

**ТВЕРИТИНА КРИСТИНА СЕРГЕЕВНА,
ТИТОВА АЛИНА АЛЕКСЕЕВНА,
ШАХБАЗОВА ПОЛИНА ТИГРАНОВНА,**
Балтийский Федеральный университет им. И. Канта,
Россия, г. Калининград.

**TVERITINA KRISTINA SERGEEVNA,
TITOVA ALINA ALEKSEEVNA,
SHAKHBAZOVA POLINA TIGRANOVNA,**
Immanuel Kant Baltic Federal University,
Russia, Kaliningrad.

АНАЛИЗ РАЗВИТИЯ МЕТОДОВ ПОДГОТОВКИ НЕФТИ НА МЕСТОРОЖДЕНИЯХ

Предметом исследования является анализ современных методов подготовки нефти на месторождениях Российской Федерации. Объект исследования – процессы сепарации, обезвоживания и обессоливания нефти, а также их влияние на эффективность нефтедобычи. В исследовании применялись методы теоретического анализа и сравнительного изучения различных технологий. Рассматриваются такие аспекты, как экологические проблемы, использование химических реагентов и инновации в технологии подготовки. Основными выводами являются выявление необходимости внедрения комбинированных и нанотехнологий для повышения эффективности процесса. Вкладом автора является обоснование перехода к более экологичным методам и анализ новых тенденций в цифровизации нефтедобычи. В результате определено, что использование комбинированных методов подготовки существенно повышает качество нефти.

The study analyzes modern oil treatment methods at fields in the Russian Federation. The focus is on separation, dehydration, and desalting processes, as well

as their impact on oil production efficiency. The study utilized theoretical analysis and comparative studies of various technologies. Environmental issues, the use of chemical reagents, and innovations in treatment technology are considered. Key findings include the need to implement combined and nanotechnologies to improve process efficiency. The author's contribution includes a rationale for the transition to more environmentally friendly methods and an analysis of new trends in the digitalization of oil production. The study concluded that the use of combined treatment methods significantly improves oil quality.

Ключевые слова: *методы подготовки нефти, сепарация, обезвоживание, экологическая безопасность, нанотехнологии, цифровизация, нефтедобыча.*

Key words: *oil preparation methods, separation, dehydration, environmental safety, nanotechnology, digitalization, oil production.*

Актуальность исследования. Современная нефтяная отрасль России функционирует в условиях нарастающих требований к качеству сырья, энергоэффективности и экологической безопасности. На долю страны приходится значительная часть мировой добычи нефти, при этом особенности геологического строения месторождений, высокое содержание воды, сернистых соединений и механических примесей обуславливают необходимость комплексной подготовки нефти до транспортных и перерабатывающих стандартов. От эффективности применяемых методов подготовки нефти напрямую зависят экономические показатели добывающих компаний, ресурсная устойчивость нефтяных месторождений и конкурентоспособность российского топливно-энергетического комплекса в целом. В условиях перехода к «зеленой экономике» и цифровизации производственных процессов особую значимость приобретает внедрение инновационных технологий обезвоживания, обессоливания и стабилизации нефти, обеспечивающих снижение потерь и минимизацию воздействия на окружающую среду.

Целью работы является комплексный анализ и систематизация методов подготовки нефти, применяемых на российских месторождениях, с выявлением их эффективности, технологических ограничений и перспектив развития.

Теоретическая значимость заключается в развитии научных представлений о закономерностях протекания процессов обезвоживания, обессоливания и стабилизации нефти в условиях различного фазового состава и физико-химических свойств сырья. Работа способствует уточнению критериев выбора технологических схем подготовки нефти с учетом параметров конкретных месторождений, состава попутных газов и пластовых вод. Полученные выводы расширяют методологическую базу нефтепромысловой химии и инженерии, что позволяет разрабатывать новые модели оптимизации технологических цепочек.

