

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ НЕФТЯНЫХ ПЛЕНОК И ВОДНЫХ РАСТВОРОВ ПАВ

Мирхамитова Дилором Худайбердиевна

*Профессор, декан факультета металлургии и химической технологии
Алмалыкского филиала Ташкентского государственного технического университета
имени Ислама Каримова*

Джадилова Дилнавоз Абдулазиз Кизи

*Алмалыкский филиал Ташкентского государственного технического
университета имени Ислама Каримова*

Исследование взаимодействия нефтяных пленок и водных растворов поверхностно-активных веществ является актуальным по нескольким причинам. Современные методы очистки водных поверхностей и почвы от нефти и нефтепродуктов, а также повышение эффективности процессов нефтедобычи и переработки зависят от глубокого понимания механизмов взаимодействия между нефтяными пленками и ПАВ. В связи с ростом масштабов добычи, транспортировки и переработки нефти возникает острая необходимость в совершенствовании технологий ликвидации разливов нефти и очистки загрязненных территорий. Поверхностно-активные вещества активно применяются в нефтедобыче, нефтепереработке и экологических технологиях благодаря их способности снижать поверхностное натяжение и модифицировать свойства поверхности. Это способствует разрушению устойчивых нефтяных пленок и помогает удалять нефть из окружающей среды. Кроме того, применение ПАВ в методах повышения нефтеотдачи пластов является перспективным направлением, позволяющим значительно увеличить объемы извлечения нефти из трудноизвлекаемых запасов.

Таким образом, исследование взаимодействия водных растворов ПАВ с нефтяными пленками способствует созданию более эффективных, экономичных и экологически безопасных технологий в нефтедобывающей промышленности и в системах ликвидации последствий нефтяных аварий.

Актуальность исследования взаимодействия водных растворов поверхностно-активных веществ с нефтяными пленками обусловлена необходимостью улучшения эффективности их использования в процессах удаления загрязнений нефтяного происхождения. Это важно как для снижения воздействия на окружающую среду, так и для повышения экономической эффективности промышленных процессов. Оценка эффективности взаимодействий включает анализ множества факторов, таких как тип

и химическая структура молекул ПАВ, температура, состав воды для растворов, концентрация ПАВ, характеристики используемой нефти и время образования нефтяных пленок.

Для упрощения изучения влияния этих факторов использовались реагенты с высокой моющей активностью. ПАВ выбирались путем сравнения их моющего действия в 0,5% растворах на дистиллированной воде против нефтяных пленок из Ферганского месторождения при одинаковом времени образования пленок.

Метод определения эффективности удаления нефтяной пленки со стеклянной поверхности заключается в измерении процентного удаления пленки пластовой водой со стенок стеклянной пробирки в течение времени. За эталон (100%) принимается удаление половины общей площади поверхности пробирки.

Последовательность испытания включает следующие шаги. Пробирку заполняют 25 мл нефти и выдерживают 20 минут. Затем нефть переливается в колбу, а пробирка наполовину заполняется раствором ПАВ или исследуемой водой (пластовой водой). Оставшаяся часть заполняется нефтью из колбы. Пробирка герметично закрывается, переворачивается, и включается секундомер для регистрации времени, за которое будет смыта нефтяная пленка.

Результаты исследования влияния растворов ПАВ на отмывку нефтяной пленки из поверхности стекла приводятся на рис. 1.

