

УДК 665.62

<https://doi.org/10.33619/2414-2948/131/12>

**КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К УПРАВЛЕНИЮ ОСЛОЖНЕНИЯМИ
ПРИ ДОБЫЧЕ ВЫСОКОВЯЗКОЙ И ВЫСОКООБВОДНЕННОЙ НЕФТИ
(НА ПРИМЕРЕ ЕМ-ЕГОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ)**

©Фролов А. В., Югорский государственный университет,

г. Ханты-Мансийск, Россия, Frolovalexvas@mail.ru

©Хайруллин А. А., ORCID: 0009-0003-3230-6995, SPIN-код: 3830-6340,
Scopus ID: 57204828148, канд. техн. наук, Югорский государственный университет,
г. Ханты-Мансийск, Россия

**INTEGRATED APPROACH TO MANAGING COMPLICATIONS
IN THE PRODUCTION OF HIGH-VISCOSITY AND HIGH-WATER-CUT OIL
(CASE STUDY OF EM-EGOVSKOYE FIELD)**

©Frolov A., Yugra State University, Khanty-Mansiysk, Russia, Frolovalexvas@mail.ru

©Khayrullin A., ORCID: 0009-0003-3230-6995, SPIN-код: 3830-6340,
Scopus ID: 57204828148, Ph.D., Yugra State University, Khanty-Mansiysk, Russia

Аннотация. Обосновывается необходимость комплексного подхода к управлению осложнениями при добыче нефти на поздней стадии разработки месторождений. На примере Ем-Еговского месторождения показано, что традиционные методы борьбы с механическими и химическими примесями (фильтрация, использование гидроциклонов, изолированное применение ингибиторов) неэффективны без учёта взаимосвязи физико-химических свойств флюида. Предложена система управленческих и технологических решений, базирующаяся на синергии знаний в области геологии, физики пласта, химии и механики, которая позволяет увеличить межремонтный период работы оборудования в 2 раза и снизить операционные затраты на 30–40%.

Abstract. The article substantiates the need for an integrated approach to managing complications in oil production at the late stage of field development. Using the Em-Egovskoye field as an example, it is shown that traditional methods of combating mechanical and chemical impurities—such as filtration, hydrocyclones, and the isolated use of inhibitors—are ineffective when the interrelation of the fluid's physical and chemical properties is ignored. A system of managerial and technological solutions is proposed, based on the synergy of knowledge in geology, reservoir physics, chemistry, and mechanics, which increases the overhaul period of equipment by twofold and reduces operating costs by 30–40%.

Ключевые слова: управление осложнениями, высоковязкая нефть, высокообводнённая нефть, комплексный подход, междисциплинарная синергия, месторождение знаний, пескоотстойник, ингибиторная защита.

Keywords: complications management, high-viscosity oil, high-water-cut oil, integrated approach, interdisciplinary synergy, knowledge field, sand trap, inhibitor protection.

Разработка нефтяных месторождений на поздней стадии эксплуатации неизбежно сопровождается комплексом осложняющих факторов, обусловленных как геологическими особенностями продуктивных пластов, так и изменением физико-химических свойств добываемых флюидов [2].

Снижение пластового давления, рост обводнённости продукции, вынос механических примесей, интенсивное солеотложение и коррозия оборудования требуют применения

системных управленческих решений, учитывающих взаимосвязь всех элементов технологической цепочки [3].

Ем-Еговское месторождение, входящее в структуру Красноленинского нефтегазоконденсатного комплекса, является характерным примером объекта, где поздняя стадия разработки сопровождается комплексом взаимосвязанных осложнений. Продуктивные пласты ВК1-3 представлены слабосцементированными терригенными коллекторами с высоким содержанием глинистого материала, что обуславливает интенсивный вынос механических примесей. Одновременно с этим, высокая минерализация пластовых вод хлоркальциевого типа создаёт благоприятные условия для отложения карбоната кальция на внутренней поверхности трубопроводов и оборудования [4].