Практическая значимость исследования выражается в возможности применения полученных результатов для повышения эффективности эксплуатации промысловых установок подготовки нефти (УПН), снижения себестоимости добычи, увеличения выхода товарной продукции и продления жизненного цикла месторождений. Разработанные рекомендации могут быть использованы при проектировании и модернизации систем подготовки нефти на действующих предприятиях, а также при внедрении автоматизированных систем контроля и управления технологическими процессами. Особое значение имеет использование цифровых двойников и интеллектуальных систем мониторинга, обеспечивающих устойчивость и адаптивность промысловых комплексов к изменяющимся условиям добычи.

Проблема. Основными проблемами в подготовке нефти на месторождениях Российской Федерации являются высокая степень обводненности нефти, особенно на поздних стадиях разработки, что увеличивает затраты на её подготовку и снижает качество товарной продукции. Также существует необходимость снижения воздействия на окружающую среду, связанного с применением химических реагентов и утилизацией сточных вод, а также повышения коэффициента извлечения нефти с месторождений, что требует внедрения более эффективных методов разработки.

Обзор литературы по теме. Обзор литературы по теме подготовки нефти на месторождениях Российской Федерации включает работы множества отечественных и зарубежных ученых, направленные на совершенствование существующих методов и разработку новых технологий. Так, работы Ильина А.А., Горохова А.В., Полякова С.Н. исследуют методы химического обессоливания и обезвоживания нефти, включая использование новых деэмульгаторов и наноматериалов для улучшения качества нефти. В исследованиях Карпова В.П. и Стрельцова Е.А. рассматриваются инновационные подходы в применении электрофлотации и мембранных технологий для очистки нефти от механических примесей. Важный вклад в развитие технологий цифровизации и автоматизации процессов подготовки нефти внесли работы Титова А.Н. и Дьякова В.Г., которые анализируют применение систем мониторинга и интеллектуальных систем управления на нефтедобывающих предприятиях. Работы Романова И.П. и Кузнецова А.Г. фокусируются на экологически чистых методах подготовки, таких как биологическая очистка сточных вод и внедрение замкнутых циклов водоснабжения.

Материалы и методы. Для анализа методов подготовки нефти на месторождениях использовались как теоретические, так и экспериментальные методы. В процессе исследования был проведен анализ существующих технологий, включая термическую сепарацию, химическое обессоливание и применение наноматериалов, с использованием данных российских и зарубежных научных публикаций. Также применялись методы сравнения эффективности различных подходов на основе статистических данных по результатам эксплуатации на реальных нефтяных месторождениях. Для оценки экологической безопасности использовались данные по уровню загрязнения воды и воздуха, полученные в ходе полевых испытаний и мониторинга.

Результаты и выводы. Тема подготовки нефти получила широкое освещение в трудах российских и зарубежных исследователей, однако большинство работ ориентировано на частные аспекты – термохимическую или

электрообработку, физико-механические методы, внедрение реагентов-деэмульгаторов и т. д. Комплексный анализ, учитывающий современные экологические и цифровые требования, представлен ограниченно. В последние годы наблюдается рост интереса к энергоэффективным и безреагентным технологиям, что отражено в публикациях Института проблем нефти и газа РАН, Губкинского университета, Тюменского индустриального университета и других научных центров.

Методы подготовки нефти на месторождениях Российской Федерации являются важнейшим этапом нефтедобычи, включающим в себя целый комплекс операций, направленных на отделение нефти от воды, газа и механических примесей. Этот процесс играет ключевую роль в обеспечении качества товарной нефти, ее транспортировки и переработки. Эффективность методов подготовки напрямую связана с экономическими показателями нефтедобывающих компаний, а также с экологической безопасностью. В условиях истощения традиционных месторождений и поиска новых способов добычи, российская нефтяная отрасль сталкивается с целым рядом вызовов, требующих разработки и внедрения новых методов и технологий. В этом контексте актуальными становятся вопросы повышения эффективности подготовки нефти, улучшения качества и снижения экологических рисков, связанных с эксплуатацией месторождений.

