DOI: 10.15593/2224-9982/2019.58.08

УДК 665.612.2

З.А. Рустамов, К.С. Брюхова

Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь, Россия

ПРОБЛЕМА УТИЛИЗАЦИИ ПОПУТНОГО НЕФТЯНОГО ГАЗА. АНАЛИЗ И СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ

Статья посвящена основным проблемам использования попутного нефтяного газа как высокоэффективного энергетического ресурса земли, а также вопросам негативного последствия сжигания ПНГ на факельных установках, влияния выбросов, которое оказывается при сжигании ПНГ на окружающую среду и здоровье населения. Попутный нефтяной газ выделяется во время нефтедобычи и в зависимости от множества факторов не обладает постоянством химического состава. Один из вариантов состава ПНГ представлен в тексте статьи. Выделены важные аспекты, связанные с проблемой сжигания ПНГ, а также экологические, экономические и социальные проблемы. Представлена таблица содержания вредных компонентов в продуктах сгорания ПНГ при сжигании на факелах, рассмотрено воздействие их на населенные пункты находящихся вблизи нефтедобывающих станций, а также болезни, к которым приводят загрязняющие вещества, попадающие в атмосферу. Инвестиции в переработку ПНГ относятся по большей части к экономическому аспекту. Перечислены перспективные направления применения ПНГ с практической и экономической выгодой и описан наиболее эффективный вариант утилизации ПНГ на микрогазотурбинных установках с последующей выработкой электроэнергии и тепла. Представлены основные преимущества использования данного метода и ряд аспектов, усложняющих внедрение микрогазотурбинных установок для утилизации ПНГ в масштабах всей страны. Рассмотрены подходы для реализации конструктивного использования нефтяного газа с помощью представленного метода. Проанализированы статистические данные по объемам сжигания ПНГ на факельных установках в России и за рубежом. Приведена экономическая оценка и описание основных факторов, затрудняющих результативное и качественное использование ПНГ как энергетического сырья в России.

Ключевые слова: попутный нефтяной газ, утилизация и сжигание ПНГ, микрогазотурбинные установки, электроэнергия, нефтяные месторождения, выбросы, добыча нефти, нефтехимическая промышленность, факельные установки, методы утилизации ПНГ, нефтехимия.

Z.A. Rustamov, K.S. Bryukhova

Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

THE PROBLEM OF ASSOCIATED OIL GAS UTILIZATION, ANALYSIS AND CURRENT STATUS

The article is devoted to the main problems of the use of associated petroleum gas as a highly efficient energy resource of the earth, as well as the negative consequences of flaring of associated gas in flares, the impact of emissions that occur when burning associated gas on the environment and public health. A table of the content of harmful components in APG combustion products during flaring and their impact on settlements located near oil producing stations, as well as diseases caused by pollutants entering the atmosphere are presented. The promising areas for the use of associated gas with practical and economic benefits are listed and the most efficient option for utilization of associated gas in micro gas-turbine plants with subsequent generation of electricity and heat is described. The main advantages of using this method and a number of aspects complicating the introduction of micro gas-turbine installations for APG utilization throughout the country are presented. And also considered approaches for the implementation of the constructive use of petroleum gas using the presented method. Statistical data on the volumes of APG flaring in flares in Russia and abroad were analyzed. The economic assessment and description of the main factors impeding the effective and high-quality use of APG as an energy raw material in Russia are given.

Keywords: associated petroleum gas, APG utilization and combustion, micro gas turbine plants, electric power, oil fields, emissions, oil production, petrochemical industry, flare units, APG utilization methods, petrochemistry.

Сжигание попутных нефтяных газов

На сегодняшний день самый ценный энергетический ресурс в мире – это нефть. Именно на долю нефти приходится 33 % мирового энергопотребления. Во всех сферах, начиная от авиационного топлива и заканчивая нефтехимическим производством, роль нефти неуклонно растет. Поскольку человеческие потребности в энергоресурсах с каждым годом возрастают, не-

обходимо разрабатывать все более инновационные технологии для добычи и переработки нефти. Распределение месторождений нефти на территории Российской Федерации очень неравномерно и для устойчивого развития экономики, помимо увеличения количества месторождений нефти и внедрения прогрессивных технологий, необходимо увеличить эффективность добываемого сырья.

