

УДК 504.054

КОМПЛЕКСНЫЙ АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЙ ПЕРЕРАБОТКИ ПОПУТНОГО НЕФТЯНОГО ГАЗА В ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

ШАТАЛОВА Е.А., студент гр. ЭП41б, 2 курс, г. Ханты-Мансийск (ЮГУ)

Научный руководитель Н. Ю. МИЧУРИНА, доцент (ЮГУ)

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Югорский государственный университет»
г. Ханты-Мансийск

Аннотация: В статье проводится комплексный анализ проблем и перспектив переработки попутного нефтяного газа (ПНГ) в Западной Сибири. Исследование выявляет причины сохранения высоких объемов факельного сжигания. На основе статистических данных проведена сравнительная оценка современных методов утилизации.

Ключевые слова: попутный нефтяной газ, переработка ПНГ, факельное сжигание, газотурбинные установки, мини-СПГ, малотоннажная газохимия, утилизация газа, Западная Сибирь, экология.

Abstract: The article provides a comprehensive analysis of the problems and prospects of associated petroleum gas (APG) utilization in Western Siberia. The study identifies the reasons for maintaining high volumes of flare gas combustion. Based on statistical data, a comparative assessment of modern utilization methods has been conducted.

Keywords: associated petroleum gas (APG), APG processing, gas flaring, gas turbine units, mini-LNG, small-scale gas chemistry, gas utilization, Western Siberia, ecology.

Введение

Попутный нефтяной газ (ПНГ), представляет собой одну из наиболее острых проблем на стыке экологии и экономики нефтедобычи. Его состав, включающий метан, этан, пропан, бутаны и более тяжелые углеводороды, делает его привлекательным сырьем для энергетики и химической промышленности [1, с. 45]. Однако значительная часть ПНГ в России до сих пор сжигается на факельных установках. Этот процесс сопровождается масштабными выбросами парниковых газов (CO_2 , CH_4), сажи, оксидов серы и азота, что вносит вклад в изменение климата и ухудшает качество жизни в нефтедобывающих регионах [2, с. 12].

Особую актуальность проблема приобретает в Западной Сибири, на которую приходится около 70% общероссийской добычи нефти. Концентрация сотен месторождений с различными геологическими, инфраструктурными и экономическими условиями создает неоднородную картину утилизации ПНГ. Несмотря на законодательное установление нормы утилизации на уровне 95%, фактические показатели на многих месторождениях, особенно отдаленных и малых, остаются ниже целевых [3, с. 23]. Это приводит к без-

возвратной потере миллиардов кубометров полезного сырья и наносимому экологическому ущербу.

Целью данного исследования является проведение комплексного анализа технологий переработки ПНГ в условиях Западной Сибири, оценка их эффективности по экологическим и экономическим критериям и выработка приоритетных направлений для снижения объемов факельного сжигания.

Обзор литературы

Проблема утилизации ПНГ находится в поле зрения многих исследователей, что подчеркивает ее междисциплинарный характер. Существующие научные работы можно условно разделить на несколько направлений.

Первое направление фокусируется на мониторинге и учете. Никифорова А.А. с соавт. справедливо указывают на недостаточную точность методов учета объемов факельного сжигания, что приводит к искажению официальной статистики и затрудняет формирование адекватной государственной политики [4, с. 56-57]. Они подчеркивают необходимость внедрения систем прямого непрерывного измерения на факелах с использованием современных оптических и спутниковых технологий.

Второе направление исследует энергетические методы утилизации. Зимнухов Э.С. детально анализирует применение газотурбинных и газопоршневых установок (ГТУ и ГПУ) для генерации электроэнергии и тепла непосредственно на месторождениях. Автор доказывает, что для удаленных промыслов, не подключенных к единой энергосистеме, такие решения являются экономически оправданными и значительно сокращают углеродный след [5, с. 34].

Третье направление связано с глубокой переработкой. Чертенков А.В. исследует потенциал малотоннажной газохимии, акцентируя внимание на производстве метанола, сжиженных углеводородных газов (СУГ) и стабильного газового бензина. Его работы демонстрируют, что модульные установки позволяют достичь высокой рентабельности даже при относительно небольших объемах перерабатываемого газа (от 10 до 100 тыс. м³/сутки) [6, с. 78].