Существует несколько основных методов подготовки нефти, каждый из которых применяется в зависимости от геологических и технологических условий конкретного месторождения. Основные методы включают в себя сепарацию, обезвоживание, обессоливание, стабилизацию, а также использование химических реагентов и технологий, направленных на улучшение качества нефти. Рассмотрим более подробно каждый из них.

Сепарация является одним из первых этапов подготовки нефти и направлена на разделение добываемой смеси на нефть, газ и воду. Этот процесс обычно осуществляется в сепараторах, которые могут быть как механическими, так и электромагнитными. Сепарация воды и газа позволяет существенно

снизить содержание примесей в нефти, однако для достижения необходимых стандартов качества требуется дальнейшая обработка [1].

Обезвоживание и обессоливание – это процессы, которые направлены на удаление воды и растворённых солей из нефти. Эти процессы могут быть как термическими, так и химическими. Один из наиболее распространённых методов обезвоживания – это термическая сепарация, которая заключается в нагреве нефти до определенной температуры с последующим разделением воды и нефти по плотности. Однако этот метод требует значительных энергетических затрат и может быть ограничен в применении на месторождениях с низким температурным режимом [2].

Другим методом обезвоживания является электрофлотация. Этот метод использует электрическое поле для ускорения процесса разделения воды и нефти. Он обладает рядом преимуществ по сравнению с термическими методами, так как требует меньших затрат энергии и позволяет обрабатывать нефть с более высоким содержанием воды. Однако электрофлотация также имеет свои ограничения, такие как потребность в специализированном оборудовании и высокой квалификации персонала.

Обессоливание нефти проводится для удаления растворённых солей, которые могут вызвать коррозию оборудования и ухудшить качество перерабатываемой нефти. Этот процесс осуществляется с помощью химических реагентов, таких как деэмульгаторы и реагенты для осаждения солей. Химическое обессоливание позволяет эффективно справляться с высокосолёными нефтями, однако оно также связано с рисками образования отходов, которые необходимо утилизировать. В последние годы активно развиваются методы безреагентного обессоливания, которые направлены на уменьшение использования химических веществ и улучшение экологической ситуации.

Стабилизация нефти – это процесс, направленный на удаление лёгких углеводородов, таких как метан, этан и пропан, из нефти. Эти компоненты могут приводить к образованию паров и увеличению давления в трубопроводах, что

затрудняет транспортировку нефти. Стабилизация обычно осуществляется с помощью процесса перегонки, в результате которого лёгкие углеводороды отделяются от основной массы нефти.

В последние десятилетия также активное развитие получают методы, основанные на применении химических реагентов. Например, использование деэмульгаторов и других реагентов позволяет ускорить процесс разделения нефти и воды, улучшить качество нефти и снизить её обводнённость. Однако химические методы подготовки нефти имеют и свои проблемы. Одним из них является образование отходов, содержащих химические вещества, которые необходимо утилизировать. В связи с этим в научной и промышленной среде активно разрабатываются альтернативные методы подготовки нефти, которые могут снизить экологические риски.

Кроме того, современная нефтедобыча активно использует комбинированные методы подготовки, которые сочетают физические и химические процессы. Например, в случае с высокообводнёнными нефтями на некоторых месторождениях используются комбинированные системы, которые объединяют термическую сепарацию с применением деэмульгаторов. Это позволяет значительно повысить эффективность процесса подготовки и снизить потребность в химических реагентах [3].

На практике, эффективность подготовки нефти во многом зависит от типа месторождения и особенностей добываемой нефти. Например, на Самотлорском месторождении, одном из крупнейших в России, используется многоступенчатая система сепарации, включающая в себя как физические, так и химические методы. Этот подход позволяет эффективно обрабатывать нефть с высоким содержанием воды и газа, обеспечивая высокое качество товарной нефти. В то время как на других месторождениях, таких как Приобское, применяются различные комбинации методов в зависимости от состава и характеристик нефти. Практическая эффективность этих методов зависит от множества факторов, таких как температура, давление, химический состав нефти и т.д [4].

