

УДК 911.3
А. О. Ротова¹
Ю. В. Петров²

Геоэкологические механизмы использования попутного нефтяного газа в РФ и мире

¹ФГАОУ ВО «Тюменский государственный университет»,
г. Тюмень

e-mail: rotova@utmn.ru

²ФГАОУ ВО «Тюменский государственный университет»,
г. Тюмень

e-mail: petrov19811201@gmail.com

Аннотация. Представлены результаты исследования технологий использования попутного нефтяного газа и сложности его утилизации. Изучены отечественная и международная практика применения ценного сырья. Выявлены недостатки и преимущества нормативного правового регулирования в Российской Федерации и мире. Выявлены экологические риски в контексте глобального потепления от использования попутного нефтяного газа.

Ключевые слова: попутный нефтяной газ, сжигание на факелах, газоснабжение, нефтяные месторождения, электроэнергия, глобальное потепление, переработка попутного нефтяного газа, нормативное правовое регулирование.

Введение

Попутный нефтяной газ (ПНГ) – это значимый ресурс нефтедобывающих предприятий. Однако его применение в качестве сырья имеет ряд сложностей, которые необходимо пройти ещё на первичном этапе обработки. Добываемая нефть содержит значительное количество растворенных в ней газов (табл. 1). На поверхности нефтяного пласта скапливаются пробки, после чего неизбежно возникают проблемы с утилизацией этого газа. Долгое время нефтедобытчики избавлялись от него простым и надежным способом – сжигая на факелах. Другим популярным вариантом была закачка газа обратно в пласт. В связи с ужесточением экологических стандартов, а также общим повышением культуры нефтедобычи и появлением новых технологий, реализуется больше проектов по использованию ПНГ в качестве ценного вида углеводородного сырья [1-5]. Целью работы является систематизация существующих методов переработки ПНГ.

Материалы и методы

Методами исследования являются верификация источников информации о попутном нефтяном газе в нормативном правовом поле РФ, стран Европы и Северной Америки, научно-исследовательских работ по тематике исследования, представленных в материалах Национальной электронной библиотеки, отражающих экологические аспекты нефтедобычи. По итогам применения методов географической систематизации авторами даны обобщения по применимости определённых технологий и их механизмов в отечественных условиях.

Результаты и обсуждение

Технологические сложности в организации применения попутного нефтяного газа в качестве источника сырья.

Добыча попутного нефтяного газа – дорогостоящий процесс, который требует квалифицированного персонала, специального оборудования. Снятие этой проблемы требует гибких законодательных, экономически взаимовыгодных и доступных высокотехнологичных решений. На сегодняшний день широкое распространение получили транспортировка ПНГ по газопроводам; сжигание газа на факелах; повторная закачка газа в нефтяной пласт для повышения нефтеотдачи [6].

Таблица 1.

Структурный состав для попутного нефтяного газа, релевантный для российских условий

Состав	Формула	Содержание, %
Метан	CH ₄	75-85
Этан	C ₂ H ₆	3-8
Пропан	C ₃ H ₈	3-8
Бутан	C ₄ H ₁₀	2-6
Азот	N ₂	1
Углекислый газ	CO ₂	>0.15

Составлено по материалам проекта «Горная промышленность» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://mining-prom.ru/toplivodob/gaz/neftyanoy-gaz/dpage2/>

Попутный нефтяной газ может транспортироваться по трубопроводам при соответствии техническим параметрам местной газотранспортной системы. Также необходимо наличие трубопроводной инфраструктуры в месте добычи нефти. Эти условия значительно ограничивают возможности ее использования путем прямой транспортировки. Важно отметить, что современные методы сжигания на факелах могут обеспечить высокую эффективность в преобразовании метана и других углеводородов в углекислый газ, воду и небольшое количество монооксида углерода.

Наиболее перспективным способом утилизации попутного нефтяного газа является повторная закачка. Однако, если методы повышения нефтеотдачи пластов не могут быть реализованы, повторная закачка приведет к потере потенциально ценных продуктов, особенно при воздействии сухого газа. В зависимости от месторождения, при добыче нефти, помимо ПНГ, одновременно извлекается значительное количество воды с растворенными минеральными солями, а также различными механическими примесями. Поэтому первыми операциями после добычи являются сепарация, обезвоживание, устранение водорода, сульфидов, углекислого газа.

