УДК 552.578.2 DOI: 10.24411/1728-323X-2019-11139

ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ УТИЛИЗАЦИИ ПОПУТНОГО НЕФТЯНОГО ГАЗА В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

В. А. Щерба, *к. г.-м. н., доцент департамента геологии, горного и нефтегазового дела, Российский университет дружбы народов, г. Москва, shcherba_va@mail.ru,*
А. Ш. С. Гомес, *магистрант 1 курса обучения, Российский университет дружбы народов, г. Москва, engchicunagomes@mail.ru,*
К. А. Воробьев, *бакалавр 2 курса обучения, Российский университет дружбы народов, г. Москва, k.vorobyev98@mail.ru*

В статье проведено исследование современного состояния и перспективы утилизации углеводородного компонента, растворенного в нефти и выделяющегося в процессе ее добычи и подготовки — попутного нефтяного газа (ПНГ). Авторами изучены свойства, характеристики и компонентный состав ПНГ. Проведен анализ использования ПНГ на международном и региональном уровнях. Рассмотрены основные причины сжигания и отмечен дефицит производственных мощностей по переработке ПНГ в РФ как один из наиболее важных факторов высокого уровня сжигания ПНГ в стране. В статье отмечены возможные пути утилизации попутного нефтяного газа, которые зависят от условий добычи нефти, таких как характеристики месторождения, соотношение нефти/газа (газонефтяной фактор), а также рыночных возможностей для извлеченного газа. Приведен обзор всех методов утилизации ПНГ, в которых основное внимание уделяется удельным затратам, экономическим выгодам и уменьшению воздействия на окружающую среду. Авторами проанализирован инновационный опыт эффективного использования ПНГ в США и Канаде. Обращено особое внимание на необходимость решения проблемы эффективного использования ПНГ в Российской Федерации, особенно сокращению объемов его сжигания в факельных установках.

The article analyzes the current state and prospects for utilization of a hydrocarbon component dissolved in oil and released during its extraction and preparation — associated petroleum gas (APG). The authors studied the properties, characteristics and component composition of APG. The analysis of the APG use at the international and regional levels is carried out. The main causes of flaring were discussed and the shortage of production capacities for APG processing in the Russian Federation was noted as one of the main factors in the high level of APG flaring in the country. The paper notes possible ways of utilization of associated petroleum gas, which depend on oil production conditions, such as field characteristics, oil / gas ratio (gas-oil factor), and market opportunities for recovered gas. An overview of all APG utilization methods is presented, which focuses on unit costs, economic benefits and environmental impact reduction. The authors analyzed the innovative experience of effective APG use in the USA and Canada. Special attention is paid to the need to solve the problem of the effective use of APG in the Russian Federation, especially the reduction of its burning in flare plants.

Ключевые слова: попутный нефтяной газ, утилизация попутного нефтяного газа, сжигание ПНГ на факелах, загрязнение окружающей среды.

Keywords: associated petroleum gas, associated petroleum gas utilization, APG flaring, environmental pollution.

Введение. Попутный нефтяной газ (ПНГ) представляет собой вид природного газа, который находится в нефтяных залежах, либо растворен в нефти или как свободная «газовая шапка» над нефтью в залежи. В независимости от источника, как только отделяется от сырой нефти он обыкновенно существует в смесях других углеводородов как этан, пропан, бутан и пентан, к тому же, ПНГ содержит водяной пар, сероводород (H_2S) и углекислый газ (CO_2), азот (N_2) и другие смеси. Попутный нефтяной газ, содержащий такие примеси, нельзя транспортировать, а также использовать без очистки, так как он извлекается в процессе добычи нефти. Объем и состав ПНГ зависят от района добычи и от конкретных свойств месторождения. В процессе добычи и сепарации одной тонны нефти можно получить от 25 до 800 м^3 попутного газа [5]. Часть этого газа используется или сохраняется, потому что правительства и нефтяные компании сделали значительные инвестиции для его добычи. Тем не менее отдельные компании сжигают ПНГ из-за технических, нормативных или экономических ограничений. В результате тысячи газовых более 17 000 факелов на нефтедобывающих объектах по всему миру сжигают около 140 млрд кубометров природного газа в год, в результате чего в атмосферу выбрасывается более 350 млн т CO_2, а также большое количество разнообразных загрязняющих веществ, в том числе очень опасных [4].