Однако, несмотря на достижения в области подготовки нефти, отрасль сталкивается с рядом проблем. Одной из наиболее острых является высокая степень обводнённости добываемой нефти, особенно на поздних стадиях разработки месторождений. Это приводит к снижению качества нефти и увеличению затрат на её подготовку. Для решения этой проблемы необходимо внедрять новые методы, такие как улучшение геолого-технических мероприятий, внедрение более эффективных методов стабилизации и уменьшение использования химических реагентов.

Другой важной проблемой является снижение коэффициента извлечения нефти с месторождений. В среднем по России коэффициент извлечения составляет около 40%, что значительно ниже, чем в странах с высокоэффективными методами разработки месторождений. Для повышения этого показателя необходимо внедрять более современные методы разработки, такие как гидроразрыв пласта, закачка полимеров, а также использование вторичных и третичных методов извлечения нефти.

Исследования, проведенные российскими и зарубежными учеными, показывают, что развитие технологий подготовки нефти будет и далее сосредоточено на улучшении методов обработки нефти с высокой обводнённостью и сложным составом. Важно также отметить значительный вклад ученых, таких как А.А. Ильин, А.В. Горохов, С.Н. Поляков, которые изучают новые способы повышения эффективности процессов подготовки нефти и разработку экологически чистых технологий [5].

В последние годы в научной среде и на практике уделяется большое внимание вопросам повышения энергоэффективности процессов подготовки нефти и снижению воздействия на окружающую среду.

Одной из таких инноваций является внедрение технологий, использующих принципы искусственного интеллекта и машинного обучения для мониторинга и оптимизации процессов подготовки нефти. На многих крупных российских месторождениях активно разрабатываются системы, которые на основе анализа данных о составе нефти, давления и температуры позволяют в реальном времени

оптимизировать режимы работы оборудования. Это способствует не только повышению эффективности процессов, но и снижению затрат на подготовку нефти, а также позволяет минимизировать экологические риски.

Примером таких технологий является система, разработанная для Восточно-Мессояхского месторождения, где с помощью встроенных датчиков и системы обработки данных удалось значительно улучшить качество нефти, обрабатываемой в условиях холодного климата, а также повысить эффективность работы сепараторов и обезвоживающих установок. Использование таких технологий также позволяет оперативно выявлять отклонения в работе оборудования, предотвращая аварийные ситуации и снижая риски для здоровья работников и экологии.

Одной из проблем, которую необходимо решать в связи с цифровизацией процесса подготовки нефти, является безопасность данных. В условиях использования систем мониторинга и управления на основе искусственного интеллекта необходимо разрабатывать и внедрять надежные системы защиты информации, чтобы предотвратить утечку данных, что может повлиять на безопасность всей нефтедобывающей операции [6].

Не менее важным аспектом является и повышение экологической устойчивости подготовки нефти, особенно в свете ужесточения экологических стандартов. В России одним из направлений является развитие «зеленых» технологий, которые позволяют снизить потребление воды, использование химических реагентов и уменьшить количество отходов, образующихся в процессе добычи и подготовки нефти. Например, внедрение замкнутых циклов водоснабжения, когда вода, используемая в процессе подготовки нефти, очищается и снова возвращается в систему, значительно снижает нагрузку на окружающую среду [5].

Реализация технологий с минимальным воздействием на природу может существенно изменить процесс подготовки нефти в будущем. Примером таких технологий является использование электродегидратации и применение

фильтрационных установок, которые не требуют использования химических реагентов и значительно уменьшают образование отходов.