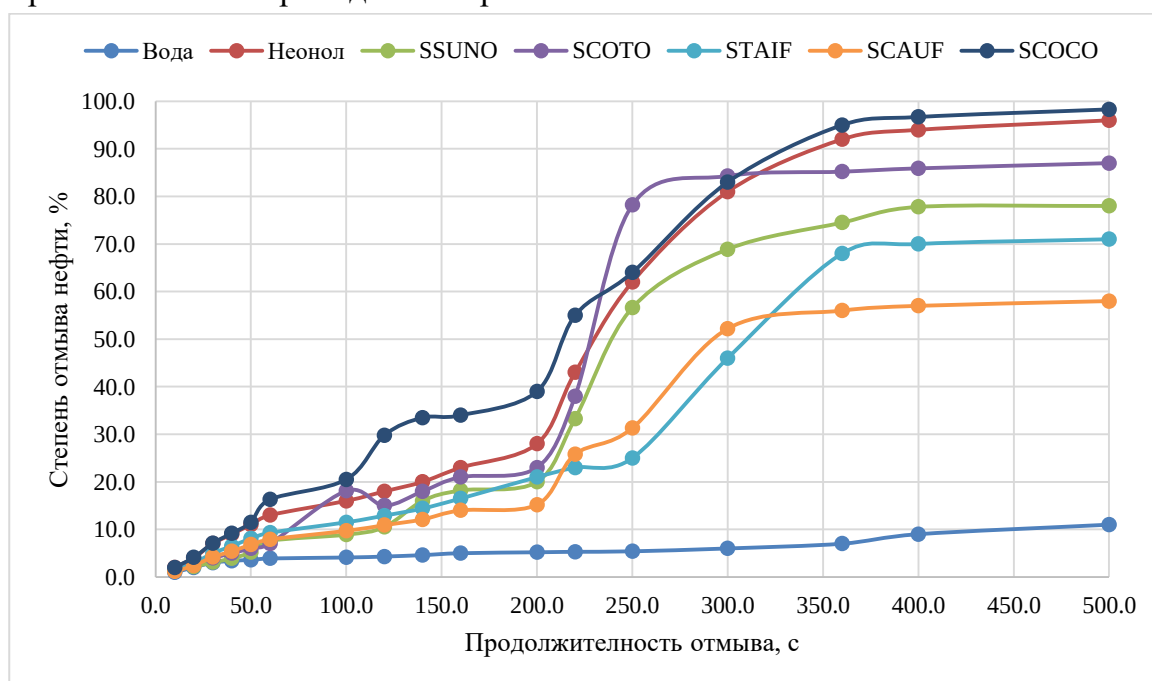


Рис. 1. Кинетика отмыва пленки нефти в 0,5% растворе ПАВ при 25°C.

Из анализа рис. 1, иллюстрирующего кинетику отмыва нефтяной пленки с стеклянной поверхности в 0,5% растворах различных ПАВ при 25°C, можно сделать научные выводы об эффективности всех ПАВ по сравнению с водой. Все рассматриваемые ПАВ значительно эффективнее чистой воды в отмыве нефтяной пленки. Это видно из значений, где, например, на 500 секундах вода смыла только 11% пленки, в то время как показатели для ПАВ значительно выше (от 58 до 98,3%).

ПАВКМ показывает наиболее высокую эффективность отмыва пленок, что видно из его значений, достигающих 98,3% на 500 секундах. Это может указывать на наличие в его составе компонентов, которые более активно взаимодействуют с нефтяной пленкой, возможно, за счет оптимальной длины и структуры углеводородной цепи или лучшего ГЛБ.

Для всех ПАВ, кроме ПАВКМ, наблюдается заметное замедление темпов отмыва после 300 секунд эксперимента, тогда как ПАВКМ продолжает демонстрировать стабильный и высокий уровень отмыва до 500 секунд.

По данным таблицы, можно предположить, что ПАВ на основе неонала (Неонол) и ПАВКМ наиболее эффективны, что делает их предпочтительными кандидатами для применений, где требуется быстрое и эффективное удаление нефтяных пленок.

Эти результаты предоставляют ценные данные для выбора наиболее подходящих ПАВ для конкретных применений в промышленности, особенно в контексте очистки и восстановления загрязненных нефтью поверхностей.

Результаты исследования влияния концентрации ПАВ на степень отмывки нефти показаны на рис. 2.