Общее увеличение глобального факельного сжигания по сравнению с предыдущими годами в значительной степени вызвано негативными событиями лишь в нескольких странах: Иране, России и Ираке. Спутниковые данные показывают увеличение факельного сжигания в Иране более чем на 4 млрд м^3, в России почти на 3 млрд м^3 и более чем на 1 млрд м^3 в Ираке [1]. Факельное сжигание в России по сравнению с объемами добычи нефти приближается к среднемировому показателю; в двух других странах интенсивность факельного сжигания выше. Это расход ценного энергетического ресурса, который может быть использован для содействия устойчивому развитию стран-производителей. Так, 149 млрд м^3 попутного нефтяного газа, сожженного в 2016 году, могли бы превратиться в 750 млрд кВт-ч электроэнергии, что пре-

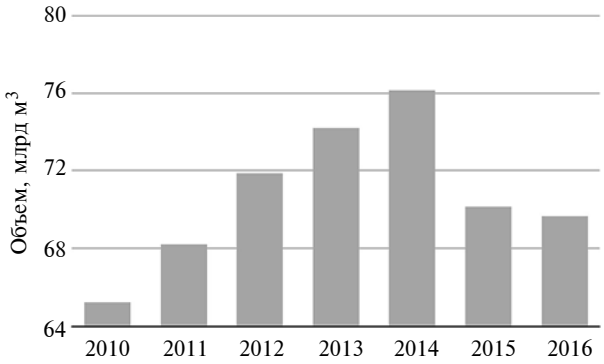

Рис. 1. Объемы извлекаемого ПНГ в России в 2010—2016 гг. [6]

вышает ее совокупное годовое потребление всеми странами Африканского континента [2, 9].

По официальным данным, объем извлекаемого ПНГ в России увеличился более чем на 7 % — с 65 млрд м^3 в 2010 году и свыше 70 млрд м^3 в 2016 году [6]. Непосредственное влияние на увеличение объема извлекаемого ПНГ оказал рост добычи нефти в новых районах, включая месторождения Восточной Сибири.

Если смотреть данные ЦДУ ТЭК, то можно увидеть, что объемы добываемого ПНГ в 2015 и 2016 гг. значительно уменьшились в сравнении с максимальным значением, достигнутым в 2014 году. Из-за того что в данный период условия добычи нефти не подверглись сильным изменениям и не вводились в разработку новых месторождений, можно было бы предположить, что объем извлекаемого ПНГ будет изменяться пропорционально объему добываемой нефти. Но сейчас мы видим другие результаты. Сокращение объема добываемой нефти с 2014 по 2016 год составил менее 3 %, а уменьшение объемов добытого ПНГ более 8,5 %.

Проблемы утилизация ПНГ. В течение длительного времени нефтедобывающие компании просто сжигали этот нежелательный побочный продукт. Его сжигание на факелах требуется значительной части система безопасности.

Термин «сжигание газа» указывает на сгорание газа (без восстановления энергии) в открытом пламени, который непрерывно горит в верхней части факельных штабелей в местах добычи нефти.

Сжигание происходит по трем основным причинам:

- чрезвычайные ситуации: ограниченное сжигание по соображениям безопасности на короткие промежутки времени всегда может понадобиться даже после подключения газосборного трубопровода;
- недостаток мощности утилизации газа — изолированное сжигание скважин: если скважина начинает добывать нефть и газ без подключения к системам сбора газа или другой технологии утилизации газа, газ может быть отключен;
- отсутствие мощности по утилизации газа — сжигание скважины по трубопроводу: если скважина подключена к системам сбора газа, но эти системы не могут обрабатывать весь газ из скважины (из-за отсутствия мощности или сжатия), часть или весь попутный газ из скважины может быть сожжен.

Миллиарды кубометров природного газа ежегодно сжигаются на нефтедобывающих объектах по всему миру. Сжигание газа является расходом ценного энергетического ресурса, который можно использовать для поддержания экономического роста и прогресса.