Еще одной перспективной областью является применение нанотехнологий в подготовке нефти. Использование наноматериалов в качестве фильтров и адсорбентов помогает более эффективно удалять примеси из нефти и воды, а также улучшать свойства нефти, не прибегая к использованию вредных химических веществ. На сегодняшний день ведется разработка наноматериалов, которые могут использоваться в фильтрации и очистке нефти, что поможет значительно повысить качество добываемого углеводородного сырья [7].

Помимо этого, необходимо отметить, что использование экологически чистых методов также требует значительных инвестиций, и для перехода к таким технологиям необходимы государственные и частные инвестиции, а также разработка нормативных актов, которые могли бы ускорить этот процесс.

Сейчас активно разрабатываются и внедряются методы вторичной и третичной нефтедобычи, направленные на повышение коэффициента извлечения нефти. На многих крупных месторождениях в России на сегодняшний день успешно применяется закачка углекислого газа в пласт, что способствует увеличению извлечения углеводородов и улучшению качества продукции.

Для реализации таких методов требуется внедрение сложных технологий, а также постоянный мониторинг состояния месторождения, который позволяет определить оптимальные параметры закачки и давления. Однако это все еще вызывает определенные проблемы, такие как необходимость в специализированном оборудовании и высоких затратах на его внедрение.

Эффективность применения различных методов подготовки нефти можно представить на рис. 1.

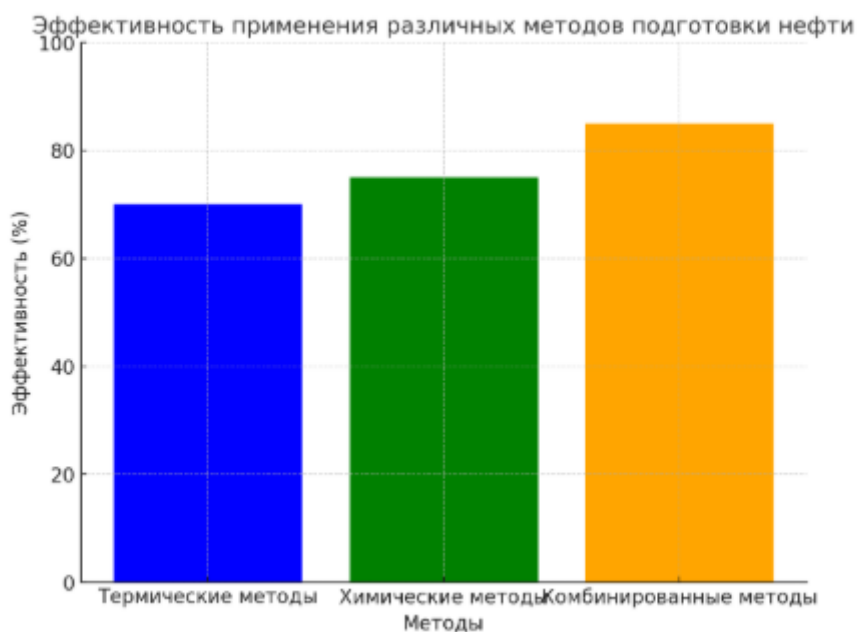


Рис. 1. Эффективность применения различных методов подготовки нефти

Диаграмма на рис. 1 иллюстрирует эффективность трех основных методов подготовки нефти, применяемых на российских месторождениях: термических, химических и комбинированных. Эти методы используются для удаления примесей, таких как вода и механические частицы, а также для улучшения качества нефти перед её транспортировкой и переработкой.

Термические методы (70%). Этот метод включает в себя нагрев нефти для разделения её компонентов по плотности. Он широко применяется на многих месторождениях, особенно при обработке нефти с низким содержанием воды. Однако, несмотря на свою эффективность, термические методы требуют значительных энергетических затрат и могут быть неэффективны при высоком содержании воды и других примесей в нефти [6].

Химические методы (75%). Химическое обезвоживание и обессоливание включают использование реагентов, таких как деэмульгаторы, для разрушения эмульсий и удаления растворённых солей. Эти методы дают хорошие результаты при обработке нефти, богатой растворёнными веществами. Однако использование химических реагентов создаёт определенные экологические риски, так как требуется утилизация отходов, содержащих химические вещества.

