



УДК 665.622.4

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ПО СНИЖЕНИЮ СОДЕРЖАНИЯ
ВОДЫ И ХЛОРИСТЫХ СОЛЕЙ В ТОВАРНОЙ НЕФТИ****Володина Марина Олеговна,**

Иркутский национальный исследовательский технический университет (ИРНИТУ),

Иркутск, Россия, 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83

E-mail: moshupenya@mail.ru

Аннотация

Статья посвящена технологическим решениям, направленным на снижение содержания воды и хлористых солей в товарной нефти на стадиях промысловой подготовки. Актуальность темы связана с ростом доли трудноразделяемых водонефтяных эмульсий, изменением свойств добываемого сырья и повышением требований к стабильности качества нефти перед транспортировкой и переработкой. Новизна работы состоит в аналитическом сопоставлении химических, термических, гидродинамических, гравитационных, электрообезвоживающих и управленческих решений как единой технологической цепочки. В рамках работы описаны причины сохранения остаточной воды и солей, изучены подходы к подбору деэмульгаторов, режимов промывки, нагрева, отстоя и автоматизированного контроля. Внимание уделено согласованию свойств нефтяной эмульсии с режимами аппаратов подготовки. Работа ставит перед собой цель определить рациональные направления снижения воды и хлористых солей в товарной нефти. Для ее решения используются анализ научных источников, сравнительный метод, технологическая систематизация. В заключении описываются условия эффективной подготовки нефти. Статья будет полезна специалистам нефтепромысловой подготовки, технологам, проектировщикам и обучающимся нефтегазового профиля.

Ключевые слова: подготовка товарной нефти, обезвоживание, обессоливание, хлористые соли, водонефтяная эмульсия, деэмульгатор, электродегидратор, промывочная вода, технологический режим.

**TECHNOLOGICAL SOLUTIONS FOR REDUCING WATER AND CHLORIDE
CONTENT IN COMMERCIAL OIL****Volodina Marina Olegovna,**

Irkutsk National Research Technical University (IRNITU), Irkutsk, Russia, 664074, Irkutsk,

Lermontov St., 83

E-mail: moshupenya@mail.ru

ABSTRACT

This article examines technological solutions aimed at reducing water and chloride content in commercial oil during the pre-production stages. The relevance of this topic is due to the increasing proportion of difficult-to-separate water-in-oil emulsions, changing properties of produced crude, and increasing demands for consistent oil quality before transportation and refining. The novelty of this work lies in the analytical comparison of chemical, thermal, hydrodynamic, gravity, electrical dehydration, and management solutions as a single process chain. This paper describes the causes of residual water and salts, and examines approaches to selecting demulsifiers, flushing, heating, settling, and automated control modes. Attention is paid to matching the properties of oil emulsions with the processing equipment operating modes. The paper aims to identify rational approaches to reducing water and chloride salts in commercial oil. This approach is addressed through an analysis of scientific sources, a comparative method, and process systematization. The conclusion describes the conditions for effective oil treatment. This article will be useful for oilfield preparation specialists, technologists, designers, and students in the oil and gas industry.

Keywords: commercial oil treatment, dehydration, desalting, chloride salts, water-in-oil emulsion, demulsifier, electrical dehydrator, flushing water, process mode.

Снижение содержания воды и хлористых солей в товарной нефти начинается с понимания того, что соли в основном связаны с водной фазой. При добыче нефть поступает на поверхность вместе с пластовой водой, газом, механическими примесями и природными стабилизаторами эмульсий. Вода присутствует как свободная фаза, которую сравнительно легко отделить в сепараторах и отстойниках, и как диспергированные капли, окруженные адсорбционными оболочками из смол, асфальтенов, органических кислот, тонкодисперсных механических частиц и реагентов, попавших в поток при добыче. Чем меньше размер капель воды и прочнее межфазная пленка, тем медленнее идет их укрупнение и осаждение. Поэтому остаточная вода после первичного сброса часто сохраняет основную часть растворенных хлоридов, а простое увеличение времени отстоя без разрушения эмульсионной структуры не дает требуемого результата.

