обработке расчётных данных свойства воды и этиленгликоля принимаются при средних температурах соответствующих потоков.

Геометрия модели включает кожуховую трубу $\text{Ø}57 \times 4$ мм длиной 1400 мм и теплообменную трубу $\text{Ø}25 \times 3$ мм длиной 1500 мм [3]. Протяжённость рабочей поверхности теплопередачи равна 1400 мм. Межтрубный канал снабжён патрубками $\text{Ø}32 \times 4$ мм длиной 155 мм, выбранными по рекомендациям справочника [6].

Контуры обоих типов стержней вписываются в окружность диаметром 6 мм. Профили ориентированы вершинами треугольников Рёло навстречу потоку воды (рис. 3).

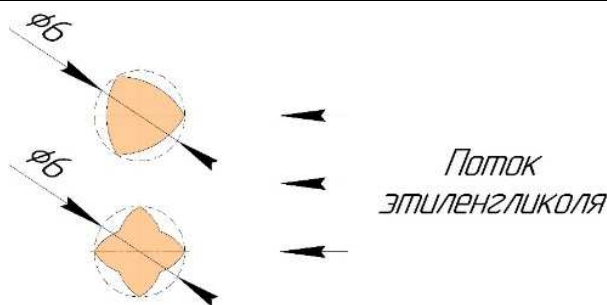


Рис. 3. Размеры профилей и их ориентация относительно потока этиленгликоля в межтрубном канале

Высота стержней составляет 6 мм, что соответствует половине зазора между наружной стенкой теплообменной трубы и внутренней стенкой кожуха. Интенсификаторы распределены по длине трубы с шагом 50 мм. В каждом поперечном сечении размещены четыре стержня (рис. 4). Всего конструкции содержат по 108 интенсификаторов.

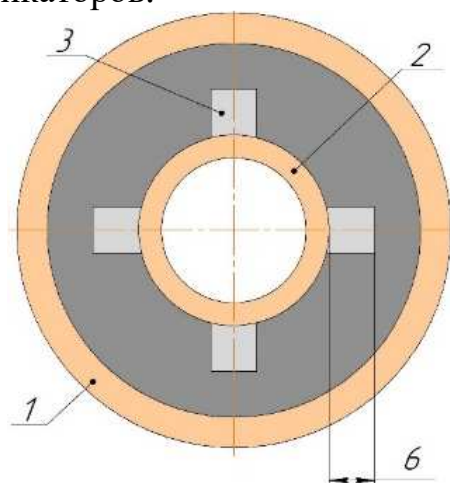


Рис. 4. Параметры поперечного сечения и размещение интенсификаторов относительно потока этиленгликоля в межтрубном пространстве

На входе в трубный канал температура воды задаётся равной 60°C , а на входе в межтрубный канал температура этиленгликоля составляет 20°C . Расход воды поддерживается на уровне $2,8 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с}$, соответствующем $Re = 40000$. Расход этиленгликоля изменяется от $3,6 \cdot 10^{-4}$ до $3,9 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$, что приблизительно соответствует диапазону критерия Рейнольдса 4000-40000.

После обработки результатов для каждого значения критерия Рейнольдса межтрубного потока рассчитаны коэффициент K по формуле (3) и показатель ΔE по формуле (4). Соответствующие графики представлены на рисунках 5 и 6.

Анализ расчётных кривых позволяет сформулировать следующие положения:

- 1) поперечный профиль стержневого оребрения влияет на интенсивность теплопередачи, характеризуемую коэффициентом K (3);
- 2) при определении характерного размера d_x по формуле (2) для оребрённой конструкции необходимо вычитать объём, занятый интенсификаторами в межтрубном канале;
- 3) в диапазоне критерия Рейнольдса 18000-40000 стержни крестообразного сечения из четырёх треугольников Рёло обеспечивают более высокий

коэффициент K (3), чем стержни с сечением треугольника Рёло, при сопоставимых значениях показателя ΔE (4).