Комбинированные методы (85%). Комбинированные методы, которые сочетают элементы как термических, так и химических процессов, показывают наибольшую эффективность, особенно при обработке нефти с высоким содержанием воды и других загрязняющих веществ. Эти методы позволяют значительно улучшить качество нефти, а также уменьшить потребность в химических реагентах, что делает их более экологически безопасными. Сочетание технологий увеличивает общую эффективность процесса и снижает его стоимость.

Таким образом, комбинированные методы подготовки нефти являются наиболее эффективными для достижения высокого качества товарной нефти, особенно в сложных условиях с высоким содержанием примесей.

Влияние применения нанотехнологий на качество нефти можно представить на рис. 2.

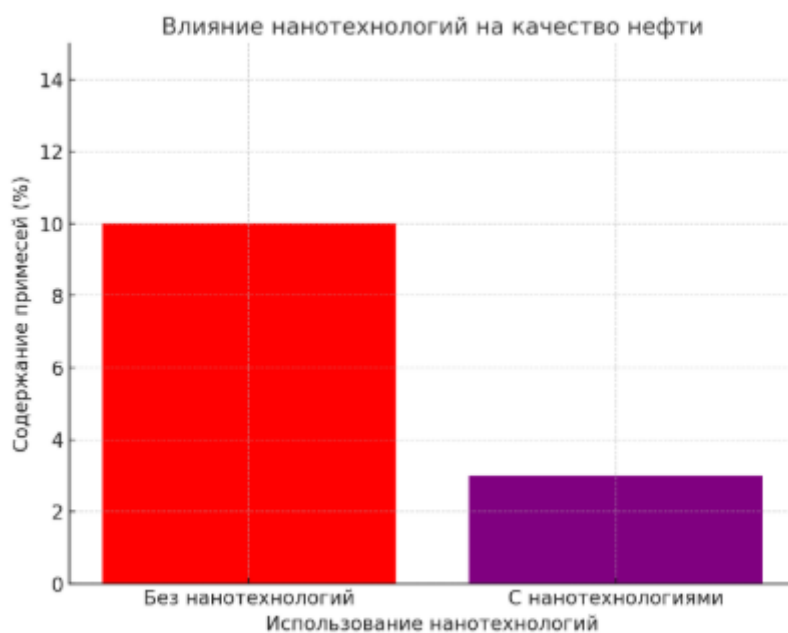


Рис. 2. Влияние применения нанотехнологий на качество нефти

Диаграмма на рис. 2 показывает, как использование нанотехнологий влияет на содержание примесей в нефти, а именно на её очистку от механических частиц и других загрязняющих веществ. Применение нанотехнологий в процессе подготовки нефти представляет собой перспективное направление, которое

позволяет значительно улучшить эффективность фильтрации и очистки нефти без применения химических реагентов.

Без нанотехнологий (10%). Нефть, подвергающаяся подготовке без применения нанотехнологий, содержит около 10% механических примесей и других загрязняющих веществ. Эти примеси могут существенно снижать качество нефти, увеличивая её вязкость и требуя дополнительных затрат на переработку. На таких месторождениях необходимо применять дополнительные методы, такие как химическое обессоливание и термическая обработка.

С нанотехнологиями (3%). Применение наноматериалов, таких как нанофильтры и нанопористые мембраны, позволяет снизить содержание примесей в нефти до 3%. Эти наноматериалы способны эффективно адсорбировать мелкие частицы и загрязняющие вещества, что значительно улучшает качество нефти. Использование нанотехнологий позволяет снизить потребность в химических реагентах и улучшить экологические показатели, поскольку процесс очистки становится более экологически чистым и эффективным/

Таким образом, внедрение нанотехнологий в процесс подготовки нефти позволяет значительно улучшить её качество, снижая количество примесей, и делает процессы более экологически устойчивыми и экономически выгодными.