На промысловых объектах подготовка строится как последовательное снижение неоднородности потока. На начальной стадии отделяют свободный газ и крупную водную фазу, затем разрушают стойкую эмульсию, обеспечивают переход растворенных солей из мелких капель пластовой воды в промывочную воду, укрупняют дисперсную фазу и выводят ее из потока. Такая последовательность объясняет, почему обезвоживание предшествует глубокому обессоливанию, но не замещает его. Остаточная вода с высокой минерализацией удерживает хлориды в товарном продукте даже при низкой видимой обводненности. Недостаточное распределение промывочной воды ограничивает растворение и вынос солей. Чрезмерно интенсивное смешение, напротив, формирует новую мелкодисперсную эмульсию, трудную для последующего разрушения. Поэтому режим работы оборудования подбирают с учетом контакта фаз и последующего разделения.

Практика применения реагентов при добыче и подготовке нефти показывает, что деэмульгаторы работают совместно с промывкой пресной водой, нагревом и отстоем [1]. Введение реагента в неподходящей точке потока, недостаточное перемешивание либо чрезмерная турбулизация после ввода снижают результат. Реагенту требуется контакт с поверхностью водных капель, но после разрушения защитной оболочки поток должен перейти в режим, благоприятный для коалесценции и осаждения. Поэтому место

дозирования, расход, температура и гидродинамика трубопровода формируют единый технологический узел.

Деэмульгатор снижает устойчивость эмульсии за счет адсорбции на границе нефть-вода, вытеснения природных стабилизаторов и изменения межфазных свойств. Исследование С.С. Негматова и соавторов показывает, что композиционные реагенты на основе поверхностно-активных соединений способны снижать межфазное натяжение и улучшать отделение воды и хлоридов из высокоэмульсионной нефти [2]. Содержание этой работы полезно для оценки химического механизма: снижение межфазного натяжения облегчает деформацию капель, их столкновение и слияние, но само по себе не гарантирует качественного отделения. Если после химического воздействия аппарат не обеспечивает спокойного отстоя или электрической коалесценции, укрупненные капли могут снова дробиться. Поэтому лабораторный подбор реагента следует связывать с реальным режимом установки: температурой, временем контакта, минерализацией воды, плотностью нефти, вязкостью и интенсивностью перемешивания.

Состав деэмульгатора определяет его пригодность для конкретной эмульсии. К.Х. Паппел, А.Р. Ракитин и Е.Н. Ивашкина изучили более 70 промышленных деэмульгаторов и установили, что основой многих реагентов служат блок-сополимеры оксидов этилена и пропилена с различным содержанием оксиэтильных звеньев и молекулярной массой [3]. Эти данные показывают, что подбор реагента нельзя сводить к торговому названию. Одинаковые по назначению реагенты различаются растворителем, активной основой, соотношением гидрофильных и гидрофобных фрагментов, добавками и совместимостью с конкретной нефтью. Для технолога это означает необходимость боттл-теста и контроля состава, стабильности партий, поведения реагента при рабочей температуре и влияния на качество отделяемой воды.

Обобщение, представленное А.А. Поповым и соавторами, раскрывает развитие деэмульгаторов как направление, связанное с глубокой подготовкой нефти и путевой деэмульсацией [4]. Путевая деэмульсация ценна тем, что часть процессов разрушения эмульсии переносится из аппарата в трубопроводную часть системы. При корректном подборе реагента и гидродинамического режима капли воды начинают укрупняться до поступления нефти в отстойник или электродегидратор. Подход уменьшает нагрузку на аппарат, повышает устойчивость отделения фаз и снижает риск поступления в товарный поток мелкодисперсной воды. При этом путевая деэмульсация требует строгого контроля: слишком ранний ввод реагента при значительной турбулентности может привести к повторному диспергированию воды, а слишком поздний ввод не оставляет времени для разрушения межфазной оболочки.

