

УДК 622.279

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ВЫЗОВЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗРАБОТКИ
ЗРЕЛЫХ ГАЗОКОНДЕНСАТНЫХ ЗАЛЕЖЕЙ С НЕФТЯНОЙ ОТОРОЧКОЙ
TECHNOLOGICAL CHALLENGES AND DEVELOPMENT PROSPECTS OF
MATURE GAS CONDENSATE RESERVOIRS WITH AN OIL RIM**

Уфимский государственный нефтяной технический университет

Студент 2 курса магистратуры Батыршин Рустам Рифович

Ufa State Petroleum Technological University

2nd-year Master's Student Batyrshin Rustam Rifovich

Аннотация. Данный обзор посвящен анализу ключевых проблем разработки зрелых газоконденсатных пластов с активными газовыми шапками и нефтяной оторочкой, на примере пласта Як-III-VII Ванкорского месторождения. В статье систематизируются геолого-физические вызовы, связанные с падением пластового давления и рисками ретроградной конденсации, а также дается обзор современных технологических методов, направленных на стабилизацию энергетического состояния залежи и увеличение конечной углеводородной отдачи. Особое внимание уделяется управлению газовой шапкой как стратегическому элементу разработки и анализу опыта применения методов увеличения нефте- и газоотдачи на аналогичных объектах.

Ключевые слова.: газоконденсатная залежь, зрелая стадия разработки, пласт Як-III-VII, Ванкорское месторождение, поддержание пластового давления (ППД), ретроградная конденсация, многостадийный гидроразрыв пласта (МГРП), водогазовое воздействие (ВГВ)

Abstract. This review is dedicated to the analysis of key challenges in developing mature gas condensate reservoirs with active gas caps and an oil rim, using the example of the Yak-III-VII reservoir of the Vankor field. The article systematizes the geological and physical challenges associated with reservoir pressure decline and the risks of retrograde condensation. It also provides an overview of modern technological methods aimed at stabilizing the energy state of the reservoir and enhancing ultimate hydrocarbon recovery. Special attention is paid to gas cap management as a strategic element of development and to the analysis of experience in applying enhanced oil and gas recovery methods in similar fields.

Keywords: gas condensate reservoir, mature stage of development, Yak-III-VII reservoir, Vankor field, reservoir pressure maintenance, retrograde condensation, multi-stage hydraulic fracturing, water-alternating-gas injection.

Разработка газоконденсатных месторождений с нефтяной оторочкой, таких как Ванкорское, представляет собой комплексную технологическую задачу. Переход объекта на зрелую стадию разработки, характеризующуюся значительным отбором запасов, обостряет ряд системных проблем. Ключевыми из них становятся дефицит пластовой энергии, нарушение фазового равновесия в пласте и неоднородность выработки запасов. Для пласта Як-III-VII Ванкорского месторождения эти проблемы выражены особенно ярко: пластовое давление упало до 13 МПа, что ниже начального давления насыщения (15.9 МПа), а накопленная компенсация отборов закачкой воды составляет лишь 51%. В таких условиях традиционные методы поддержания пластового давления (ППД) теряют эффективность, а риски безвозвратных потерь ценных углеводородов — конденсата в газовой шапке и нефти в нефтяной оторочке — многократно возрастают. Целью данной работы является обобщение и анализ существующих подходов к решению данных проблем, что служит теоретической основой для формирования конкретных технологических рекомендаций.

Пласт Як-III-VII характеризуется уникальным сочетанием факторов, определяющих сложность его разработки на текущем этапе:

1. Энергетический кризис пласта. Падение давления ниже давления насыщения запустило активный процесс разгазирования нефти. Это не только снижает ее подвижность, но и переводит пласт в режим растворенного газа, который является менее эффективным по сравнению с водонапорным или газонапорным режимами. Низкая компенсация отборов (51%) усугубляет этот дефицит энергии;

2. Риски, связанные с газовой шапкой (ГШ): Наличие активной газовой шапки из запасами порядка 32 млрд. м³ трансформирует геологический факт в основной технологический риск. При снижении давления в ГШ возникают две взаимосвязанные угрозы:

– ретроградная конденсация. Давление в ГШ может упасть ниже точки росы для пластового газа, что приведет к выпадению жидких углеводородов (конденсата) непосредственно в порах коллектора. Эти потери являются безвозвратными и значительно снижают ценность добываемого сырья;

– обратная миграция нефти и деформация контактов. Снижение давления в ГШ может вызвать подтягивание газонефтяного контакта (ГНК) и миграцию подвижной нефти из оторочки в газонасыщенную зону, где она также может остаться в виде остаточной, не извлекаемой насыщенности. Как отмечается в исследованиях, разработка залежей с тонкой нефтяной оторочкой напрямую связана с риском смещения межфлюидальных контактов и безвозвратных потерь запасов;

3. Геологическая неоднородность и низкий охват. Высокая расчлененность пласта (14.6 д.ед.), особенно в его северной линзовидной части, обуславливает неравномерную выработку. Закачиваемая вода прорывается по высокопроницаемым каналам, оставляя неохваченными значительные объемы запасов в низкопроницаемых пропластках и изолированных линзах. Это напрямую ведет к низкому коэффициенту охвата и преждевременному обводнению добывающих скважин.