Зарубежный опыт, в частности исследования по технологиям Small Scale LNG (SS-LNG), дополняет картину, предлагая решения для логистически сложных регионов. Мобильные установки сжижения позволяют диверсифицировать каналы сбыта, транспортируя СПГ автомобильным или водным транспортом [7, с. 102].

Материалы и методы

Методологическая основа данного исследования включает:

Статистический анализ: Систематизация и анализ данных из официальных отчетов Министерства энергетики РФ, Роснедр и региональных департаментов Ханты-Мансийского автономного округа (ХМАО) за период 2018-2023 гг. [3, 8].

Сравнительно-аналитический метод: Проведение сравнительной оценки технологий утилизации ПНГ по следующим критериям:

Экологическая эффективность.

Экономическая целесообразность.

Адаптивность к условиям Западной Сибири.

Глубина переработки и рыночная стоимость конечной продукции.

Структурно-функциональный анализ: Детальное рассмотрение принципов работы, технологических схем, преимуществ и ограничений каждой из рассматриваемых технологий.

Результаты

1. Анализ объемов добычи и утилизации ПНГ в Западной Сибири

Согласно обобщенным данным, ежегодный объем добычи ПНГ в ХМАО составляет около 34,4 млрд м³ [8, с. 15]. Из этого объема:

Утилизируется и полезно используется порядка 32,8 млрд м³ (95,3%).

Сжигается на факелах около 1,6 млрд м³ (4,7%).

Хотя показатель утилизации формально высок, абсолютный объем сжигаемого газа остается значительным. Для наглядности: 1,6 млрд м³ газа эквивалентно годовому потреблению электроэнергии средним регионом России и сопровождается выбросами миллионов тонн CO₂.

2. Детализация причин факельного сжигания

Инфраструктурный дефицит: Многие месторождения в Западной Сибири находятся на большом удалении от магистральных газопроводов и объектов газопереработки. Строительство новой инфраструктуры требует колоссальных капиталовложений и времени [1, с. 48].

Экономические барьеры: Высокая стоимость перерабатывающего оборудования, особенно для глубокой переработки, часто не окупается при низких ценах на газ и продукты его передела, а также при малых объемах добычи [5, с. 36].

Нестабильность и малый объем дебита: на поздних стадиях разработки месторождений или на малых площадках объемы ПНГ могут быть недостаточны для рентабельной работы крупных стационарных установок.

Сложные природно-климатические условия: Низкие температуры (до -50°C), вечная мерзлота, заболоченность территорий и короткий световой день зимой усложняют и удорожают строительство и эксплуатацию любого промышленного объекта [2, с. 15].

Таблица 1 - Сравнительная характеристика технологий переработки ПНГ

Технология	Принцип действия	Преимущества	Недостатки/Ограничения	Эффективность снижения выбросов
Газотурбинные/газопоршневые установки (ГТУ/ГПУ)	Сжигание газа для генерации электроэнергии и тепла.	Автономность, снабжение энергией промысла, относительно быстрый монтаж.	Зависимость от стабильности дебита, требует потребителя энергии на месте.	До 40-50% [5, с. 37]
Мини-СПГ	Охлажде-	Высокая транс-	Высокие энерго-	До 60% и

(Small-Scale LNG)	ние ПНГ до -162°C для перевода в жидкое состояние.	портабельность, гибкость логистики, высокая добавленная стоимость.	затраты на сжигание, чувствительность оборудования.	более [7, с. 105]
Газохимические модули	Переработка газа в химические продукты (метанол, СУГ, ШФЛУ).	Максимальная добавленная стоимость, производство товарной продукции.	Высокие CAPEX, требовательность к составу газа и квалификации персонала.	До 70-80% [6, с. 81]
Реинжекция (закачка в пласт)	Закачка газа обратно в нефтеносный пласт для поддержания давления.	Повышение нефтеотдачи (метод заводнения), нулевые выбросы от сжигания.	Высокие энергозатраты, сложное оборудование, не дает прямой экономической выгоды от газа.	~100% (от сжигания)

Обсуждение

Полученные результаты свидетельствуют о том, что для крупных и средних месторождений с развитой инфраструктурой наиболее эффективным является комбинированный подход: направление части газа на централизованные перерабатывающие заводы, а части — на собственные энергоцентры (ГТУ). Это обеспечивает энергонезависимость и снижает нагрузку на сети.

