

УДК 502.08

**АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТОДОВ ПЕРЕРАБОТКИ И УТИЛИЗАЦИИ
ПОПУТНОГО ГАЗА**

Куандыков Данияр Ержанбекович

brahma@gmail.ru

Магистрант 1 курса факультета естественных наук ЕНУ им. Л. Н. Гумилева,
Нур-Султан, Казахстан

Научный руководитель – Әділбектегі Г.Ә.

Аннотация. В данной статье рассмотрена одна из наиболее сложных энергетических и экологических проблем в мире – сжигание газа в факелах. Рассмотрены и сравнены между собой следующие технологии по сокращению сжигания газа в данных условиях: обратная закачка газа в пласт, сжатие природного газа, газожидкостная конвенция, преобразование газа в химические вещества. Изучены проблемы внедрения методов по сокращению выбросов, рассмотрены примеры некоторых компаний.

Ключевые слова: газ, факел, выбросы, безопасность, переработка, утилизация.

Введение. Сжигание газа в факелах это – процесс сжигания попутного газа из скважин, установок по переработке углеводородов или нефтеперерабатывающих заводов в качестве средства утилизации, либо в качестве меры безопасности (технологически неизбежное сжигание газа) [1]. В настоящее время данный процесс признан серьезной экологической проблемой, и было определено, что около 150 миллиардов м³ природного газа сжигается в факелах по всему миру, загрязняя окружающую среду примерно 400 миллионами тонн CO₂ в год [2-3].

Сжигание газа в факелах является одной из наиболее сложных энергетических и экологических проблем, стоящих сегодня перед миром. В настоящее время мир сталкивается с глобальным потеплением как одной из своих главных проблем. Экологические проблемы, вызванные сжиганием в факелах, носят глобальный, региональный и локальный характер [3-4]. Результаты недавнего исследования воздействия сжигания газа на окружающую среду и здоровье в дельте Нигера указывают на вероятные масштабы загрязнения в регионе, связанного с процессом сжигания газа. Было выявлено более 250 токсинов, выделяемых при сжигании на факелах, включая канцерогены, такие как бензопирен, бензол, сероуглерод (CS₂), карбонилсульфид (COS) и толуол; металлы, такие как в виде ртути, мышьяка и хрома; кислый газ с H₂S и SO₂; оксиды азота (NO_x); двуокись углерода (CO₂); и метан (CH₄) которые способствуют образованию парниковых газов [3-4]. Эти загрязнители вызывают кислотность, повышение температуры, влияют на окружающую среду, особенно на здоровье человека и рост растений.

Целью данной работы является проведение литературного исследования и анализа методов переработки и утилизации попутного газа (в том числе и технологически неизбежного сжигания газа на факелах) в промышленности с целью анализа эффективности данных методов в экологическом и экономическом плане.

Исходные данные. Одна из важнейших проблем факельного газа с технологической точки зрения заключается в том, как оправдать затраты на переработку небольших объемов газа низкого давления, которые быстро снижаются по сравнению с традиционными газовыми месторождениями. В исследовании Российской академии наук затраты на переработку попутного газа оцениваются в 47 долларов США за кубометр без учета сборов за сбор и сжатие. Оценки из нескольких источников показывают, что основные затраты на переработку газа для богатого попутного газа варьируются от 40 и 80 долларов США за кубометр (от 0,90 до 2,00 доллара за миллион БТЕ). Эта оценка предполагает базовый пакет обработки газа со сжатием до 30 бар (~435 фунтов на квадратный дюйм), обезвоживание и охлаждение для создания обедненного газа и сырой смеси NGL. Анализ показывает, что для традиционных систем удельные затраты начинают быстро расти по мере увеличения объема газового потока уменьшается. Меньший расход газа означает более высокие затраты. Конкретные затраты на переработку по проекту значительно варьируются в зависимости от состава газа, размера установки и уровня очистки газа от загрязнений [8-10]. Таким образом, значительное количество попутных газов все еще сжигается в факелах во всем мире из-за экономических ограничений, отсутствия политики и нормативно-правовой базы, субсидий на внутренние цены на топливо и технических ограничений, таких как примеси газа и степень его кислотности, строительство газовой инфраструктуры, поток газа и его колебания [8, 9].

На данный момент есть много различных проверенных технологии переработки и утилизации газа для различных применений. Эти технологии обобщены и описаны в таблице 1.