Тепловой режим влияет на вязкость нефти, плотностную разницу фаз, скорость осаждения капель и активность деэмульгатора. Нагрев снижает сопротивление движению водных капель и ускоряет коалесценцию, но чрезмерное повышение температуры увеличивает энергозатраты, усиливает испарение легких фракций и может ухудшить экономику подготовки. Для высоковязких нефтей тепловая обработка часто выступает условием нормальной работы деэмульгатора и отстойной аппаратуры. Для менее вязких нефтей избыточный нагрев не всегда оправдан: часть эффекта достигается грамотным подбором реагента, режимом смешения и достаточным временем пребывания. Поэтому тепловое решение следует оценивать через прирост качества товарной нефти, расход топлива, устойчивость работы оборудования и влияние на последующие стадии.

Промывочная вода служит основным средством вывода хлористых солей из нефти. Ее задача состоит в переносе солей из остаточной пластовой воды в водную фазу, которую затем удаляют из нефти. Эффективность промывки зависит от объема воды, качества ее распределения, минерализации, температуры и режима последующего разделения.

Недостаточный объем промывочной воды оставляет часть солей в дисперсной фазе. Чрезмерный объем повышает нагрузку на отстойники, электродегидраторы и систему очистки подтоварной воды. Тонкое диспергирование увеличивает площадь контакта, но при отсутствии последующей коалесценции формирует новую стойкую эмульсию. Поэтому смесительные устройства должны создавать размер капель промывочной воды, который обеспечивает контакт с соледержащей фазой и сохраняет возможность последующего отделения.

Гравитационное разделение сохраняет значение как базовая стадия подготовки. Отстойники, трехфазные сепараторы и аппараты предварительного сброса воды снижают объем свободной водной фазы и стабилизируют поток перед более глубокими стадиями. Их эффективность зависит от равномерности входного распределения, отсутствия коротких протоков, достаточной площади раздела, времени пребывания и устойчивого уровня водонефтяной границы. Гравитационный метод особенно чувствителен к размеру капель: крупные капли быстро осаждаются, мелкие удерживаются в нефтяной фазе. Поэтому отстой улучшается после химической обработки, умеренного нагрева и мягкой коалесценции. Использование только отстоя оправдано для сравнительно нестойких эмульсий; при высоком содержании смолисто-асфальтеновых компонентов, механических примесей или тонкодисперсной воды требуется дополнение электрическим либо термохимическим воздействием.

Электрообезвоживание и электрообессоливание применяются на стадиях глубокой подготовки, где остаточная вода уже представлена мелкими каплями. Электрическое поле поляризует капли воды, вызывает их взаимное притяжение, столкновение и укрупнение. После коалесценции капли быстрее оседают в нижнюю часть аппарата. Технология эффективна после предварительного снижения свободной воды, поскольку избыток водной фазы ухудшает устойчивость электрического режима и повышает риск нарушений. Для достижения устойчивого результата электродегидратор должен получать поток с относительно стабильной температурой, обводненностью, содержанием механических примесей и дозировкой реагента. Нарушение любого из этих параметров отражается на межфазном уровне, качестве отделения воды и содержании солей в товарной нефти.

Автоматизированное управление повышает устойчивость подготовки нефти, поскольку состав и свойства поступающего сырья меняются во времени. С.Д. Фарунцев рассматривает математическое моделирование объектов промышленной подготовки и показывает значение моделей для управления трехфазным сепаратором, включая секции дегазирования, обезвоживания и выгрузки нефтяной эмульсии [5]. Для задачи снижения воды и хлористых солей логика означает переход от ручной корректировки отдельных параметров к связному регулированию температуры, расхода реагента, уровня раздела фаз, давления, времени пребывания и качества выходной нефти. Модельные методы особенно ценны при залповых изменениях обводненности и минерализации, когда реакция оперативного состава запаздывает, а качество товарной нефти начинает колебаться.