Таким образом, центральными задачами для повышения эффективности разработки становятся: восстановление пластовой энергии, управление газовой шапкой для предотвращения потерь и увеличение коэффициента охвата воздействием.

Анализ практики разработки аналогичных объектов в России и мире позволяет выделить несколько ключевых технологических направлений, актуальных для условий пласта Як-III-VII.

Основным методом стабилизации давления в ГШ и предотвращения ретроградной конденсации является обратная закачка (реинжекция) газа. Закачка осушенного попутного или товарного газа обратно в газонасыщенную часть решает несколько задач: поддержание давления выше точки росы, сохранение ресурсов газа и создание барьера для

движения ГНК. Как показывают исследования, организация обратной закачки является системным подходом, обеспечивающим максимальную выработку запасов нефти при рациональном использовании попутного газа. Однако этот метод требует значительных капитальных вложений в компрессорное и подготовительное оборудование. В качестве альтернативного или дополняющего метода в мировой практике рассматривается **закачка воды в газовую шапку**. Этот подход, изученный на месторождениях Галтоп (Норвегия), Самаранг (Малайзия) и Прадхо-Бэй (США), направлен на вытеснение газа и поддержание давления. Его потенциальное преимущество — использование менее дорогой инфраструктуры. Однако ключевым риском является возможность блокирования остаточной нефти в газонасыщенной зоне, если вода займет поровое пространство некорректно. Для минимизации этого риска исследуется использование мелкодисперсных водогазовых смесей (МВГС) для контроля профиля приемистости.

Для вовлечения в разработку неоднородных и низкопроницаемых интервалов применяются следующие методы:

1 Водогазовое воздействие (ВГВ). Это комбинированный метод, при котором попеременная или совместная закачка воды и газа позволяет повысить как коэффициент вытеснения (благодаря газу), так и коэффициент охвата (благодаря воде). Газ, как менее вязкая и несмачивающая фаза, проникает в низкопроницаемые зоны, обойденные при обычном заводнении. Мировой опыт показывает, что средний прирост коэффициента извлечения нефти (КИН) при ВГВ составляет 8-12%. Технология считается особенно эффективной на неоднородных пластах и объектах с повышенной вязкостью нефти. Однако ее успех сильно зависит от поддержания необходимого пластового давления для обеспечения режима смешиваемости при использовании углеводородных газов.

2 Направленный многостадийный гидроразрыв пласта (МГРП) в горизонтальных стволах. Для точечного вовлечения изолированных линз, характерных для северной части пласта Як-III-VII, МГРП является высокоэффективным, хотя и капиталоемким решением. Он позволяет создать проводящие каналы в целевых низкопроницаемых интервалах. Альтернативой для интенсификации притока в условиях, где классический ГРП экономически рискован, может служить газодинамический разрыв пласта (ГДРП). Эта технология, основанная на импульсном воздействии продуктами сгорания твердых топлив, обеспечивает очистку призабойной зоны и создание сети микротрещин с меньшими затратами и может комбинироваться с химическими обработками.

Таблица 1 – Сравнительный анализ методов повышения эффективности разработки газоконденсатных пластов с нефтяной оторочкой

Метод	Основной механизм воздействия	Ключевые преимущества	Основные риски и ограничения	Потенциал для пласта Як-III-VII
Обратная закачка газа в ГШ	Поддержание давления > точки росы, управление ГНК.	Прямое решение проблемы ретроградной конденсации, сохранение ресурсов газа.	Высокие капитальные затраты (компрессоры), необходимость источника газа.	Высокий. Стратегический метод для стабилизации энергетики пласта.

Метод	Основной механизм воздействия	Ключевые преимущества	Основные риски и ограничения	Потенциал для пласта Як-III-VII
Водогазовое воздействие (ВГВ)	Увеличение охвата за счет вовлечения низкопроницаемых зон.	Повышение КИН на 8-12%, эффективность в неоднородных пластах, утилизация ПНГ.	Требует высокого давления для смешиваемости, сложность контроля за распространением агентов.	Высокий. Ключевой метод для увеличения охвата и интенсификации вытеснения.
Направленный МГРП	Создание проводящих каналов в целевых линзах.	Точечное воздействие, значительный прирост дебита в изолированных зонах.		