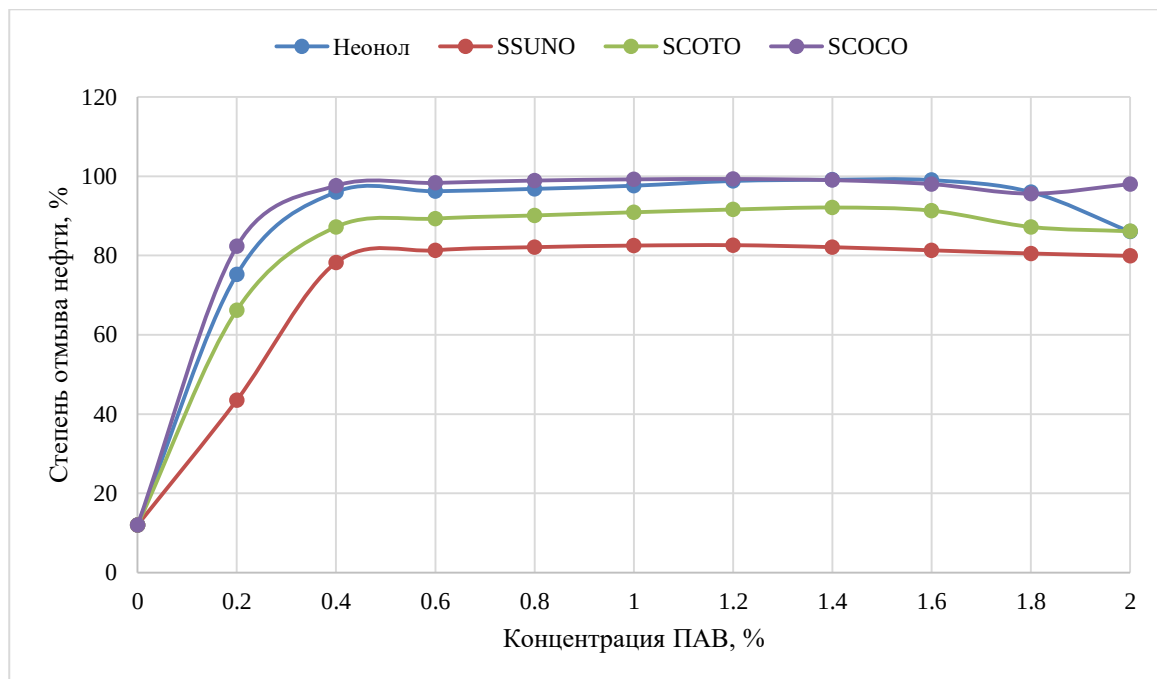


Рис. 2. Изменение степени отмыва нефти в зависимости от концентрации ПАВ при воздействии растворов в течение 10 мин.

Анализ представленных данных по изменению степени отмыва нефти в зависимости от концентрации ПАВ за 10 минут показывает, что поведение различных ПАВ отличается в зависимости от их концентрации в растворе.

По мере увеличения концентрации ПАВ до определенного уровня, эффективность удаления нефти возрастает для всех протестированных ПАВ. Это указывает на то, что увеличение количества ПАВ способствует более эффективному удалению нефтяных пленок, вероятно, за счет уменьшения поверхностного натяжения и улучшения смачиваемости поверхности.

Однако, после достижения определенной концентрации, дальнейшее увеличение ПАВ не приводит к значительному улучшению эффективности удаления нефти и иногда даже снижает её. Например, ПАВКМ показывает высокую эффективность (более 98%), которая сохраняется даже при увеличении концентрации. В то же время, для ПАВМС, ПАВХС и Неонола наблюдается снижение эффективности удаления нефти при увеличении концентрации выше 1,4-1,6%. Это может указывать на негативные эффекты избыточного количества ПАВ, такие как мицеллообразование, которое может препятствовать взаимодействию ПАВ с нефтяной пленкой.

При достижении определённой критической концентрации мицеллообразования (ККМ) ПАВ в растворе начинают формироваться мицеллы. В мицеллах гидрофобные участки молекул ПАВ скрыты внутри, что уменьшает количество молекул ПАВ,

доступных для взаимодействия с нефтяной пленкой. При высоких концентрациях ПАВ раствор может стать более вязким, что затрудняет движение молекул ПАВ к поверхности и уменьшает их способность снижать поверхностное натяжение между нефтью и водой.