С 2012 года Национальное управление исследований США (NOAA) и Глобальное партнерство по сокращению сжигания газа (GGFR) стали применять метод оценки объемов сжигаемого ПНГ. Этот метод заключается в использовании данных спутникового наблюдения (VIIRS) в видимом и ближнем инфракрасных диапазонах. Вывод, сделанный по результатам исследований, заключается в том, что объем сжигаемого ПНГ в мире увеличился до 147 млрд м^3 в 2015 году, по сравнению с 145 млрд м^3 в 2014 году и 141 млрд м^3 в 2013 году. По данным за 2015 год Россия возглавляла этот «антирейтинг», сжигая 24 млрд м^3 ПНГ, за ней следуют Ирак (17,5 млрд м^3), Иран (16 млрд м^3) и США (8 млрд м^3). Россия также является «лидером» (на третьем месте после США и Канады) с 1814 факелами, на которых осуществляется сжигание ПНГ [6].

Методы утилизация ПНГ. В настоящее время существуют и другие возможные пути утилизации попутного газа, альтернативные сжиганию в факелах. Среди них необходимо выделить следующие:

а) повторная закачка ПНГ в нефтеносные пласты для сохранения давления и повышения нефтеотдачи пластов (как метод повышения нефтеотдачи), или для возможного сохранения его как ресурса и использование в будущем;

б) использование газов в качестве источников энергии на участке добычи или в нефтедобывающих объектах в непосредственной близости;

в) наиболее эффективный способ утилизации попутного нефтяного газа — его переработка на газоперерабатывающих заводах с получением сухого отбензиненного газа (СОГ), широкой фракции легких углеводородов (ШФЛУ), сжиженно-

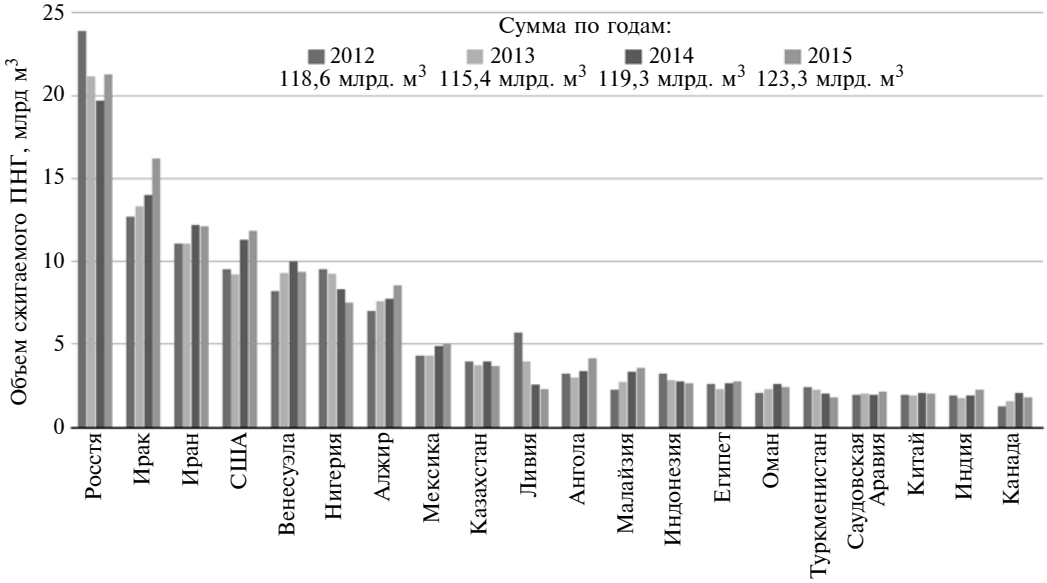

Рис. 2. Объем сжигаемого ПНГ в двадцати странах, имеющих наибольшие показатели [6]

го природного газа (СПГ) и стабильного газового бензина (СГБ).

Ниже приведен обзор всех методов утилизации ПНГ, в которых основное внимание уделяется удельным затратам, экономическим выгодам и воздействиям на окружающую среду (табл. 1).

Выбор оптимального варианта использования попутного нефтяного газа зависит от условий добычи нефти, таких как характеристики месторождения, соотношение нефти/газа (газонефтяной фактор), а также рыночных возможностей для извлеченного газа.