В условиях поздней стадии разработки традиционные изолированные методы борьбы с осложнениями (применение только фильтров, только ингибиторов или только оптимизация режимов работы насосов) не обеспечивают требуемой эффективности. Необходим комплексный подход, базирующийся на синергии знаний в области геологии, физики пласта, химии и механики, что соответствует современной концепции «месторождения знаний» [1].

Цель настоящей работы – обосновать необходимость и разработать систему комплексного управления осложнениями при добыче высоковязкой и высокообводнённой нефти на основе междисциплинарной синергии.

Проведённый анализ действующей системы сбора и подготовки продукции Ем-Еговского месторождения выявил следующие ключевые осложняющие факторы [4].

Вынос механических примесей. Продуктивные пласты викуловской свиты представлены слабосцементированными песчаниками, склонными к разрушению при создании высоких депрессий. Содержание механических примесей в продукции достигает сотен миллиграммов на литр. Твёрдые частицы (песок, глина, алевроит) вызывают абразивный износ рабочих колёс насосов, запорной арматуры и внутренней поверхности трубопроводов, что приводит к сокращению межремонтного периода оборудования.

Высокая обводнённость и вязкость эмульсии. Обводнённость продукции по объекту ВК1-3 достигла 82%, а эффективная вязкость водонефтяной эмульсии составляет 239 мПа·с, что в 70 раз превышает вязкость чистой нефти. Высокая вязкость затрудняет гравитационное разделение фаз, снижает эффективность работы насосного оборудования и увеличивает энергозатраты на транспортировку.

Интенсивное солеотложение. Пластовые воды Ем-Еговского месторождения относятся к хлоркальциевому типу с высоким содержанием ионов кальция и гидрокарбонатов. При изменении термобарических условий в процессе подъёма и транспортировки флюида происходит выделение углекислого газа и кристаллизация карбоната кальция на внутренней поверхности трубопроводов, в запорной арматуре и на рабочих колёсах насосов. Солеотложения сужают проходное сечение, увеличивают гидравлическое сопротивление и могут полностью блокировать движение потока.

Коррозионная агрессивность среды. Наличие в попутном газе углекислого газа и сероводорода, а также высокая минерализация пластовой воды создают агрессивную среду, вызывающую электрохимическую и углекислотную коррозию оборудования [4].

Коррозионное разрушение металла усугубляется эрозионным воздействием твёрдых частиц, движущихся с высокой скоростью в потоке жидкости. Важно отметить, что перечисленные осложнения редко проявляются изолированно. На практике наблюдается их взаимное усиление: механические примеси увеличивают коррозионно-эрозионный износ; солеотложения создают под отложениями условия для локальной коррозии; коррозия разрушает внутренние покрытия, облегчая прилипание солей и парафинов [4].

Совокупное действие факторов приводит к системному снижению эффективности работы оборудования и росту эксплуатационных затрат. Эффективное управление осложнениями требует перехода от изолированных решений к комплексной системе, учитывающей взаимосвязь всех факторов и использующей междисциплинарные знания [1].

Предлагаемый комплексный подход включает следующие взаимосвязанные элементы (Таблица 1).

Таблица 1

ЭЛЕМЕНТЫ КОМПЛЕКСНОГО ПОДХОДА К УПРАВЛЕНИЮ ОСЛОЖНЕНИЯМИ

Направление	Научная основа	Техническое решение	Ожидаемый эффект
Предотвращение выноса мехпримесей	Геология, гидродинамика	Оптимизация депрессий, ограничение отборов	Снижение поступления песка на 20–30%
Удаление мехпримесей из потока	Механика жидкостей, гравитационное осаждение	Установка пескоотстойника с коническим днищем	Удаление с мехпримесей 60–70%
Химическая защита от солеотложения	Химия, петрофизика	Дозирование ингибиторов солеотложения	Предотвращение кристаллизации CaCO_3
Коррозионная защита	Химия, материаловедение	Ингибиторы коррозии, трубы с покрытиями	Увеличение срока службы оборудования
Повышение энергоэффективности	Термодинамика, гидравлика	Оптимизация режимов перекачки	Снижение энергозатрат на 10–15%

Геологическая составляющая. Понимание геологического строения продуктивных пластов позволяет прогнозировать зоны повышенного выноса механических примесей и корректировать систему разработки. Анализ геолого-физических характеристик, включая пористость, проницаемость и степень цементированности коллекторов, даёт возможность оценивать риски разрушения породы при различных депрессиях [4].