Проведенный анализ показывает, что для зрелого пласта Як-III-VII не существует универсального технологического решения. Выявленные проблемы носят системный и взаимосвязанный характер: дефицит энергии усугубляет потери конденсата и снижает эффективность методов увеличения охвата (например, ВГВ), а низкий охват, в свою очередь, не позволяет эффективно компенсировать отборы.

Следовательно, необходим комплексный технологический пакет, основанный на синергии методов:

1. Базовый уровень (управление энергией): Обратная закачка газа в газовую шапку должна рассматриваться как приоритетная стратегическая мера. Она создает необходимые термобарические условия для работы всех остальных методов, предотвращая фундаментальные потери.

2. Уровень увеличения охвата пласта: Циклическое ВГВ в нефтенасыщенной части и направленный МГРП для линзовидных зон направлены на вовлечение невыработанных запасов. Их эффективность будет напрямую зависеть от успеха мер по поддержанию давления.

3. Уровень поддержания добычи: Газлифтная эксплуатация становится необходимой технологией для поддержания работоспособности скважинного фонда в условиях низких забойных давлений.

Таким образом, переход к эффективной разработке на поздней стадии требует смены парадигмы: от экстенсивного разбуривания к интегрированному, адаптивному управлению пластом как единой газонефтяной системой. Технологические решения должны подбираться и ранжироваться на основе строгой системы критериев, учитывающих геолого-физическую специфику, техническую осуществимость и экономику проекта. Последующая работа должна быть направлена на количественное обоснование такого комплексного пакета и разработку программы его поэтапного внедрения для пласта Як-III-VII.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Шалабанова М. С., Иконникова Л. Н. Прогнозирование выпадения газового конденсата в пласте // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. — 2025. — № 6(402). — С. 60–64. URL: <https://journal.gubkin.ru/journals/geology/2025/6-402/60-64/> (дата обращения: 18.12.2025).
2. Michałowski, A., Borzęcka, K., Bieński, A. A comprehensive approach to natural gas condensate recovery: from wellhead to processing // Energies. — 2023. — Vol. 16, iss. 10. — P. 4184. — DOI: 10.3390/en16104184. (Электронный ресурс).
3. Сокотущенко В. Н. Определение удельных коэффициентов продуктивности и дебита группы скважин с учётом неоднородности призабойной зоны пласта // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. — 2023. — № 3(375). — С. 41–45. URL: [https://doi.org/10.33285/2413-5011-2023-3\(375\)-41-45](https://doi.org/10.33285/2413-5011-2023-3(375)-41-45) (дата обращения: 18.12.2025).
4. Михайлов Н. Н., Туманова Е. С. Связь параметров нелинейной фильтрации в низкопроницаемых коллекторах с фильтрационно-емкостными свойствами // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. — 2024. — № 5(389). — С. 65–70. URL: [https://doi.org/10.33285/2413-5011-2024-5\(389\)-65-70](https://doi.org/10.33285/2413-5011-2024-5(389)-65-70) (дата обращения: 18.12.2025).
5. Mahmood, H., Sultan, A., Haq, B., Al-Shehri, D. Enhanced gas recovery and CO2 storage in gas condensate reservoirs: A review // Journal of Natural Gas Science and Engineering. — 2022. — Vol. 106. — Art. 104753. — DOI: 10.1016/j.jngse.2022.104753. (Электронный ресурс).
6. Sun, S., Zhang, T. Reservoir Simulation: Machine Learning and Modeling. — Gulf Professional Publishing, 2020. — 340 p. — ISBN 9780128209578. (Книга, упомянутая в списке литературы).
7. Бердимырадова О. О., Атагараев Т. Б., Овезова А. А. [и др.]. Повышение газоотдачи в газовых и газоконденсатных месторождениях // Молодой ученый. — 2023. — № 19 (466). — С. 218–220.
8. Волохова А. В., Земляная Е. В., Качалов В. В., Сокотущенко В. Н. Обзор методов повышения компонентоотдачи при разработках газоконденсатных месторождений // ScienceIT. — 2023. — № 1.
9. Yan M., Liu Y., Zhu J. Optimizing gas production from unconventional reservoirs: a review of recent advances and challenges // Journal of Natural Gas Science and Engineering. — 2021. — Vol. 96. — P. 104242.