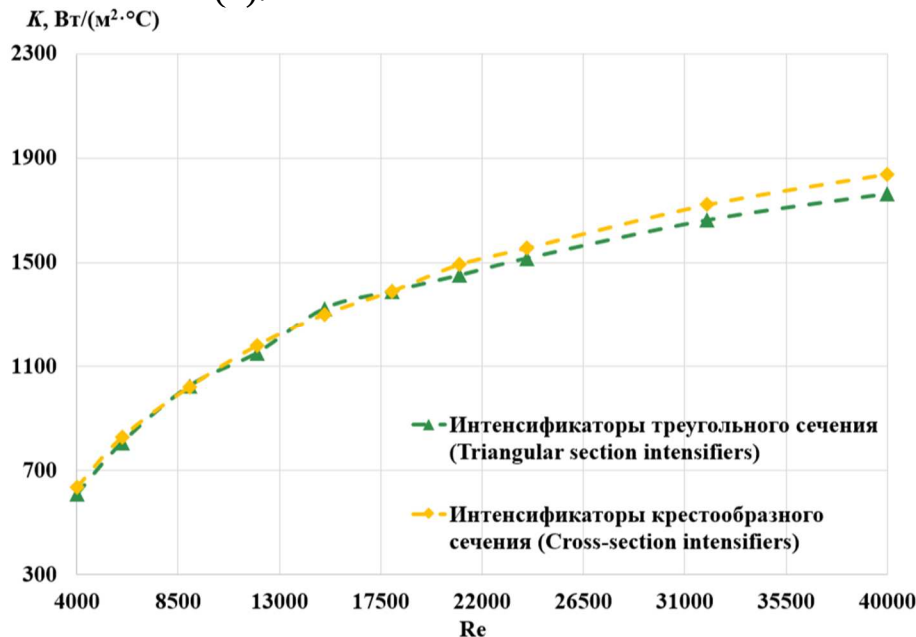


Рис. 5. Изменение коэффициента теплопередачи K (3) с ростом критерия Рейнольдса межтрубного потока

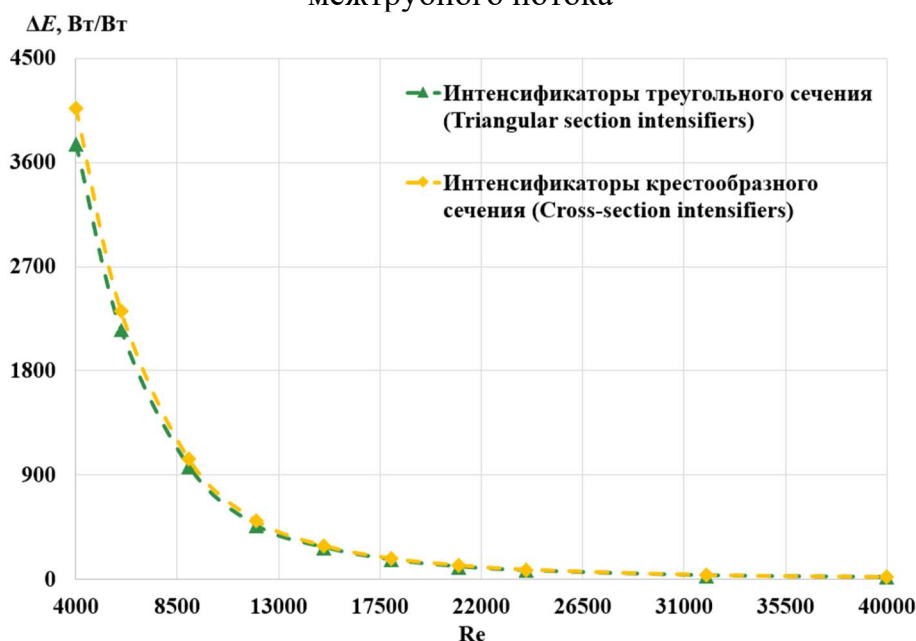


Рис. 6. Изменение отношения тепловой мощности к мощности на перекачивание ΔE (4) с ростом критерия Рейнольдса межтрубного потока

Крестообразные цельнометаллические стержни могут применяться не только в двухтрубных теплообменниках, но и при разработке других видов теплоэнергетического и холодильного оборудования [7, 8].

Список литературы

1. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. Учебник для вузов. – М.: Альянс, 2020. – 752 с.
2. Романова Е.В., Колиух А.Н., Лебедев Е.А. Применение пакета Ansys при исследовании гидравлического сопротивления оребренного рекуператора // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2017. – Т. 23, №3. – С. 420-427.