Если попутный нефтяной газ является влажным, то есть содержит большое количество других газовых компонентов в дополнение к метану, он подвергается дальнейшей переработке, а именно разделению на сжиженный природный газ. Для реализации работы этого механизма используются различные технологические процессы, например, физическая или химическая абсорбция, мембранные системы, криогенная конденсация и другие. Например, процессы

низкотемпературной конденсации и абсорбции часто используются для выделения широкой фракции лёгких углеводородов (ШФЛУ) из сопутствующих газов. Газовые мембранные технологии очень эффективны при разделении серосодержащих соединений и CO, а другие абсорбционные технологии эффективны при осушке газа. При наличии соответствующей инфраструктуры ШФЛУ можно отправлять на специализированные газоперерабатывающие заводы для производства нефтехимических продуктов, а сухой метан – в трубопроводную систему [7].

Самым простым и в то же время эффективным методом утилизации является технология «Gas to Power», которая позволяет вырабатывать тепловую и электрическую энергию [8]. Это особенно важно, если учесть высокую стоимость электроэнергии при добыче нефти, и тем более, если она вырабатывается с помощью дизельных генераторов. В этом случае чаще всего используются поршневые двигатели, работающие на газе, или промышленные газовые турбины. Однако существуют определенные требования к составу газовой смеси, которая не должна иметь заметной доли тяжелых компонентов. Данная технология применима для небольших объемов добычи попутного нефтяного газа, а также в сочетании с другими технологиями утилизации.

Отечественная практика и нормативное правовое регулирование.

На сегодняшний день наиболее востребованным направлением использования ПНГ в России (рис. 1) является получение топлива для выработки электроэнергии и сырья для нефтехимической промышленности (производство сухого отбензиненного газа, газового бензина, ШФЛУ и сжиженного газа для бытового использования) [6]. Нормативное правовое регулирование и перечисление обязанностей недропользователя максимально полно извлечь ПНГ вытекают из положений Федерального закона от 10 января 2002 г. № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды» и Закона РФ от 21 февраля 1992 г. № 2395-1 «О недрах». Так, ст. 46 Федерального закона «Об охране окружающей среды» установлены требования в отношении ПНГ, которые предусматривают «необходимость обеспечить эффективные меры по сбору нефтяного газа».

Федеральный закон от 31 марта 1999 г. № 69-ФЗ «О газоснабжении в Российской Федерации» определяет правовые, экономические и организационные основы отношений в области газоснабжения в Российской Федерации в целях обеспечения потребностей государства в стратегическом виде ресурсов. В настоящее время действуют «Правила разработки нефтяных и газонефтяных месторождений», в соответствии с пунктом 2.1.7 которых ввод в промышленную разработку нефтяных месторождений без сбора и использования нефтяного газа не допускается. «Регламент составления проектных технологических документов на разработку нефтяных и газонефтяных месторождений» также в качестве условия ввода месторождения в промышленную эксплуатацию называет наличие утвержденных технологических проектных документов на промышленную разработку и проектно-сметной документации на обустройство, предусматривающие утилизацию нефтяного газа, газового конденсата и сопутствующих ценных компонентов в случае установления их промышленного значения [9].

- Переработка
- Энергетика, закачка в ГТС, обратная закачка в пласт
- Сжигание в факелах

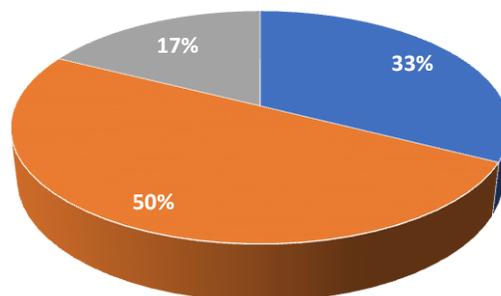


Рис. 1. Направления использования ПНГ в России в 2020 г.
Составлено по Итоги производственной деятельности отраслей ТЭК России // ТЭК России. №1 2021]

Международная практика и нормативное правовое регулирование

Попутный нефтяной газ используется тем же способом, что и природный газ, но с большим количеством примесей. После процесса отделения попутного газа от сырой нефти, его отправляют на газоперерабатывающий завод, где это сырьё разделяется на два основных компонента. Первый – сухой газ. Это тот же самый природный газ, который добывается на нефтехимических предприятиях с высокой степенью очистки и затем транспортируется по газопроводам. Он поступает непосредственно в горелки газовых котлов для отопления домов и выработки электроэнергии, ориентируясь на преимущества использования попутного нефтяного газа. На примере компании «West Newport Oil Co», Соединённые Штаты, Калифорния, рассмотрим способы применения попутного нефтяного газа в международной практике.