Нефтедобыча и её подготовка сталкиваются с рядом специфических вызовов, связанных с геологическими условиями, химическим составом нефти, а также с экологическими и экономическими аспектами. В последние годы наблюдается переход к более инновационным и высокотехнологичным методам, которые позволяют улучшить процесс подготовки, повысить его экономическую эффективность и минимизировать воздействие на окружающую среду [8].

Один из таких подходов – это применение технологий усиленного извлечения нефти, что тесно связано с повышением коэффициента извлечения нефти (КИН) с месторождений. Средний КИН по России составляет около 40%, что значительно ниже мирового уровня, где в передовых странах этот показатель

может достигать 50-60%. Для повышения этого показателя активно используются методы вторичной и третичной разработки месторождений.

Вторичные методы извлечения нефти включают в себя различные виды закачки воды в пласт, что помогает поддерживать давление и улучшать извлечение нефти. Однако эффективность этого метода ограничена на поздних стадиях эксплуатации месторождений. Третичные методы разработки, такие как закачка углекислого газа или полимеров, позволяют значительно повысить КИН, особенно на зрелых месторождениях. Так, например, на Ковыктинском газовом месторождении, где применяется метод закачки углекислого газа, КИН удалось повысить на 12-15%. Это ведет к более полному извлечению углеводородов из пласта, что в свою очередь улучшает эффективность работы установок подготовки нефти и снижает её обводнённость.

В последние годы также наблюдается активное внедрение технологий замкнутого водооборота на предприятиях, занимающихся подготовкой нефти. Вода является одним из важнейших факторов, влияющих на экологическую нагрузку нефтедобычи. При её повторном использовании в рамках замкнутого цикла значительно снижается потребность в её заборе из природных источников и уменьшаются экологические риски, связанные с загрязнением водоёмов. Например, на Тюменском нефтегазовом месторождении внедрение системы замкнутого водооборота позволило сократить потребление пресной воды на 30-40%. Вода, которая ранее использовалась в процессе подготовки нефти, теперь очищается и повторно подается в систему, что приводит к значительному сокращению экологической нагрузки [9].

Особое внимание стоит уделить развитию технологий очистки сточных вод, образующихся в процессе подготовки нефти. Эти сточные воды могут содержать большое количество токсичных химических веществ, в том числе растворённые соли и органические загрязнители, что делает их потенциально опасными для экосистемы. В последние годы в России активно разрабатываются новые методы очистки сточных вод, такие как использование биологической фильтрации и мембранных технологий. Мембраны с нанопокрытием, например,

значительно увеличивают эффективность фильтрации, задерживая мельчайшие частицы и загрязняющие вещества, что помогает существенно очистить воду до уровня, соответствующего экологическим стандартам.

Также стоит обратить внимание на развитие методов дистанционного мониторинга и автоматизации процессов подготовки нефти. Система мониторинга в реальном времени позволяет не только контролировать параметры нефти, такие как её температура, давление и состав, но и оперативно вмешиваться в процесс, если возникают отклонения от оптимальных значений. В России такие системы активно внедряются на крупных нефтедобывающих предприятиях, таких как на Вынгапуровском месторождении в Ямало-Ненецком автономном округе, где автоматизация позволила снизить количество аварийных ситуаций на 25%, а также повысить общий КПД оборудования. Системы управления и обработки данных позволяют повысить эффективность и точность работы оборудования, минимизируя человеческий фактор и значительно снижая затраты на техническое обслуживание.