3. Занина К.О., Голованов И.Ю., Лагуткин М.Г., Даянова Д.Д. Совершенствование двухтрубных теплообменников путем их снабжения различными интенсификаторами процесса теплообмена // Энерго- и ресурсосбережение: промышленность и транспорт. – 2025. – №4(53). – С. 6-10.
4. Чернявская В.В., Сапожников В.Б., Голованов И.Ю., Угольников М.А. Оценка влияния интенсификаторов теплообмена на энергомассовую эффективность кристаллизаторов // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. – 2025. – №52(1). – С. 22-30.
5. Патент №226381 РФ. Теплообменный аппарат типа "труба в трубе" / К.О. Занина, И.Ю. Голованов, М.Г. Лагуткин. – Заявка №2024109431 от 08.04.2024; опубл. 31.05.2024, Бюл. №16.
6. Лацинский А.А. Конструирование сварных химических аппаратов: справочник. – М.: Альянс, 2008. – 384 с.
7. Sapozhnikov V.B., Ugolnikova M.A., Chernyavskaya V.V. Evaluating the Performance of Low-Temperature Liquid Separation Devices with Two-Stage Refrigeration and Pre-Cooling // Chemical and Petroleum Engineering. 2023, vol. 59, no. 1-2, pp. 134-138.
8. Ugolnikova M.A., Chernyavskaya V.V. Dynamics of water ice formation during the operation of vessel cryoconcentrators // Chemical and petroleum engineering. 2021, vol. 57, no. 7-8, pp. 561-566.

Сведения об авторах:

Воробьева Софья Евгеньевна – студент;

Голованов Иван Юрьевич – к.т.н., доцент кафедры Процессов и аппаратов химических технологий имени Гельперина Н.И.;

Навкаршоева Сабина Бахридиновна – ассистент кафедры «Аппаратурное оформление и автоматизация технологических производств им. проф. М.Б. Генералова»;

Шумова Надежда Вадимовна – к.т.н., доцент кафедры Процессов и аппаратов химических технологий имени Гельперина Н.И.

АНАЛИЗ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА NI MULTISIM В ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ 10 КВ

Савченко А.Ю., Добродей А.О.

Гомельский государственный технический университет им. П.О. Сухого, Гомель, Республика Беларусь

Ключевые слова: однофазное замыкание на землю, режим нейтрали, NI Multisim, моделирование, кратность перенапряжения, низкоомный резистор.

Аннотация. Выполнено моделирование перенапряжений в сети 10 кВ при однофазном замыкании на землю в NI Multisim. Рассмотрены режимы изолированной и резистивно-заземленной нейтрали. Определены кратность и длительность перенапряжений. Наибольшая кратность получена при изолированной нейтрали; низкоомный резистор снижает перенапряжения этой сети 10 кВ.

ANALYSIS OF OVERVOLTAGES IN A 10 KV ELECTRICAL NETWORK USING THE NI MULTISIM SOFTWARE SUITE

Savchenko A.Yu., Dobrodey A.O.

Sukhoi State Technical University of Gomel, Gomel, Republic of Belarus

Keywords: single-phase-to-ground fault, neutral grounding mode, NI Multisim, modeling, overvoltage magnitude, low-resistance resistor.

Abstract. Overvoltages in a 10 kV network during a single-phase-to-ground fault were modeled using NI Multisim. Operating modes with isolated and resistance-grounded neutrals were examined. The magnitude (multiplicity) and duration of the overvoltages were determined. The highest overvoltage magnitude was observed with an isolated neutral; a low-resistance resistor reduces overvoltages in this 10 kV network.

В настоящее время в Республике Беларусь электрические сети напряжением 6-35 кВ эксплуатируются с различными режимами нейтрали: изолированная нейтраль, компенсированная нейтраль (нейтраль, заземленная через дугогасящий реактор), резистивно-заземленная нейтраль [1].

Основным достоинством данных сетей является высокая степень надежности электроснабжения потребителей при однофазном замыкании на землю. Но слабая электрическая связь этих сетей с нулевым потенциалом земли неизбежно приводит к возникновению в сети значительных перенапряжений [2].

Высокая аварийность электрических сетей напряжением 6-35 кВ обуславливает актуальность задачи повышения надежности электроснабжения потребителей.

В данной работе выполнено компьютерное моделирование перенапряжений в сети 10 кВ при однофазном замыкании на землю в программном комплексе NI Multisim. По результатам моделирования получены осциллограммы переходных процессов при развитии перенапряжений, а также рассчитаны кратности перенапряжений при различных режимах работы нейтрали сети.