В системах, где ПАВ должны конкурировать за место на поверхности, избыток ПАВ может приводить к тому, что молекулы начинают вытеснять друг друга с поверхности, вместо того чтобы эффективно взаимодействовать с нефтью. Также при высоких концентрациях могут формироваться различные структуры, такие как жидкие кристаллы, которые могут менее эффективно взаимодействовать с нефтяной пленкой по сравнению с отдельными молекулами или мицеллами.

ПАВКМ демонстрирует наилучшую способность к отмыву на всех концентрациях, что может быть связано с его молекулярной структурой или особенностями взаимодействия с нефтью. В то время как ПАВМС показывает самую низкую эффективность среди всех испытанных ПАВ, особенно на высоких концентрациях.

Для большинства ПАВ наблюдается явная зависимость эффективности отмыва от концентрации, с максимальной эффективностью при определенном диапазоне концентраций. Это подчеркивает важность определения оптимальной концентрации для каждого конкретного ПАВ для достижения наилучших результатов отмыва.

Эти результаты подчеркивают важность тщательного выбора и дозирования ПАВ для эффективной очистки нефтяных загрязнений, а также возможное влияние структурных и химических свойств ПАВ на их моющие свойства.

В ходе изучения процессов отмыва нефтяных пленок с поверхности стекла при использовании поверхностно-активных веществ важным аспектом является анализ температурной зависимости эффективности этих процессов. Температура оказывает значительное влияние на физико-химические свойства как нефти, так и ПАВ, изменяя вязкость и плотность нефти, а также молекулярную динамику и сольватацию ПАВ. Также, температурные условия воздействуют на механизмы снижения поверхностного натяжения и образования мицелл, что напрямую влияет на способность ПАВ к отмыву нефтяных пленок. Исследование температурной зависимости этих процессов позволяет оптимизировать условия применения ПАВ, учитывая условия эксплуатации и специфику рабочей среды.

В рамках данного исследования рассматривалось воздействие анионных поверхностно-активных веществ (ПАВ), включая лауретсульфат натрия (LSN) и додецилбензолсульфонат натрия (SN), на нефтяные пленки, образованные на поверхности стекла. Анализировалось влияние температуры на эффективность отмыва нефтяных пленок с использованием как дистиллированной воды, так и 0,5%

водных растворов различных ПАВ, в том числе широко используемых в нефтедобывающей промышленности. Исследования подтверждают, что повышение температуры приводит к ускорению процесса удаления нефтяных пленок, однако различные ПАВ демонстрируют неоднородные температурные зависимости моющего действия.

Для объективной оценки различных ПАВ при разных температурах были проанализированы кинетики отмыва нефтяных пленок. Из результатов видно, что при температуре около 35°C наиболее эффективными являются неионогенные ПАВ, такие как ПАВКМ и ПАВМС, а также Неонол.