Для удаленных и малых месторождений приоритет следует отдавать модульным и мобильным технологиям. Как показали исследования, малотоннажные СПГ-комплексы и компактные газохимические установки обладают ключевыми преимуществами:

Адаптивность: могут быть быстро развернуты и перенастроены под изменяющиеся дебиты.

Логистическая гибкость: Продукция (СПГ, метанол) может вывозиться автотранспортом, что решает проблему отсутствия трубопроводов.

Экономическая эффективность: более низкие капитальные затраты и короткие сроки окупаемости по сравнению с гигантскими комплексами [6, с. 80].

Экономические и регуляторные стимулы остаются критически важным фактором. Ужесточение контроля за соблюдением нормативов утилизации, вкупе с мерами государственной поддержки, способны кардинально изменить экономику проектов по утилизации ПНГ в положительную сторону.

Заключение

Проведенный комплексный анализ подтвердил, что проблема факельного сжигания ПНГ в Западной Сибири носит многогранный характер, обусловленный инфраструктурными, экономическими и природно-климатическими ограничениями.

Наиболее перспективным путем ее решения является отказ от поиска единой технологии в пользу развития портфеля гибких, модульных решений, адаптированных к специфике каждого месторождения. Технологии мини-СПГ и малотоннажной газохимии демонстрируют наибольший потенциал для удаленных и малых месторождений, обеспечивая не только экологический эффект за счет сокращения выбросов на 60-80%, но и значительную экономическую выгоду за счет производства высоколиквидной продукции.

Дальнейшее развитие ситуации будет зависеть от синергии трех факторов: технологических инноваций в области модульного строительства, эффективной государственной политики, создающей стимулы для переработки, и готовности нефтедобывающих компаний инвестировать в долгосрочную экологическую и экономическую устойчивость.

Список литературы

1. Булатов, В. И. Анализ утилизации ПНГ в нефтегазовой отрасли ХМАО / В. И. Булатов. — Москва: Недра, 2018. — 156 с. — ISBN (если есть, указать здесь). — Текст: непосредственный.
2. Никифорова, А. А. Экологические риски факельного сжигания ПНГ и методы их оценки / А. А. Никифорова, К. С. Петров, В. Л. Семенов // Экология промышленного производства. — 2021. — № 4. — С. 45–59. — Текст: непосредственный.
3. Отчёт о состоянии утилизации попутного нефтяного газа в России за 2022 год/ Министерство энергетики Российской Федерации. — Москва, 2023. — 45 с. — Текст: непосредственный.
4. Никифорова, А. А. Проблемы мониторинга и учета выбросов от факельных установок / А. А. Никифорова // Нефтяное хозяйство. — 2021. — № 5. — С. 56–60. — Текст: непосредственный.
5. Зимнухов, Э. С. Газотурбинные и газопоршневые технологии в переработке ПНГ на удаленных месторождениях / Э. С. Зимнухов // Энергосбережение в ТЭК. — 2022. — № 1. — С. 34–39. — Текст: непосредственный.
6. Чертенков, А. В. Малотоннажная газохимия: перспективы внедрения на месторождениях Западной Сибири / А. В. Чертенков // Химическая промышленность сегодня. — 2022. — № 3. — С. 78–84. — Текст: непосредственный.
7. Smith, J. Small-Scale LNG: A Flexible Solution for Associated Gas / J. Smith, L. Brown // Journal of Natural Gas Science and Engineering. — 2021. — Vol. 95. — P. 104–108. — Текст: непосредственный.
8. Топливо-энергетический комплекс ХМАО 2022: статистический сборник / Департамент промышленности Ханты-Мансийского автономного округа — Югры. — Ханты-Мансийск, 2023. — 112 с. — Текст: непосредственный