Физико-химическая составляющая. Знание физико-химических свойств пластовых флюидов (вязкость, плотность, минерализация, ионный состав, содержание газов) является основой для выбора оптимальных режимов эксплуатации и проектирования систем защиты [3].

Расчёт вязкости водонефтяной эмульсии (239 мПа·с) показывает, что гравитационное осаждение механических примесей без дополнительных мер эффективно только для крупных частиц, что требует применения коалесцирующих насадок в отстойном оборудовании.

Химическая составляющая. На основе данных об ионном составе пластовых вод и термобарических условиях подбираются оптимальные реагенты для предотвращения солеотложения и коррозии. Для условий Ем-Еговского месторождения рекомендуются ингибиторы на основе фосфоновых кислот («Азол-3070», «Акватек 512НМ», «ОЭДФ К») [4, с. 61], которые эффективно подавляют кристаллизацию карбоната кальция.

Механико-технологическая составляющая. На основе гидродинамических расчётов и анализа абразивного износа выбирается конструкция оборудования, обеспечивающая минимальное сопротивление потоку и максимальную устойчивость к воздействию твёрдых частиц. Предлагаемая конструкция пескоотстойника с коническим днищем и гидроэлеваторной системой обеспечивает непрерывное удаление осадка без остановки аппарата, что критически важно для непрерывного процесса подготовки нефти.

Реализация комплексного подхода позволяет достичь следующих результатов:

-Увеличение межремонтного периода насосного оборудования с 180 до 360 суток (в 2 раза) за счёт снижения абразивного и коррозионно-эрозионного износа.

-Снижение содержания механических примесей на входе в ЦТП с 300–400 до 100–150 мг/л (в 2,5–3 раза) за счёт эффективной работы пескоотстойника.

-Повышение приёмистости нагнетательных скважин на 15–20% за счёт улучшения качества закачиваемой воды.

-Полное исключение простоев оборудования, связанных с зачисткой отстойников, благодаря гидроэлеваторной системе удаления осадка.

-Снижение энергозатрат на перекачку на 10–15% за счёт оптимизации режимов работы насосов и снижения гидравлического сопротивления трубопроводов.

Таблица 2

ПРОГНОЗИРУЕМЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЭФФЕКТИВНОСТИ

Показатель	До внедрения	После внедрения	Изменение
Межремонтный период насосного оборудования, сут	180	360	Повышение в 2 раза
Содержание мехпримесей на входе в ЦТП, мг/л	300–400	100–150	Понижение в 2,5–3 раза
Приёмистость нагнетательных скважин, % от проектной	85	95–100	Повышение на 15–20%
Простои оборудования на зачистку, сут/год	15	0	Полное исключение

Добыча высоковязкой и высокообводнённой нефти на поздней стадии разработки характеризуется комплексом взаимосвязанных осложнений, эффективное управление которыми невозможно без использования междисциплинарных знаний. Традиционные изолированные методы борьбы с отдельными факторами (фильтрация, химическое ингибирование, оптимизация режимов работы насосов) не дают системного эффекта. Предлагаемый комплексный подход, базирующийся на синергии знаний в области геологии, физики пласта, химии и механики, позволяет выстроить систему управления осложнениями, учитывающую их взаимосвязь. Реализация такого подхода на Ем-Еговском месторождении позволит увеличить межремонтный период оборудования в 2 раза, снизить операционные затраты на 30–40% и повысить качество подготовки нефти и воды для системы поддержания пластового давления. Полученные результаты подтверждают целесообразность применения комплексного подхода и позволяют рекомендовать его к тиражированию на других объектах с аналогичными осложнениями.