Таблица 1. Перечень технологии переработки и утилизации попутного газа

Технология	Краткое описание	Рыночная зрелость	Успешные кейсы
Обратная закачка газа в пласт	Технология предусматривает установку газового компрессора для повторного повышения давления в зонах пластового газа низкого давления.	Коммерческий	Казахстан
Сжатие природного газа (СПГ)	Сжатие природного газа до значительно меньшего объема (1/1200 от первоначального объема) при давлении между 8300 и 30 000 кПа. СПГ хранится и транспортируется в баллонах	Некоммерческий	-
Сжиженный природный газ (СПГ)	Технология сжиженного природного газа использует простой процесс охлаждения. Газ предварительно очищается от примесей, таких как сера, CO ₂ , вода и другие вещества, преобразуется в жидкость путем охлаждения до -162 °C и хранится до тех пор, пока он не будет отправлен на борт танкеров для сжиженного природного газа	Коммерческий	Сойо, Ангола (с 2010 года)
Преобразование газа в жидкость или Газожидкостная конверсия (ГЖК)	Это химический процесс, который преобразует газообразный метан в транспортное топливо, такое как бензин или дизельное топливо. Технология все еще находится в стадии разработки, поскольку она не была экономически целесообразной и сопряжена с большими техническими рисками	Близко к коммерции	Pearl GTL, Катар (с 2012 года)
Преобразование газа в химические вещества (аммиак, метанол, ДМЭ)	Метан в природном газе и попутном газе также может быть преобразован в метанол. Метанол дополнительно используется для получения диметилового эфира (ДМЭ) и олефинов, таких как этилен и пропилен	Коммерческий	Нефтехимические промышленности в Персидском заливе

Примечание: составлено на основе источника [3-8].

Результаты исследования и обсуждения. Факторы, включая капиталовложения, технологические риски, внутренний рынок и его инфраструктура, а также политическую обстановку, стратегии компаний, конкурируют за принятие решений. Эти факторы могут сделать технологию практичной для ввода в эксплуатацию где-либо, в то время как применение той же технологии может быть нецелесообразным в другом месте [3, 4].

В случае относительно небольших расстояний до рынков сырьевых товаров и низкого объема газа, выработка электроэнергии или транспортировка газа по трубопроводу могут быть экономичными альтернативами сжиганию на факелах. Если объемы газа превышают 10 млн кубометров в год и расстояния до рынков больше, чем 2000 км, есть несколько других вариантов использования газа, включая заводы по производству сжиженного природного газа или преобразованию газа в жидкость, а также транспортировку произведенных жидкостей танкерами на рынки сырьевых товаров. Хотя СПГ (сжиженный природный газ) имеет несколько более низкие эксплуатационные расходы, чем ГЖК (газожидкостная конверсия), общая стоимость производства продуктов СПГ и ГЖК для одного и того же количества природного газа весьма схожа (порядка 2,5 млрд долларов США) [9]. Цены на продукцию из СПГ требует долгосрочных контрактов. Поэтому, в конечном счете, решение об установке установки СПГ или ГЖК будет зависеть от других факторов, таких как потребности местного рынка, имеющиеся ресурсы, приоритеты компаний и правительств и т. д. [10]. При сравнении ГЖК и СПГ (сжиженный природный газ), можно сделать вывод о коммерческой жизнеспособности ГЖК и хотя установка является более сложной, менее эффективной и более дорогой, чем завод по производству СПГ, их сквозные цепочки поставок вполне сопоставимы, и, таким образом, решение инвестировать в любой из них является сложным [9]. Исследование Халилпура и Карими (2012) предложило ГЖК в качестве наилучшего варианта для крупных резервуаров и отдаленных рынков; однако метод утилизации попутного газа для любого месторождения будет зависеть как от технических, так и от экономических факторов [11].

Небольшие объемы попутного газа экономически не привлекательны для крупных продавцов газа, особенно для объектов сжиженного природного газа или трубопроводов. Для небольших рынков, например островов, где проходят трубопроводы или СПГ неосуществим, гидраты натурального газа и сжатый натуральный газ может быть экономически эффективным методом транспортировки. Могут быть варианты работы с нишевыми рынками для запасов газа, находящихся на мели (без рынка), и для попутного газа (на суше или за ее пределами), который нельзя сжигать или повторно закачивать, или для небольших резервуаров, которые иначе не могут быть экономически эксплуатированы. Транспортировка природного газа в виде гидрата или сжатого природного газа считается возможной при меньших затратах, чем для сжиженного натурального газа, и там, где трубопроводы невозможны. Их конкурентное преимущество по сравнению с другими процессами, не связанными с трубопроводным транспортом, заключается в том, что они по своей сути просты, поэтому их должно быть намного проще реализовать при меньших капитальных затратах при условии, что экономически привлекательные рыночные возможности могут быть согласованы с продавцом газа [12].

На основе изученных данных, предлагаются следующие стратегии сжигания и смягчения последствий приведены ниже в таблице 2.