Перспективы использования ПНГ в России и за рубежом. За последние десять лет объем сжигаемого ПНГ в РФ снизился. Увеличение объема глубокопереработанного ПНГ покрывается снижением объема неглубокой переработки.

Показатель его полезного использования сохранял стабильное значение, начиная с 2000-х годов, в пределах 73—79 % от общего объема извлеченного ПНГ по стране. Только в 2014—2015 годах, согласно публичной отчетности компаний, он повысился до 85—86 %. В соответствии с заявлением представителей правительственных организаций, показатели продуктивной переработки ПНГ составили 90 % в 2016 году [6]. Принятые в июле 2014 года поправки к закону «Об охране окружающей среды» (№ 219-ФЗ) послужили причиной такого заметного уменьшения доли сжигания попутного нефтяного газа, согласно этим поправкам предприятие обязано устанавливать свои технологические нормативы на уровне применения наилучших доступных технологий (НДТ). Общий объем инвестиций в повышение полезного использования ПНГ был оценен в 200 млрд рублей. По заявлению Министерства энергетики РФ ожидается, что целевой показатель полезного использования попутного нефтяного газа в 95 % будет достигнут к концу 2020 года [6].

Зарубежный опыт утилизации ПНГ показывает, что сжигание газа в факелах за последние два года несколько снизилось, а также сократился уровень добычи нефти. В частности, Нигерия по сравнению с 2013 годом снизила объем сжигания ПНГ до 8 млрд м^3, почти на 18 %. Объемы сжигания попутного газа в США снизились с 11 млрд м^3 в 2014 году до менее 9 млрд м^3 в 2016 году благодаря применению ряда инновационных малообъемных технологий [2].

Одной из инновационных технологий производства сжиженного природного газа при небольших объемах попутного нефтяного газа является *СПГ Производство* (Production Natural Gas Liquids, NGL-Pro). Процесс «NGL Pro» объединяет обезвоживание, сжатие, охлаждение и кондиционирование, исключая необходимость в дорогостоящих гликолевых и холодильных системах. Формирование гидрата исключается за счет системы тепловой интеграции (рис. 4). Технология была разработана компанией *АСПЕН* (ASPEN) и используется в США и Канаде (см. рис. 4).

Достоинства этой технологии:

- производство ценного СПГ;
- устранение образования наледи и гидратов;
- портативность;
- простое техническое обслуживание.