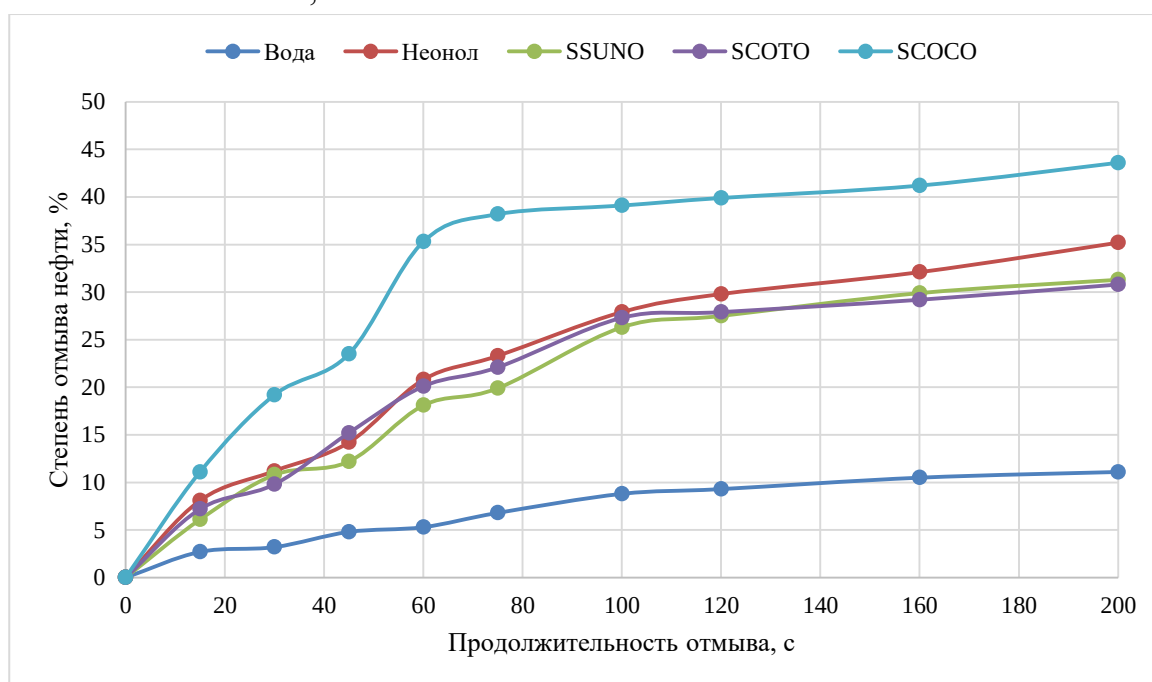


Рис. 3. Кинетика отмывки пленки нефти со стеклянной поверхности в 0,5% растворе ПАВ при 35°C.

При анализе кинетики отмывки нефти с поверхности стекла при 35°C по сравнению с 25°C, можно заметить ключевые аспекты – при повышении температуры до 35°C скорость отмывки нефти у всех исследуемых ПАВ значительно увеличивается. Например, при 35°C ПАВКМ показывает значения отмывки до 43,6% за 200 секунд, в то время как при 25°C этот показатель достигает 98,3% лишь через 500 секунд. Это указывает на то, что при более высоких температурах процесс отмывки происходит более интенсивно.

ПАВКМ и Неонол являются более эффективными в условиях повышенной температуры. Например, ПАВКМ при 35°C и 120 секундах показывает уровень отмывки 39,9%, что значительно выше, чем у других ПАВ. При 25°C его

эффективность также высока, но увеличение температуры позволяет достичь более высоких показателей за меньшее время.

Неионогенные ПАВ, такие как ПАВМС и ПАВХС, показывают стабильные изменения. Их эффективность при повышении температуры также увеличивается, но не так значительно, как у ПАВКМ или Неонола. Например, ПАВМС при 35°C достигает 31,3% отмывки за 200 секунд, в то время как при 25°C этот показатель достигается через 500 секунд.

Вода как контрольный образец также показывает улучшение. Это свидетельствует о том, что сам по себе фактор повышения температуры способствует ускорению процесса отмывки, уменьшению вязкости нефти и улучшению диффузии ПАВ.

В целом, результаты показывают, что при более высоких температурах эффективность отмывки ПАВ значительно увеличивается, особенно для ПАВ с хорошими моющими свойствами при стандартных условиях, таких как ПАВКМ и Неонол. Это подчеркивает важность учета температурной зависимости при выборе ПАВ для практического применения, особенно в условиях, где температура может варьироваться.