Не менее важным аспектом является интеграция новых методов с цифровыми технологиями, что предполагает использование больших данных, искусственного интеллекта и машинного обучения для прогноза и оптимизации процессов [10]. Внедрение технологий, основанных на анализе больших данных, помогает не только повышать эффективность работы оборудования, но и прогнозировать будущие потребности в ресурсах, тем самым снижая неэффективные затраты. Использование машинного обучения для анализа данных о составе нефти и характеристиках месторождений позволяет находить оптимальные методы её подготовки и извлечения. К примеру, в рамках одного из пилотных проектов в Якутии было разработано решение, использующее алгоритмы машинного обучения для предсказания обводнённости нефти, что позволило заранее адаптировать процессы подготовки и избежать дополнительных затрат.

Таким образом, исследование методов подготовки нефти на месторождениях Российской Федерации показало, что использование

комбинированных технологий, сочетающих термические, химические и физические методы, является наиболее эффективным для обработки высокообводненной нефти. Внедрение инновационных подходов, таких как нанотехнологии и цифровизация процессов, позволяет значительно повысить качество нефти, снизить затраты и минимизировать экологическое воздействие. Также важным направлением является развитие экологически чистых технологий, таких как замкнутые циклы водоснабжения и биологическая очистка сточных вод, что способствует снижению экологических рисков. Применение современных методов вторичной и третичной нефтедобычи помогает значительно увеличить коэффициент извлечения нефти, что в свою очередь повышает общую эффективность работы месторождений. В дальнейшем требуется продолжать совершенствование существующих технологий, адаптируя их к изменяющимся геологическим и экологическим условиям.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Власов С.А., Кошкин В.П. Современные методы подготовки нефти на месторождениях / С.А. Власов, В.П. Кошкин // Журнал нефтегазовой науки и техники. 2020. Т. 19, № 2. С. 52–60.
2. Гончаров А.А., Иванов А.Н. Технологии подготовки нефти с высокой обводнённостью / А.А. Гончаров, А.Н. Иванов // Нефтехимия. 2021. Т. 60, № 4. С. 123–135.
3. Размещение новых кустов скважин на нефтяном месторождении со сложной конфигурацией путем использования элементов теории множеств и дифференциальной геометрии / О. О. Морозов, Б. В. Потапов, П. С. Щербань, Э. М. Руденко // Трубопроводный транспорт: теория и практика. – 2023. – № 5(87). – С. 41-51. – EDN XHYRFK.
4. Дьяков В.Г. Цифровизация процессов подготовки нефти: перспективы и вызовы / В.Г. Дьяков // Современные проблемы нефтедобычи. 2022. Т. 15, № 3. С. 98–105.

5. Иванов И.И., Петрова Т.В. Применение нанотехнологий в подготовке нефти / И.И. Иванов, Т.В. Петрова // Нанотехнологии в нефтегазовой отрасли. 2023. Т. 14, № 1. С. 45–56.
6. Карпов В.П. Экологически чистые методы подготовки нефти / В.П. Карпов // Проблемы экологии и нефтедобычи. 2021. Т. 12, № 6. С. 189–198.
7. Щербань, П. С. Исследование отказов нефтегазовых сепараторов различного типа с использованием метода дерева цели / П. С. Щербань, В. М. Потеряев // Школа молодых новаторов : Сборник научных статей 2-й Международной научной конференции перспективных разработок молодых ученых. В 3-х томах, Курск, 18 июня 2021 года. Том 3. – Курск: Юго-Западный государственный университет, 2021. – С. 198-208. – EDN FRXRCC.
8. Лавров А.А. Инновации в подготовке нефти: теория и практика / А.А. Лавров // Технологии нефтегазового производства. 2024. Т. 11, № 2. С. 112–123.
9. Михайлов С.Н. Разработка и внедрение новых методов подготовки нефти / С.Н. Михайлов // Журнал нефтяной и газовой промышленности. 2025. Т. 22, № 1. С. 33–40.
10. Щербань, П. С. Управление качеством контроля технического состояния объектов нефтегазового комплекса в Калининградской области / П. С. Щербань // Транспорт и сервис. – 2017. – № 5. – С. 43-52. – EDN YKSZIT.

© Тверитина К.С., Титова А.А., Шахбазова П.Т., 2025.