Данная промышленность является независимым производителем и поставщиком нефти и газа в Коста Меса. Добыча нефти, воды и попутного газа осуществляется с помощью 55-и насосных установок. Качество газа является более низким, к тому же, его недостаточно для того, чтобы заниматься продажей местным коммунальным предприятиям, поэтому предприятие потребляет практически все его запасы на компенсацию издержек его работы. Вторым вариантом применения добываемого ПНГ – хранение его на производстве, что приводит к снижению производительности при повышении давления в обсадной колонне (труба большого диаметра, которая устанавливается в новый недавно пробуренный участок скважины). На данный момент нефтегазодобывающая организация занимается сжиганием газа в микротурбинах CAPSTONE (рис. 2), что частично компенсирует затраты средств на электроэнергию.

Микротурбина генерирует примерно треть мощности, которую они используют в полевых условиях. Большая часть энергии потребляется в насосных установках, которые представляют собой электродвигатели мощностью от 3,6 до 7,4 кВт, поэтому самые большие эксплуатационные расходы приходятся на электроэнергию. С помощью внедрения данной технологии компания может замедлять работу счётчиков мощности и ежемесячно экономить деньги. Таким

образом, применив приведённую выше технологию, компания «West Newport Oil Co» снижает издержки ещё на первоначальном этапе добычи углеводородов, возмещая расходы «бесплатным топливом». Нормативно-правовое регулирование осуществляется на базе Всемирного банка GGFR (Global Gas Flaring Reduction Partnership).

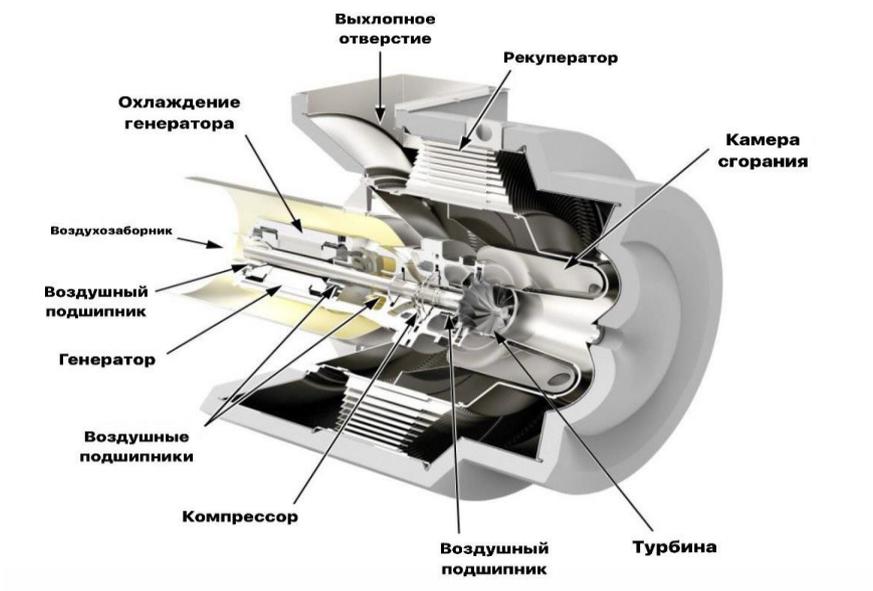


Рис. 2. Схема работы микротурбины CAPSTONE [<https://www.pngegg.com/en/png-cdmbg/download>]

Большинство стран (США, Норвегия, Нигерия, Эквадор, Ангола, Камерун, Индонезия и т.д.) приняли соответствующее первичное законодательство, такое как законы об углеводородах и охране окружающей среды. Первичное законодательство часто наделяет соответствующие регулирующие органы юридическими полномочиями выполнять функции по управлению природными ресурсами и проводить экологическую политику без прямого упоминания сжигания газа на факелах и выпуска газа.

Принятые нормативные акты различаются в разных странах. В канадской провинции Альберта действует наиболее всеобъемлющий и прозрачный режим регулирования сжигания газа на факелах и вентиляции среди всех стран. К числу других стран, принявших подзаконные акты, регулирующие сжигание в факелах и вентиляцию, относятся Альберта, Аргентина, Перу и Соединенное Королевство. Преимущество включения подробных правил сжигания газа на факелах и выпуска газа во вторичные правовые документы, а не в первичное законодательство, заключается в том, что эти инструменты являются более гибкими и адаптируемыми к постоянно меняющимся условиям добычи нефти и природных ресурсов [10-12]. Техническое регулирование добычи нефти и сжигания газа на факелах направлено только на установление стандартов и руководящих принципов в отношении того, как должна вестись добыча нефти для достижения целей охраны окружающей среды, безопасности и здоровья.