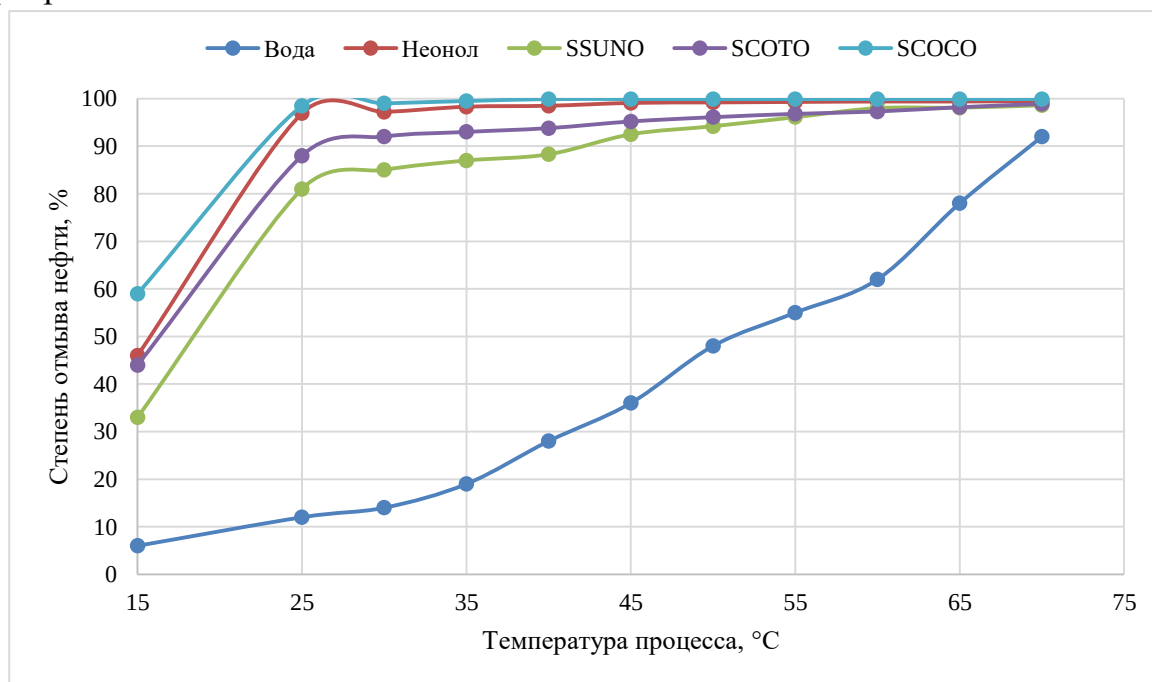


Рис. 4. Влияние температуры на степень отмыва нефти неионогенными ПАВ.

Для всех рассматриваемых ПАВ и воды наблюдается заметное улучшение степени отмыва нефти при увеличении температуры. Это связано с уменьшением вязкости нефти и улучшением диффузии молекул ПАВ в нефтяной плёнке.

Особенно заметен быстрый рост эффективности в диапазоне от 15°C до 35°C, что указывает на то, что уже небольшое повышение температуры значительно усиливает моющие свойства ПАВ.

ПАВ Неонол и ПАВКМ показывают высокую эффективность отмыва уже при температуре 25°C, достигая почти максимальных значений (около 97-99%). Это делает их предпочтительными для использования в условиях, где не требуется поддержание высоких температур для эффективного отмыва.

После достижения определённой температуры (примерно 35°C для ПАВМС и ПАВХС и 25°C для ПАВКМ и Неонола) прирост в эффективности становится менее значительным, что свидетельствует о приближении к насыщению моющего действия.

Вода также показывает улучшение своих моющих свойств с повышением температуры, что является важным фактором при оценке эффективности ПАВ. Однако её показатели значительно ниже, чем у ПАВ.

Дальнейшие исследования были направлены на установления различий между неионогенных и анионных ПАВ. Исследования показали, что при повышении температуры до 60°C моющая способность лауретсульфата натрия становится сопоставимой с эффективностью синтезированных неионогенных ПАВ и неонола. При дальнейшем увеличении температуры до 65°C лауретсульфат натрия становится лидером по моющему действию. Однако его эффективность значительно снижается со временем, что исключает возможность его повторного использования в процессах заводнения при таких температурных условиях. В этом случае для поддержания высоких уровней извлечения нефти потребуются введение дополнительных порций ПАВ. Результаты исследования показали, что неионогенные ПАВ в данных условиях оказались более эффективными.