Контроль качества товарной нефти должен сочетать лабораторные методы и оперативные измерения. Лабораторное определение содержания воды, хлористых солей и механических примесей дает нормативно значимую оценку, но для управления режимом одной периодической проверки недостаточно. Оперативный контроль расхода реагента, температуры, давления, уровня раздела фаз, электропараметров, объема сбрасываемой воды и стабильности потока помогает выявить причину отклонения до выхода некондиционной нефти. При этом данные измерений требуют технологической интерпретации. Рост солей при стабильной обводненности может указывать на недостаточную промывку или плохое смешение. Рост воды при приемлемом содержании

солей чаще связан с нарушением коалесценции, нестабильным уровнем раздела фаз или несоответствием реагента текущей эмульсии.

Рациональная схема снижения воды и хлористых солей в товарной нефти строится по принципу последовательного снятия технологических ограничений. На первом этапе поток освобождают от свободного газа и крупной водной фазы. На втором этапе вводят деэмульгатор в точке, где обеспечивается достаточный контакт с эмульсией без избыточного дробления капель. На третьем этапе подбирают температуру, уменьшающую вязкость и повышающую скорость разделения. На четвертом этапе проводят промывку водой с регулируемым смещением, чтобы перевести хлориды в удаляемую водную фазу. На пятом этапе используют отстой и электрическое воздействие для глубокой коалесценции. На шестом этапе контролируют качество товарной нефти и корректируют режимы по данным измерений.

Выбор конкретного решения зависит от типа эмульсии. При низкой вязкости и невысокой устойчивости эмульсионной системы достаточный эффект обычно дает сочетание реагента, умеренного нагрева и отстоя. Высоковязкое сырье требует более выраженной термохимической обработки, поскольку вязкость снижает скорость осаждения водных капель. При высоком содержании хлоридов на первый план выходит качество промывки: распределение воды, время контакта и последующее отделение. В эмульсиях, стабилизированных механическими примесями и асфальтенами, особое значение получает подбор реагента с учетом межфазных свойств и способности разрушать прочные адсорбционные оболочки. На объектах с резкими колебаниями состава продукции приоритет переходит к автоматизированному регулированию, поскольку товарное качество нефти зависит от скорости корректировки режима.

Перерасход деэмульгатора может ухудшать качество подтоварной воды, увеличивать нагрузку на очистные сооружения и создавать вторичные эмульсионные образования. Анализ состава промышленных деэмульгаторов показывает, что действующие компоненты и растворители различаются существенно [3], поэтому технологический подбор должен учитывать скорость отделения воды в лабораторном тесте и прозрачность отделенной воды, устойчивость нефтяной фазы, совместимость с другими реагентами и поведение при длительной эксплуатации. Для промысловой практики наиболее надежен подход, при котором реагент выбирают через серию испытаний на реальных пробах нефти при температурах, близких к рабочим, с учетом фактической минерализации воды и времени пребывания в аппаратах.

Снижение хлористых солей тесно связано с состоянием подтоварной воды. Чем стабильнее отводится водная фаза, тем меньше вероятность вторичного уноса соленой воды с нефтью. Нарушение межфазного уровня в отстойнике или электродегидраторе приводит к захвату воды нефтяным потоком либо к попаданию нефти в водную линию. В обоих случаях ухудшается работа установки: товарная нефть получает остаточную воду и соли, а система очистки воды принимает дополнительную нефтяную нагрузку. Поэтому автоматическое поддержание межфазного уровня и диагностика состояния промежуточного слоя имеют прямое значение для снижения содержания хлористых солей. Моделирование и усовершенствованное управление объектами подготовки, рассмотренные С.Д. Фарунцевым, дают методическую основу для решения этой задачи [5].