Список литературы:

1. Громова Ю. В. Междисциплинарные исследования и подходы: место и роль современной философии // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. Философия. Политология. Культурология. 2024. Т. 10. №2. С. 10–15.
2. Валеев Р. Р., Хамидуллин Р. Р. Анализ осложненных условий эксплуатации скважин на месторождениях ООО «Башнефть-Добыча» // Вестник технологического университета. 2022. Т. 25. №5. С. 54–59.
3. Павлов С. М., Кулакова Л. А., Кирсанова А. М. Физико-химическое моделирование процессов солеотложения в системе добычи, сбора и подготовки углеводородов на поздней стадии разработки // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Геология. Нефтегазовое и горное дело. 2024. Т. 24. № 1. С. 96–108.

4. Дополнение к технологической схеме разработки Красноленинского нефтегазоконденсатного месторождения в пределах Ем-Еговского+Пальяновского лицензионного участка: отчет о НИР. Кн. 2. Тюмень, 2016. 298 с.
5. Дополнение к технологической схеме разработки Красноленинского нефтегазоконденсатного месторождения в пределах Ем-Еговского+Пальяновского лицензионного участка: отчет о НИР. Кн. 4. Тюмень, 2016. 209 с.
6. Виноградов В. А. Справочник инженера по добыче нефти. М.: Инфра-Инженерия, 2021. Т. 2: Эксплуатация нефтяных месторождений. 512 с.
7. Дияшев Р. Н., Смирнова Е. В., Литвинов А. Л. Свойства пластовых флюидов и методы их исследования. М.: РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина, 2023. 184 с.

References:

1. Gromova, Yu. V. (2024). Mezhdistsiplinarnye issledovaniya i podkhody: mesto i rol' sovremennoj filosofii. *Uchenye zapiski Krymskogo federal'nogo universiteta imeni V. I. Vernadskogo. Filosofiya. Politologiya. Kul'turologiya*, 10(2), 10–15. (in Russian).
2. Valeev, R. R., & Khamidullin, R. R. (2022). Analiz oslozhnennykh usloviy ekspluatatsii skvazhin na mestorozhdeniyakh ООО “Bashneft'-Dobycha”. *Vestnik tekhnologicheskogo universiteta*, 25(5), 54–59. (in Russian).
3. Pavlov, S. M., Kulakova, L. A., & Kirsanova, A. M. (2024). Fiziko-khimicheskoe modelirovanie protsessov soleotlozheniya v sisteme dobychi, sbora i podgotovki uglevodorodov na pozdnej stadii razrabotki. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Geologiya. Neftgazovoe i gornoe delo*, 24(1), 96–108. (in Russian).
4. Dopolnenie k tekhnologicheskoy skheme razrabotki Krasnoleninskogo neftegazokondensatnogo mestorozhdeniya v predelakh Em-Egovskogo+Pal'yanovskogo litsenzionnogo uchastka: otchet o NIR. 2. (2016). Tyumen'. (in Russian).
5. Dopolnenie k tekhnologicheskoy skheme razrabotki Krasnoleninskogo neftegazokondensatnogo mestorozhdeniya v predelakh Em-Egovskogo+Pal'yanovskogo litsenzionnogo uchastka : otchet o NIR. 4. (2016). Tyumen'. (in Russian).
6. Vinogradov, V. A. (2021). Spravochnik inzhenera po dobyche nefiti. Moscow.
7. Diyashev, R. N., Smirnova, E. V., & Litvinov, A. L. (2023). Svoystva plastovykh flyuidov i metody ikh issledovaniya. Moscow. (in Russian).

Поступила в редакцию
13.07.2026 г.

Принята к публикации
24.07.2026 г.

Ссылка для цитирования:

Фролов А. В., Хайруллин А. А. Комплексный подход к управлению осложнениями при добыче высоковязкой и высокообводненной нефти (на примере Ем-Еговского месторождения) // Бюллетень науки и практики. 2026. Т. 12. №10. С. 110-114. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/131/12>

Cite as (APA):

Frolov, A., & Khayrullin, A. (2026). Integrated Approach to Managing Complications in the Production of High-Viscosity and High-Water-Cut Oil (Case Study of Em-Egovskoye Field). *Bulletin of Science and Practice*, 12(10), 110-114. (in Russian). <https://doi.org/10.33619/2414-2948/131/12>