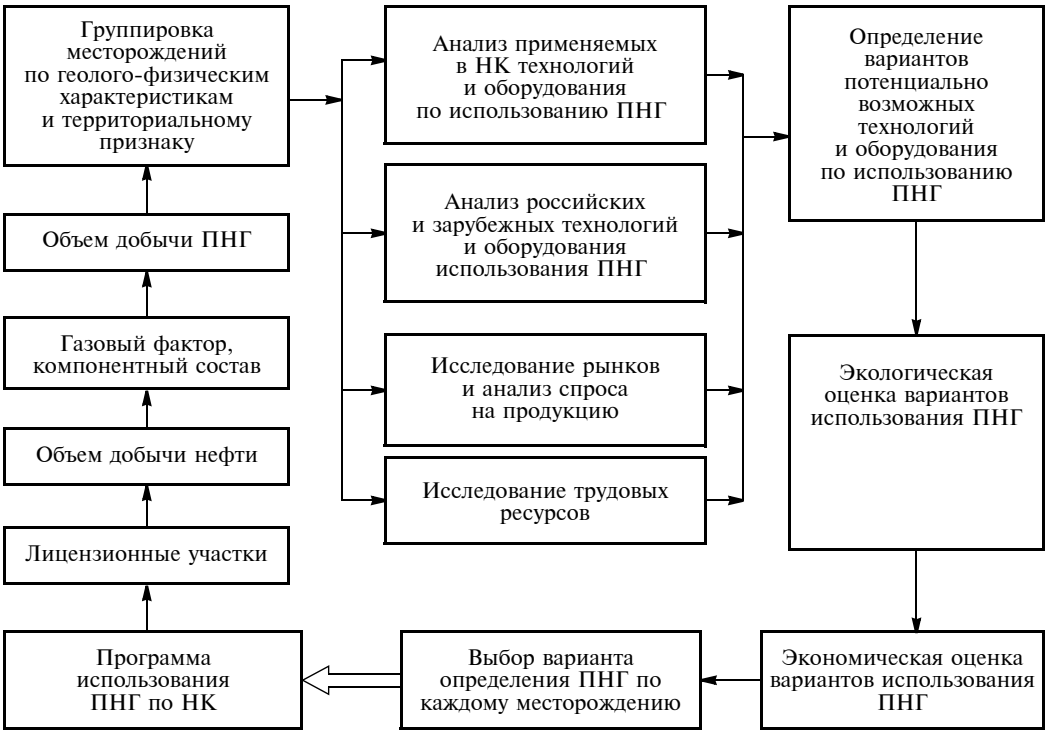

Рис. 3. Алгоритм выбора технологии полезного использования ПНГ на месторождениях нефтегазовых компаний [7]

Таблица 1

Сравнение данных по всем способам утилизации.
Составлено авторами на основании данных отчетности Всемирного фонда дикой природы [8]

Способы утилизации	Капитальные вложения, руб/м^3	Экономический эффект, руб/м^3	Упущенная выгода, руб/м^3	Экологический ущерб, млн т CO^2-эквивалента/млрд м^3
Сжигание	0,1 (строительство факельной установки и подводящих трубопроводов)	−2,8 (ущерб в размере штрафа от сжигания)	от −2,8 до −22,6 (диапазон от экономии на штрафе до дохода от продажи нефтехимических продуктов)	7,1 (выбросы в атмосферу вредных веществ)
Обратная закачка в нефтяной пласт	4,4 (система сбора и нагнетательные газовые скважины)	0 (возможное увеличение нефтеотдачи)	от −3 до −19,8 (диапазон от экономии на штрафе до дохода от продажи нефтехимических продуктов)	0 (экологический эффект принят равным нулю)
Глубокая переработка	13,8 (максимальные капитальные затраты на создание всего комплекса инфраструктуры: система сбора ПНГ, компрессорные станции и газоперерабатывающие мощности, транспортировка СОГ и ШФЛУ, расходы на дальнейшие переделы)	19,8—20,1 (усредненный экономический эффект — монетизация метана (сухой отбензиненный газ) как топливного газа, монетизация ШФЛУ как сырья для нефтехимии с дальнейшим производством конечных изделий из полимеров и синтетического каучука)	0 (упущенная выгода отсутствует (более глубокая переработка в рамках модели невозможна))	0 (типичные выбросы парниковых газов CO_2, CH_4, No_x с ГПЗ и нефтехимических производств (по данным РУПЕК) с учетом коэффициентов парникового эффекта каждого газа)
Электрогенерация	54,2 (система сбора ПНГ, газотурбинные установки)	3,6—5,2 (доход от собственной электрогенерации)	от −2,4 до −14,6 (диапазон от доходов от утилизации на мини-ГПЗ до доходов от продажи нефтехимических продуктов)	1,2 (экологические риски с углеродными выбросами при масштабной электрогенерации)