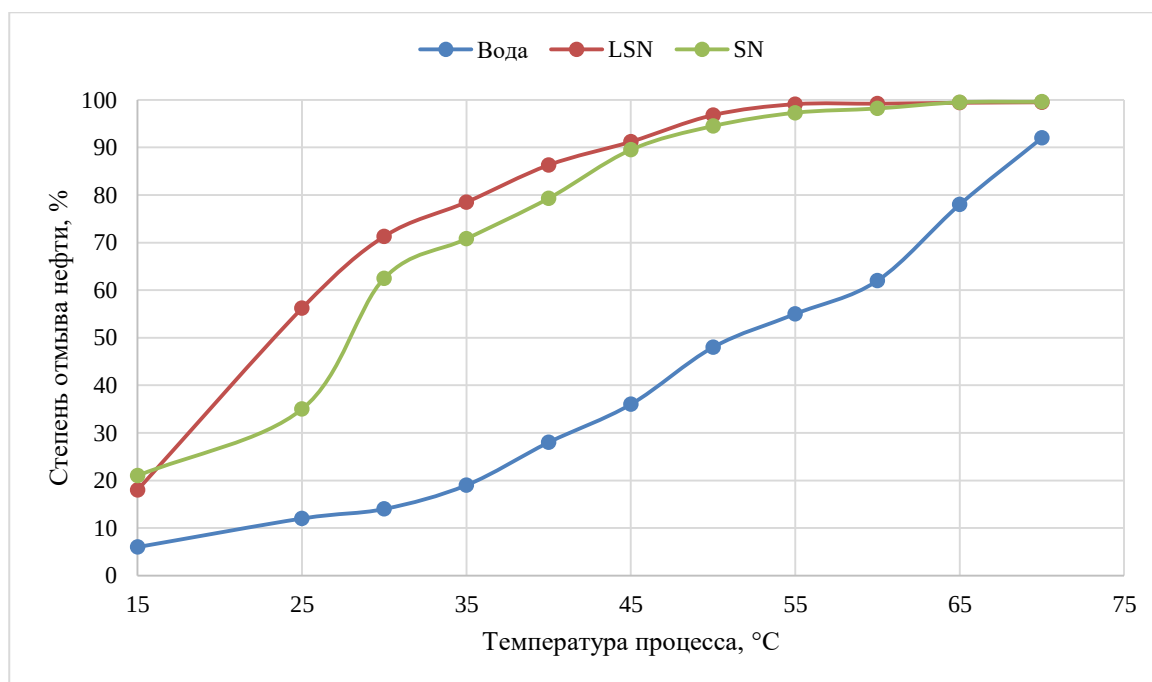


Рис. 5. Зависимость степени отмыва нефти от температуры при использовании анионных ПАВ.

При температурах выше 70°C моющая способность додецилбензолсульфоната натрия заметно увеличивается и становится сопоставимой с действием лауретсульфата.

Если проанализировать рис. 4.5, то можно увидеть, что оба анионных ПАВ демонстрируют значительное увеличение степени отмыва нефти при увеличении температуры от 15°C до 65°C. Это подчёркивает тот факт, что температурное воздействие играет критическую роль в повышении моющих свойств этих ПАВ.

На начальных этапах (от 15°C до 30°C) лауретсульфат натрия (LSN) показывает лучшую эффективность по сравнению с додецилбензолсульфонатом натрия (SN), что указывает на его более высокую начальную активность при низких температурах.

При дальнейшем повышении температуры (от 35°C до 70°C) разница в моющем действии между LSN и SN уменьшается, и при температурах выше 65°C их моющие свойства становятся практически идентичными.

SN демонстрирует заметное улучшение своих моющих свойств при температурах выше 30°C, достигая максимальных значений при 65-70°C, что делает его эффективным выбором для процессов, требующих высокотемпературной обработки. Оба ПАВ достигают почти полного отмыва нефти при температуре около 60°C, что показывает, что дальнейшее повышение температуры приводит к незначительному увеличению моющего действия.