Выводы

Таким образом, можно выделить три технологии использования попутного нефтяного газа. Сжигание на факелах – устоявшийся процесс природопользования, который частично обоснован соблюдением технологической безопасности, но никак не коррелирует с применяющимися объёмами, а также геоэкологическими целями. Транспортировка газа по газопроводам и последующая углеводородная переработка – процедура инвестиционно-ёмкая, ориентированная на капитальное возведение зданий и сооружений, но обосновывающая долгосрочную реализацию природопользования, а также получение комплексной геоэкологической и экономической выгоды – в условиях необходимости достижения технологического суверенитета данное направление является стратегическим. Повторная закачка попутного нефтяного газа в пласт для повышения отдачи углеводородных пластов – является технологически-приемлемым решением для работы на небольших месторождениях, имеющих существенную удалённость от основных центров нефтегазохимии.

Менее распространёнными методами утилизации попутного нефтяного газа являются производство электроэнергии из газа, сжатого и сжиженного природного газов, преобразование газа в жидкость (синтетическое топливо, GTL). Данные направления приемлемы и целесообразны на отдалённых территориях недропользования, когда транспортировка существенно осложнена, производимая продукция имеет местное технологическое применение, а закачка в пласт нецелесообразна вследствие природных ограничителей, либо технологическими ограничениями стадии освоения месторождения.

Литература

1. Matveev A. M., Zhizhin M. N., Poyda A. A. Variations in gas flaring in Russia observed using multispectral nighttime remote sensing. *Sovremennye Problemy Distantionnogo Zondirovaniya Zemli iz Kosmosa*, 2020, vol. 17, no. 6, pp. 37-44. DOI 10.21046/2070-7401-2020-17-6-37-44
2. Девлешова Н. А., Воропаев А. А. Подготовка попутного нефтяного газа с высоким содержанием сероводорода на примере месторождения х // *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. 2023. Т. 334. №4. С. 221-230. DOI 10.18799/24131830/2023/4/3958
3. Слепцова Е. В., Никифорова М. Н. Перспективы использования попутного нефтяного газа как альтернативного топлива в горной промышленности Западной Якутии // *Горный журнал*. 2024. № 2. С. 66-70. DOI 10.17580/gzh.2024.02.11
4. Шешукова Л. А., Мирюгина Т. А., Садыкова Э. Ф. Переработка попутного нефтяного газа и сохранение экологического равновесия на примере Тобольских предприятий СИБУРа // *Экология и промышленность России*. 2020. Т. 24. № 8. С. 56-59. DOI 10.18412/1816-0395-2020-8-56-59
5. Кочергин Г. А., Куприянов М. А., Полищук Ю. М. Оценка объёмов сжигания попутного газа на территории нефтедобычи по спутниковым снимкам Landsat-

- 8 // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2020. Т. 17. № 5. С. 53-62. DOI 10.21046/2070-7401-2020-17-5-53-60
6. Левшин П. М., Мерициди И. А., Шотиди К. Х., Халиков П. Р. Техно-экономические и экологические аспекты утилизации попутного нефтяного газа (программный комплекс) // Территория Нефтегаз. 2011. №8. С. 56-53.
7. Козлов М. С., Козлова Е. В. Инновационные технологии переработки попутного нефтяного газа // ELS. 2023. №11.
8. Кузьмина Ю. Р., Ермолина Л. В. Выбор технологий полезного использования попутного нефтяного газа на основе экономических оценок // Экономика, управление и право в современных условиях. Тольятти: АНО "Институт судебной строительно-технической экспертизы", 2020. С. 68-71.
9. Коваленко Д. Р. Нормативно-правовое регулирование в области использования и утилизации нефтяного попутного газа в Российской Федерации // Труды Института государства и права Российской академии наук. 2010. №5. С. 164-174.
10. Скрицкая М. К., Петров Ю. В. Сравнительный анализ организации традиционного природопользования в странах северных регионов мира и России // Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. География. Геология. 2024. Т. 10. №1. С. 87-98.
11. Петров Ю. В., Китаева А. А. Оценка осуществления недропользования на севере Западной Сибири // Геополитика и экогеодинамика регионов. 2023. Т. 9. №1. С. 244-250.
12. Петров Ю. В., Кочуров Б. И. Социально-экологические характеристики развития нефтедобывающего Уватского района Тюменской области // Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. География. Геология. 2023. Т. 9. № 3. С. 93-102.