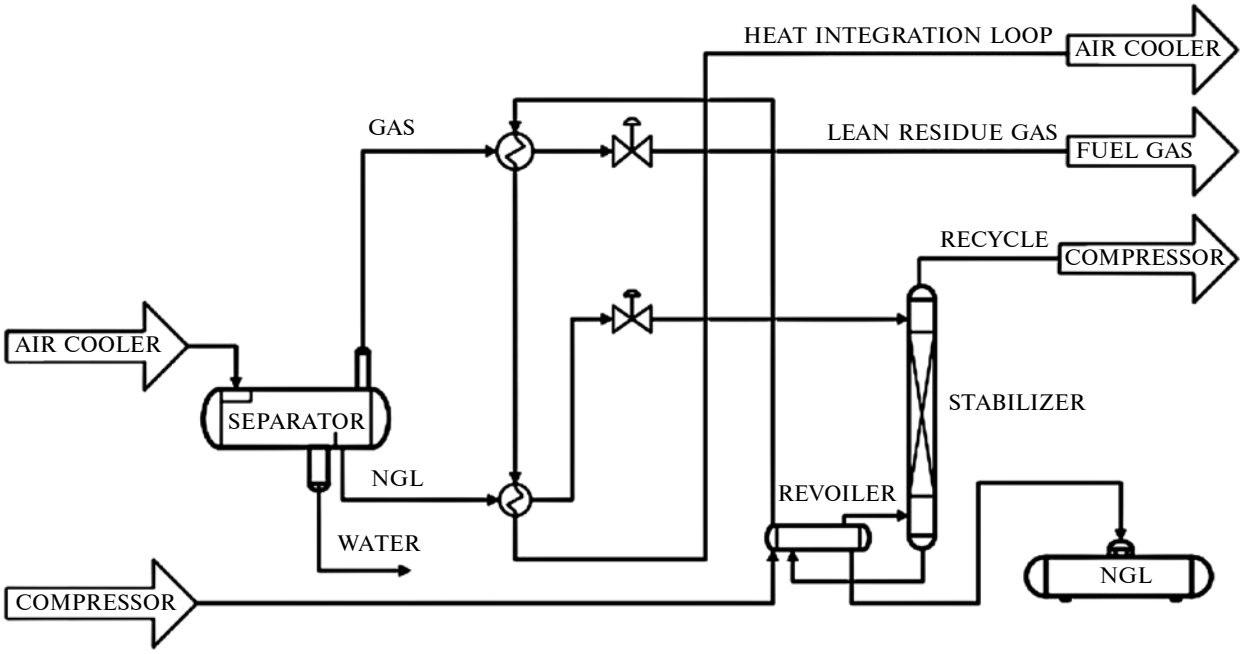

Рис. 4. Система работы технологии СПГ-Про [3]

Метод используется на месторождении Северная Дакота. Объм производства СПГ составляет 379 баррелей в сутки, что приводит к снижению сжигания ПНГ на 42 %. Метод используется совместно и с другими методами с целью увеличения уровня утилизации СПГ и тем самым исключение его сжигания в факелах [3].

Выводы. Таким образом, наиболее рациональными путями утилизации попутного нефтяного газа в России, в зависимости от объемов его добычи являются:

- при небольших объемах — покрытие собственных энергетических нужд;
- при увеличенных объемах — производство электроэнергии и первичная переработка ПНГ с получением СОГ как топлива для котельной и ШФЛУ для сброса в нефтяной коллектор;
- при ресурсах от 50 до 150 млн м^3/год — переработка с получением СОГ, а также БГС, СУГ и электроэнергии;
- при количестве ПНГ свыше 150 млн м^3/год рекомендуется переработка СОГ, ШЛФУ (или СУГ), БГС.

Библиографический список

1. Всемирный банк // Новые данные по сжиганию газа. — 10 июля 2017. — [Электронный ресурс]. Доступно по адресу: http://www.worldbank.org/en/news/feature/2017/07/10/new-gas-flaring-data-shows-mixed-results (на английском языке).
2. Зубин Б. и Сукре Ф. Всемирный банк / GGFR. Международное партнерство: Инициатива «Нулевое рутинное сжигание к 2030 году». — 6 декабря 2017. — [Электронный ресурс]. Доступно по адресу: http://www.olade.org/wp-content/uploads/2017/12/PANEL-2-World-Bank-Presentation-Buenos-Aires-OLADE-Ministerial-1.pdf (на английском языке).
3. Компания *Аспен* // Низкозатратный метод снижения сжигания — *СПГ ПРО*, восстановление природного газа, кондиционирование газа, производство электроэнергии и искусственный подъем. — 2017. — [Электронный ресурс]. Доступно по адресу: http://aspenesco.com/uploads/3/4/8/5/34851592/ngl_pro_brochure_—_aspen.pdf (на английском языке).
4. Картамышева Е. С., Иванченко Д. С. Попутный нефтяной газ и проблема его утилизации // Молодой ученый. 2017. № 25. — С. 120—124.
5. Кирюшин П. А., Книжников А. Ю., Кочи К. В., Пузанова Т. А., Уваров С. А. Попутный нефтяной газ в России: «Сжигать нельзя, перерабатывать!» Аналитический доклад об экономических и экологических издержках сжигания попутного нефтяного газа в России. М.: Всемирный фонд дикой природы (WWF), 2013. — 88 с.
6. Книжников А. Ю., Ильин А. М. Проблемы и перспективы использования попутного нефтяного газа в России — 2017. М.: WWF России, 2017. — 34 с.
7. Оздоева А. Х. Выбор технологий полезного использования попутного нефтяного газа на основе экономических оценок: Дис. ... канд. эконом. наук / А. Х. Оздоева. М., 2016. — 170 с.