При оценке технологических решений следует учитывать, что обезвоживание и обессоливание конкурируют с экономическими и экологическими ограничениями. Повышение температуры ускоряет разделение, но увеличивает энергопотребление. Рост расхода промывочной воды снижает содержание солей, но увеличивает объем загрязненной водной фазы. Повышение дозировки реагента ускоряет разрушение эмульсии, при этом способно ухудшить качество подтоварной воды. Усиление перемешивания улучшает

межфазный контакт, но при избыточной интенсивности формирует более стойкую эмульсию. Поэтому технологическое решение нельзя сводить к увеличению одного параметра. Более обоснован подбор технологического окна, при котором содержание воды и солей снижается до заданного уровня без избыточного расхода энергии, воды и реагентов.

Наиболее результативным направлением выступает комбинирование технологий. Наиболее результативное направление связано с комбинированием технологий. Химическая деэмульсация ослабляет межфазную пленку, нагрев снижает вязкостное сопротивление, промывочная вода переводит соли в удаляемую водную фазу, гравитационный отстой отделяет крупные капли, электрическое поле завершает коалесценцию мелкодисперсной воды, автоматизация удерживает режим в заданных пределах. Каждое решение раскрывает свой эффект только при согласовании с другими элементами схемы. Поэтому снижение воды и хлористых солей в товарной нефти следует описывать как управляемый переход от стойкой водонефтяной эмульсии к продукту с контролируемым содержанием остаточной воды, солей и механических примесей.

Список литературы:

1. Иванцов А. Е. Анализ применения химических реагентов при добыче и подготовке нефти на Западно-Сургутском месторождении // Вестник науки. 2021. № 12 (45). Т. 2. С. 177–180.
2. Негматов С. С., Исмаилов Р. И., Рахимов Х. Ю., Раупова Д. Н., Мусабеков Д. Х. Исследование влияния разработанного композиционного деэмульгатора на поверхностное натяжение на границе нефть–вода // Universum: технические науки. 2024. № 10 (127).
3. Паппел К. Х., Ракитин А. Р., Ивашкина Е. Н. Исследование состава промышленных деэмульгаторов водонефтяных эмульсий // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2025. Т. 336. № 10. С. 156–167.
4. Попов А. А., Ясьян Ю. П., Нисковская М. Ю., Сыроватка В. А., Хрисониди В. А. Деэмульгаторы водонефтяных эмульсий: вчера, сегодня, завтра // НефтеГазоХимия. 2025. № 1–2. С. 38–44.
5. Фарунцев С. Д. Опыт применения методов математического моделирования для построения комплексных моделей управления объектами промысловой подготовки нефти // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2021. Т. 332. № 12. С. 7–21.

References:

1. Ivantsov, A. E., Analysis of the Use of Chemical Reagents in Oil Production and Treatment at the West Surgut Field // Vestnik nauki. 2021. No. 12 (45). Vol. 2. pp. 177–180.
2. Negmatov, S. S., Ismailov, R. I., Rakhimov, H. Yu., Raupova, D. N., Musabekov, D. Kh., Study of the Effect of the Developed Composite Demulsifier on the Surface Tension at the Oil–Water Interface // Universum: Technical Sciences. 2024. No. 10 (127).
3. Pappel, K. Kh., Rakitin, A. R., Ivashkina, E. N., Study of the Composition of Industrial Demulsifiers for Water-Oil Emulsions // Bulletin of Tomsk Polytechnic University. Georesource Engineering. 2025. Vol. 336. No. 10. Pp. 156–167.

4. Popov, A. A., Yasyan, Yu. P., Niskovskaya, M. Yu., Syrovatka, V. A., and Khrononidi, V. A. Demulsifiers for Oil-Water Emulsions: Yesterday, Today, and Tomorrow // Oil and Gas Chemistry. 2025. No. 1-2. Pp. 38-44.
5. Faruntsev, S. D. Experience in Applying Mathematical Modeling Methods to Develop Integrated Management Models for Oil Field Treatment Facilities // Bulletin of Tomsk Polytechnic University. Georesource Engineering. 2021. Vol. 332. No. 12. Pp. 7-21.