Эти наблюдения подчеркивают важность температурной адаптации ПАВ для достижения наилучших результатов в заводнении нефтяных скважин, особенно в условиях, где температурные режимы могут значительно варьироваться.

Сравнивая результаты отмыва нефти с использованием ионогенных (лауретсульфат натрия и додецилбензолсульфонат натрия) и неионогенных ПАВ (например, ПАВМС, ПАВХС, ПАВКМ), можно сделать несколько важных выводов. Ионогенные ПАВ, как правило, эффективнее удаляют нефтяные пленки при повышении температуры. Это связано с тем, что повышение температуры усиливает термодинамическую активность молекул и способствует более интенсивной адсорбции ионогенных ПАВ на поверхности нефти, тем самым улучшая моющее действие. Неионогенные ПАВ также показывают улучшение моющих свойств с ростом температуры, но они могут быть менее стабильны при высоких температурах, что снижает их общую эффективность.

Неионогенные ПАВ обладают более широким спектром действия и стабильностью при различных условиях использования, что делает их универсальными в различных применениях. Они могут быть более предпочтительны в ситуациях, где требуется низкая или средняя температура, а также при использовании в различных водных средах с разными уровнями жесткости и солености.

Ионогенные ПАВ могут обеспечивать более высокую степень пенообразования и стабильности пены, что может быть полезно в определенных процессах заводнения. Однако неионогенные ПАВ часто обладают лучшим балансом между гидрофильными и липофильными свойствами, что обеспечивает устойчивость к различным внешним факторам.

Неионогенные ПАВ часто более экологичны и менее токсичны по сравнению с ионогенными аналогами. Их использование может быть предпочтительнее в условиях строгих экологических норм и требований.

Заключение. Проведённое исследование показало, что водные растворы поверхностно-активных веществ (ПАВ) оказывают существенное влияние на структуру и стабильность нефтяных плёнок на поверхности воды. Установлено, что применение ПАВ способствует снижению межфазного натяжения, разрушению плёнок и формированию устойчивых эмульсий, что значительно облегчает процесс удаления нефтепродуктов из водной среды.

Наиболее эффективными в разрушении нефтяных плёнок проявили себя неионогенные и анионные ПАВ при оптимальной концентрации, подобранной с учётом типа загрязнения и характеристик водоёма. Кроме того, было выявлено, что выбор типа ПАВ оказывает влияние не только на эффективность очистки, но и на

степень экологической безопасности процесса. Таким образом, использование ПАВ в задачах ликвидации нефтяных загрязнений водной поверхности является перспективным направлением, требующим дальнейших исследований по подбору оптимальных составов, минимизирующих негативное воздействие на окружающую среду и обеспечивающих высокую степень очистки.

Список литературы

1. Рахманов, Р. С. Поверхностно-активные вещества и их применение в нефтехимии. — М.: Химия, 2018. — 256 с.
2. Попов, В. А., Николаева, Т. М. Очистка воды от нефтепродуктов: технологии и реагенты. — СПб.: Гидросфера, 2020. — 198 с.
3. Kralchevsky, P. A., Denkov, N. D. Surfactant–oil–water interactions: mechanisms of spreading and emulsification. *Advances in Colloid and Interface Science*, 2021, Vol. 290, pp. 102361.
4. Федорова, Л. В., Кузнецова, Н. В. Поверхностная активность и биоразлагаемость неионогенных ПАВ. *Журнал прикладной химии*, 2020, Т. 93, № 7, с. 987–994.
5. Golemanov, K., Tcholakova, S., Denkov, N. D. Role of surfactant type and concentration in removal of crude oil films. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 2019, Vol. 579, pp. 123–131.
6. Назарова, Е. Н. Эффективность применения ПАВ в составе очистных средств при нефтяных загрязнениях. *Экология и промышленность России*, 2022, № 3, с. 42–47.
7. Fingas, M. *Oil Spill Science and Technology: Prevention, Response, and Cleanup*. — 3rd ed. — Oxford: Elsevier, 2022. — 912 p.