8. Способы утилизации попутного нефтяного газа в России // Всемирный фонд дикой природы (WWF) // Компания Сибур. — 2017. — [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.sibur.ru/upload/iblock/a70/a70036cc7e90e0b2be004a04efb7bf3a.pdf.
9. Центр Колумбии по устойчивым инвестициям // Сжигание газа: как не тратить ценный ресурс. — 16 сентября 2016. — [Электронный ресурс]. Доступно по адресу: http://blogs.ei.columbia.edu/2016/09/16/flaring-gas-how-not-to-waste-a-valuable-resource/ (на английском языке).

PROBLEMS AND PROSPECTS OF ASSOCIATED PETROLEUM GAS UTILIZATION IN THE RUSSIAN FEDERATION

V. A. Shcherba, Ph. D. (Geology and Mineralogy), Associate Professor, Department of Geology, Mining and Oil and Gas, Peoples' Friendship University of Russia, Moscow shcherba_va@mail.ru,
A. Ch. S. Gomes, BSc, Master student, Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, engchicunagomes@mail.ru,
K. A. Vorobiev, undergraduate, Peoples' Friendship University of Russia, Moscow k.vorobyev98@mail.ru

References

1. New gas flaring data // The World Bank. — July 10, 2017. — [Electronic resource]. Available at: http://www.worldbank.org/en/news/feature/2017/07/10/new-gas-flaring-data-shows-mixed-results
2. Zubin Bamji and Francisco Sucre. The World Bank/GGFR. An international partnership: The “Zero Routine Flaring by 2030” Initiative. — 6 December 2017. — [Electronic resource]. Available at: http://www.olade.org/wp-content/uploads/2017/12/PANEL-2-World-Bank-Presentation-Buenos-Aires-OLADE-Ministerial-1.pdf
3. NGL PRO Low-Cost Flare Reduction, NGL Recovery, Gas Conditioning, Power Generation and Artificial Lift // Aspen Engineering Services. — 2017. — [Electronic resource]. Available at: http://aspenesco.com/uploads/3/4/8/5/34851592/ngl_pro_brochure_—_aspen.pdf
4. Kartamysheva Ye. S., Ivanchenko D. S. Associated petroleum gas and the problem of its utilization // Molodoy uchenyy. 2017. № 25. — P. 120—124. — [Electronic resource]. (In Russ.) Available at: https://moluch.ru/archive/159/44871/.
5. Kiryushin P. A., Knizhnikov A. YU., Kochi K. V., Puzanova T. A., Uvarov S. A. No flare, recycle!” An analytical report on the economic and environmental costs of flaring associated gas in Russia. — M.: Vsemirnyy fond dikoy prirody (WWF), 2013. — 88 p.
6. Knizhnikov A. YU., Il'in A. M. Problems and prospects of associated petroleum gas use in Russia — 2017 / A. YU. Knizhnikov, A. M. Il'in // WWF Rossii, M., 2017 g. — 34 p. (In Russ.)
7. Ozdoyeva A. KH. Selection of technologies for the useful use of associated petroleum gas on the basis of economic estimates: Dis. ... kand. ekonom. nauk / A. KH. Ozdoyeva. M., 2016. 170 p. (In Russ.)
8. Vsemirnyy fond dikoy prirody (WWF), Kompaniya Sibur // Methods of utilization of associated petroleum gas in Russia. — 2017. — [Electronic resource]. (in Russ.). Available at: https://www.sibur.ru/upload/iblock/a70/a70036cc7e90e0b2be004a04efb7bf3a.pdf.
9. Columbia center on sustainable investment // Flaring Gas: How Not to Waste a Valuable Resourc. — September 16, 2016. — [Electronic resource]. Available at: http://blogs.ei.columbia.edu/2016/09/16/flaring-gas-how-not-to-waste-a-valuable-resource/