A. O. Rotova¹
Yu. V. Petrov²

Geoecological mechanisms of associated petroleum gas use in the Russian Federation and the world

¹Tyumen State University, Tyumen
e-mail: rotova@utmn.ru

²Tyumen State University, Tyumen
e-mail: petrov19811201@gmail.com

Abstract. *The results of a study of technologies for the use of associated petroleum gas and the complexity of its utilization are presented. The domestic and international practice of using valuable raw materials has been studied. The disadvantages and advantages of regulatory legal regulation in the Russian Federation and the world are revealed. Environmental risks in the context of global warming from the use of associated petroleum gas have been identified.*

Keywords: *associated petroleum gas, flaring, gas supply, oil fields, electricity, global warming, processing of associated petroleum gas, regulatory legal regulation.*

References

1. Matveev A. M., Zhizhin M. N., Poyda A. A. Variations in gas flaring in Russia observed using multispectral nighttime remote sensing. *Sovremennye Problemy Distantionnogo Zondirovaniya Zemli iz Kosmosa*, 2020, vol. 17, no. 6, pp. 37-44.
2. Devleshova N. A., Voropaev A. A. Podgotovka poputnogo neftjanogo gaza s vysokim sodержaniem serovodoroda na primere mestorozhdeniya X. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*, 2023, vol. 334, no. 4, pp. 221-230. DOI: 10.18799/24131830/2023/4/3958 (in Russian)
3. Sleptsova E. V., Nikiforova M. N. Perspektivy ispol'zovanija poputnogo neftjanogo gaza kak al'ternativnogo topliva v gornoj promyshlennosti Zapadnoj Jakutii. *Gornyy Zhurnal*, 2024, no. 2, pp. 66-70. DOI 10.17580/gzh.2024.02.11(in Russian)
4. Sheshukova L. A., Miriugina T. A., Sadykova E. F. Pererabotka poputnogo neftjanogo gaza i sohranenie jekologicheskogo ravnovesija na primere Tobol'skih predpriyatij SIBURa. *Ecology and Industry of Russia*, 2020, vol. 24, no. 8, pp. 56-59. DOI 10.18412/1816-0395-2020-8-56-59 (in Russian)
5. Kochergin G. A., Kupriyanov M. A., Polishchuk Yu. M. Ocenka ob#jomov szhiganiya poputnogo gaza na territorii neftedobychi po sputnikovym snimkam Landsat-8. *Sovremennye Problemy Distantionnogo Zondirovaniya Zemli iz Kosmosa*, 2020, vol. 17, no. 5, pp. 53-52. (in Russian)
6. Levshin P. M., Meritcidi I. A., Shotidi K. Ch., Chalikov P. R. Techniko-ekonomicheskie i ekologicheskie aspekty utilizacii poputnogo neftyanogo gaza (programmnyj kompleks) // *Territoriya Neftegaz*, 2011, no. 8, pp. 56-63. (in Russian)
7. Kozlov M. S., Kozlova E. V. Innovacionnye tehnologii pererabotki poputnogo neftjanogo gaza, *ELS*, 2023, no11. (in Russian)
8. Kuzmina Yu. R., Ermolina L. V. Vybor tehnologij poleznogo ispol'zovanija poputnogo neftjanogo gaza na osnove jekonomicheskikh ocenok // *Jekonomika, upravlenie i pravo v sovremennyh uslovijah. Economics, management and law in modern conditions. Tolyatti: ANO "Institute of Forensic Construction and Technical Expertise"*, 2020, pp. 68-71. (in Russian)
9. Kovalenko D. R. Normativno-pravovoe regulirovanie v oblasti ispol'zovanija i utilizacii neftyanogo poputnogo gaza v Russian Federation, *Trudy Instituta gosudarstva i prava RAN*, 2010, no. 5, pp. 164-174. (in Russian)
10. Skritskaya M. K., Petrov Yu. V. Sravnitel'nyj analiz organizacii tradicionnogo prirodopol'zovanija v stranah severnyh regionov mira i Rossii. *Uchenye zapiski Krymskogo federal'nogo universiteta imeni V.I. Vernadskogo. Geografija. Geologija*, 2024, vol. 10, no. 1, pp. 87-98. (in Russian)
11. Petrov Yu. V., Kitaeva A. A. Ocenka osushhestvlenija nedropol'zovanija na severe Zapadnoj Sibiri. *Geopolitics and Ecogeodynamics of regions*, 2023, vol. 9, no. 1, pp. 244-250. (in Russian)
12. Petrov Yu. V., Kochurov B. I. Social'no-jekologicheskie karakteristiki razvitiya neftedobывajushhego Uvatskogo rajona Tjumenskoj oblasti. *Uchenye zapiski Krymskogo federal'nogo universiteta imeni V.I. Vernadskogo. Geografija. Geologija*, 2023, vol. 9, no. 3, pp. 93-102. (in Russian)

Поступила в редакцию 01.07.2024 г.