Для моделирования перенапряжений выбрана одна секция шин подстанции ПС-10 кВ с отходящими кабельными линиями (рис. 1).

Рассчитав необходимые параметры схемы замещения и набрав ее в рабочую область программного комплекса (рис. 2), проведем анализ перенапряжений на моделируемой секции шин подстанции при замыкании фазы С на землю [3].

В результате моделирования в программном пакете NI Multisim получена осциллограмма напряжений в замкнутой фазе и одной из рабочих фаз (рис. 3).

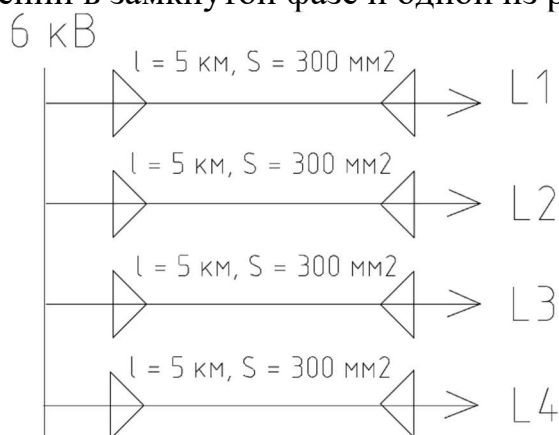


Рис. 1. Секция шин РУ-6 кВ подстанции

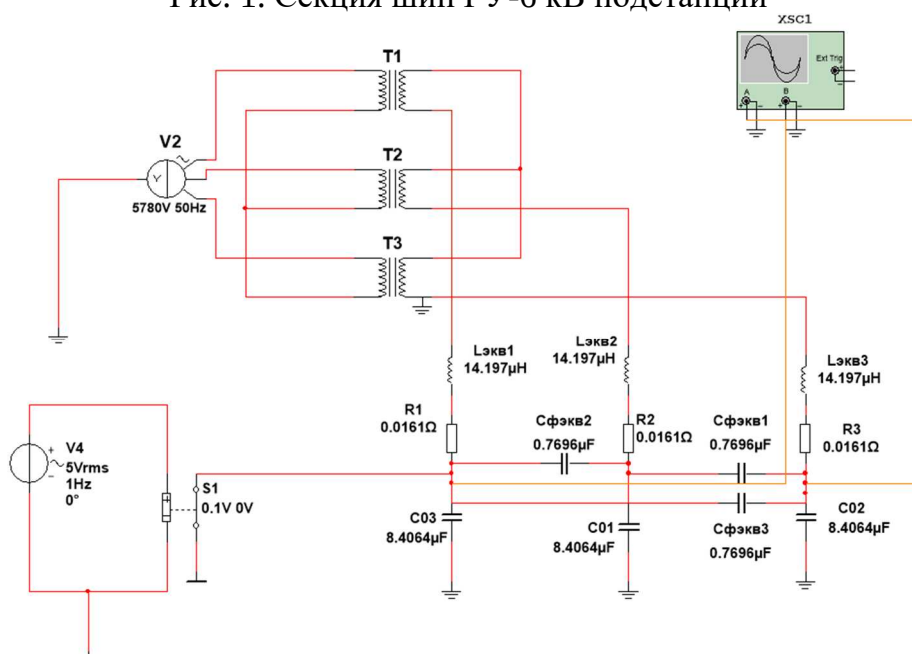


Рис. 2. Схема для моделирования перенапряжений при замыкании фазы С на землю

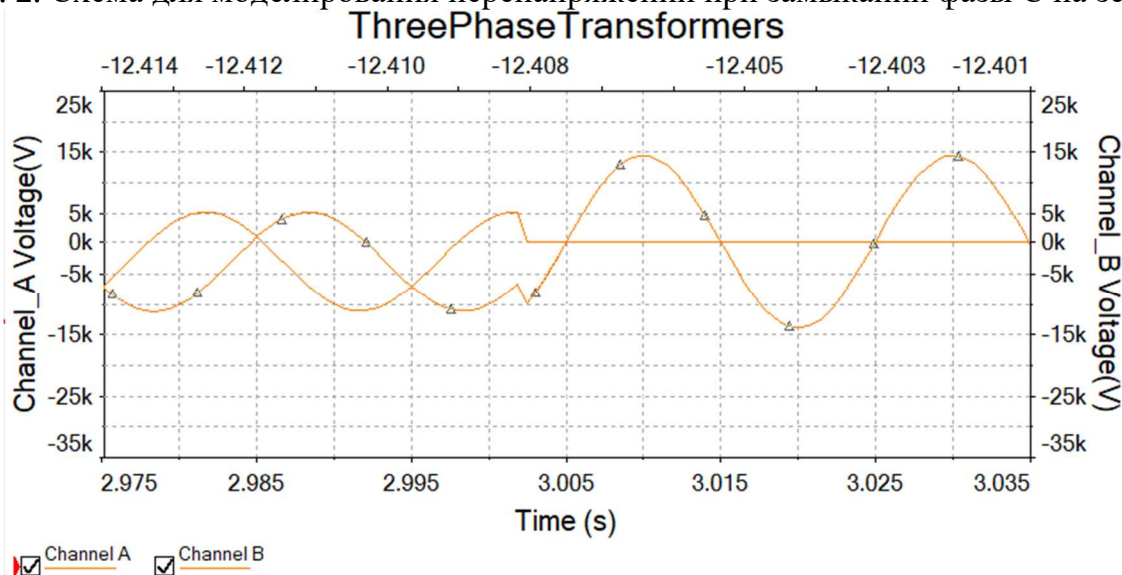


Рис. 3. Осциллограмма перенапряжений для замыкания фазы С на землю

По графику переходного процесса при замыкании фазы С на землю в сети с изолированной нейтралью зафиксирована амплитуда максимального перенапряжения $U_{max} = 14780$ В, при амплитуде наибольшего рабочего напряжения $U_{ном\ фазное} = 5780$ В.

Коэффициент перенапряжения равен:

$$K = \frac{U_{max}}{U_{ном\ фазное}} = \frac{14780}{5780} = 2,55.$$

Длительность перенапряжения равна 0,052 с.

Аналогично проведем моделирования однофазных замыканий на землю фазы С для других режимов работы нейтрали. Результаты моделирования приведены в таблице 1.

Табл. 1. Значения кратности и длительности протекания перенапряжений в сети при различных режимах заземления нейтрали

Режим нейтрали	K_n , о.е.	T_n , с
Изолированная нейтраль	2,55	0,052
Сеть заземления через резистор, рассчитанный по общей методике	2,54	0,051
Сеть, заземленная через низкоомный резистор	2,51	0,052
Сеть, заземленная через высокоомный резистор	2,49	0,051