Таблица 2. Методы сокращения сжигания на факелах

№	Стратегии по смягчению последствий	Описание
1	Предотвращение необходимости сжигания газа на факеле	Добавление второго сепаратора при проектировании скважин
2	Направление газа, предназначенного	2а Добавление на резервуарах устройств для

	для сжигания на факеле на продажу в качестве природного газа или сжиженного природного газа	рекуперации паров 2б Сокращение сжигания на факелах во время проверки и завершения строительства скважин 2в Сжатие природного газа и его транспортировка автотранспортом 2г Регенерация сжиженного природного газа
3	Хранение газов, которые в противном случае были бы сожжены	Хранение газов посредством их закачки в нефтегазовые резервуары
4	Поиски альтернативных способов использования выбрасываемых газов	Использование остаточных газов для выработки электроэнергии
5	Повышение эффективности сжигания	5а Усовершенствование сжигания на управляемых вручную паровых или воздушных факелах
		5б Усовершенствование сжигания на небольших факельных установках на объектах, управляемых без участия человека.

Примечание: составлено на основе источника [13].

Заключение. Сжигание газа на факелах является серьезной проблемой с точки зрения потерь энергии и ее экологических последствий на местном и региональном уровнях из-за потерь миллионов тонн сжигаемого газа ежегодно. Сжигание газа на факелах имеет серьезные экологические и экономические последствия, вызванные выбросами миллионов тонн парниковых газов каждый год. Сжигание газа в факелах на нефтедобывающих месторождениях привело к необходимости глобальных программ по смягчению последствий сжигания, которые включают технологии сокращения сжигания и утилизации газа, состоящие из широкого спектра уже разработанных технологий, а некоторые из них находятся на стадии разработки. Внедрение конкретной технологии зависит от расположения факельных площадок и региона; ни одна конкретная технология не применима для всех участков нефтяных месторождений. Аналогичным образом, сжигание в разных регионах зависит от различных факторов, таких как финансовые, политические и институциональные рамки каждого региона. Это также зависит от наличия инфраструктуры для транспортировки газа, условий местного рынка, а также удаленности и размера нефтяных месторождений.

В разных странах действуют разные правила сокращения сжигания газа в факелах, которые зависят от конкретного участка, в зависимости от типа месторождения и его местоположения. Также стоит отметить, что несмотря на то, что технологически неизбежное сжигание газа влечет за собой те же последствия что и процесс сжигания попутного газа, вклад этого типа сжигания относительно очень мал. К тому же, учитывая его крайнюю необходимость, важно понимать, что технологически неизбежное сжигание газа помогает снизить риск взрыва и значительно повышает уровень безопасности в промышленности.

Список использованных источников

1. Ajugwo, A. O. «Negative effects of gas flaring: The Nigerian experience. Journal of Environment Pollution and Human Health» (2013) с 6-8.
2. Soltanieh, M., Zohrabian, A., Gholipour, M. J., & Kalnay, E. «A review of global gas flaring and venting and impact on the environment: Case study of Iran. International Journal of Greenhouse Gas Control» (2016). с49, с488-509.
3. Emam, E. A. «GAS FLARING IN INDUSTRY: AN OVERVIEW. Petroleum & coal» (2015). с 57(5).
4. Ismail, O. S., & Umukoro, G. E. «Global impact of gas flaring» (2012).

5. Orimoogunje, O. O. I., Ayanlade, A., Akinkuolie, T. A., & Odiong, A. U. «Perception on effect of gas flaring on the environment. Research Journal of Environmental and Earth Sciences» (2010). c 188-193.
6. Davoudi, M., Rahimpour, M. R., Jokar, S. M., Nikbakht, F., & Abbasfard, H. «The major sources of gas flaring and air contamination in the natural gas processing plants: A case study. Journal of Natural Gas Science and Engineering» (2013). c13, c7-19.
7. Mansoor, R., & Tahir, M. Recent «Developments in Natural Gas Flaring Reduction and Reformation to Energy-Efficient Fuels: A Review. Energy & Fuels» (2021). c 35(5), c 3675-3714.
8. Buzcu-Guven, B., & Harriss, R. «Extent, impacts and remedies of global gas flaring and venting. Carbon Management» (2012). c 95-108.
9. Dong, L., Tan, S., & Zhang, H. «GTL or LNG: which is the best way to monetize “stranded” natural gas?. Petroleum Science» (2008). c 388-394.
10. Zhang, K., & Pang, M. «The present and future of the world’s LNG industry. International Petroleum Economics» (2005). c 55-59.
11. Khalilpour, R., & Karimi, I. A. «Evaluation of utilization alternatives for stranded natural gas. Energy» (2012). c 317-328.
12. Thomas, S., & Dawe, R. A. «Review of ways to transport natural gas energy from countries which do not need the gas for domestic use. Energy» (2003). c 1461-1477.
13. Methane guiding principles «Сокращение выбросов метана: Руководство по передовому опыту» (2019). c5