В данной работе проведено моделирование перенапряжений на секции шин подстанции ПС-10 кВ при различных режимах заземления нейтрали. При замыкании на землю получены осциллограммы переходных процессов при замыкании фазы С на землю. По осциллограммам рассчитаны кратности перенапряжений. Наибольшая кратность перенапряжений и длительный переходный процесс получен при изолированной нейтрали сети. Для снижения кратности перенапряжений в данной сети по результатам моделирования наиболее предпочтительным является режим нейтрали, заземленной через низкоомный резистор.

Список литературы

1. Руководство Multisim // National Instruments Corporation. – 2007. – 491 с.
2. Халилов Ф.Х., Евдокунин Г.А., Поляков В.С. и др. Защита сетей 6-35 кВ от перенапряжений / под ред. Ф.Х. Халилова и др. – СПб.: Энергоатомиздат. С.-Петербург. отделение, 2002. – 272 с.
3. СТП 09110.20.187-09. Методические указания по заземлению нейтрали сетей 6-35 кВ через резистор. – ГПО «Белэнерго», 2009. – 69 с.

Сведения об авторах:

Савченко Антон Юрьевич – студент;

Добродей Александр Олегович – к.т.н., доцент, декан энергетического факультета.

Научное периодическое издание

Модернизация и инновационное развитие топливно-энергетического комплекса

**Материалы международной
научно-практической конференции**

№9

Верстка и корректура: ИП Жукова Е.В.

Формат издания 60x84 1/16. Усл. печ. л. 2,38.

Подписано в печать 25.09.2026г. Заказ №24-17.

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

<https://doi.org/10.26160/2618-8953-2026-9>

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

Ответственный редактор: Жуков Иван Алексеевич.

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

<http://srcms.ru>

E-mail: spbf@srcms.ru