В процессе добычи «черного золота» в нефтяных пластах выделяется попутный нефтяной газ (ПНГ), который также является формой природного газа. ПНГ – это смесь углеводородов, таких как метан – главный компонент природного газа, а также более тяжелых компонентов: этан, пропан, бутан и другие (табл. 1), которые растворены в нефти под высоким давлением. Во время нефтедобычи при снижении давления либо при проведении сепарации выделяется данный газ. Традиционно этот газ считался отходом и просто сжигался либо контролируемым образом (на факеле), либо в атмосфере (продувка).

Таблица 1

Примерный состав попутного нефтяного газа

№ п/п	Состав	Объем, %
1	Метан	45,6
2	Этан	16,6
3	Пропан	21,1
4	Бутан	7,8
5	Пентан	3,7
6	Гексан	1,1
7	Гептан	0,4
8	Прочие тяжелые углеводороды	3,2
9	Прочие примеси	0,5

ПНГ является дорогим по цене ресурсом и занимает важное место в экономике и социальных вопросах нефтедобычи в России [1, 2]. Так, например, в настоящее время на тонну нефти, добываемой в России, выделяется около 150 м³ попутного газа. Факельное сжигание не всегда можно предотвратить, и поэтому его нельзя полностью остановить даже при строгих требованиях и запретах, так как оно может осуществляться в целях безопасности из-за внезапных изменений в условиях давления.

На сегодняшний день решение вопросов энергетики стало наиболее актуальной проблемой для человечества, так как ПНГ является стратегически важным ресурсом отечественной нефтехимической промышленности, которая во многом определяет экономический и промышленный потенциал страны.

Нефть и газ во все времена были и будут основой энергетической сохранности.

Уже долгое время в России ведут споры об использовании и методах утилизации ПНГ. С 2011 г. на политическом уровне началась активная работа, которая была направлена на повышение энергоэффективности нашей страны.

В настоящее время уровень использования добываемого в России ПНГ по стране составляет 75,6 %, тогда как в США и Норвегии 98 % [3].

Основная стратегия, которая стоит перед нефтедобывающими компаниями, – это максимально эффективное использование и утилизация ПНГ. Больше всего ПНГ на факел отправляется в 20 странах, в том числе в Российской Федерации. Актуальность проблемы сжигания попутного нефтяного газа может определяться многими факторами, в том числе следующими аспектами:

- экологическими;
- экономическими;
- социальными.

По данным спутниковых наблюдений, сжигание попутного нефтяного газа в мире достигло 180 млрд м³ и это только за 2015 г.

Из-за сжигания ПНГ на факелах в атмосферу попадает свыше 500 тыс. т вредных выбросов, что ухудшает экологическую обстановку в нефтепромысловых районах. Попадающие в атмосферу загрязняющие вещества переносятся потоком воздуха в различных состояниях: газообразном, жидком и аэрозольном (табл. 2). Из-за высоких значений температуры на расстоянии 20–200 м от факельной установки практически полностью уничтожается органическое вещество почвы. В случае присутствия в факельных выбросах горячей или несгоревшей (капельной) нефти происходит битумизация верхних слоев почвы. Во-вторых, сгорают ценные углеводороды, которые могут использоваться как сырье в нефтехимии. В-третьих, в большом количестве образуется сажа, которая, в свою очередь, при оседании на снежный покров увеличивает количество поглощенной солнечной энергии, а также может ускорить таяние арктических льдов. И, конечно же, нельзя не учесть влияние сжигания газа на организм человека: повышается риск развития различных патологий (онкология, бесплодие и т.д.). Важно добавить, что среди компонентов ПНГ и продуктов его сгорания есть такие, которые являются парниковыми газами, способствующими глобальному изменению климата. К парниковым газам относятся: водяной пар, диоксид углерода, закись азота, метан, вещества, содержащие хлор, перфторуглероды, гидрофторуглероды, гексафторид серы и т.д. По статистическим данным, в нефтедобывающих регионах России уровень заболеваемости населения по многим классам болезней выше общероссийских показателей. Это прежде всего болезни органов дыхания, заболевания нервной системы, патологии желудочно-кишечного тракта, болезни эндокринной системы и многие другие заболевания.

Таблица 2

Объем загрязняющих веществ, образующихся
при сжигании попутного нефтяного газа на факельных установках

№ п/п	Вещество	Объем, %
1	Окись углерода	64
2	Окись азота	10
3	Диоксид серы	7
4	Смесь углеводородов	2
5	Сажа	13
6	Другие загрязняющие вещества (сернистый ангидрид и др.)	4

На рис. 1 изображен объем сжигания на факельных установках попутного нефтяного газа [4].

Следует понимать, что достоверных данных по сжиганию ПНГ на сегодняшний день не имеется [5], а данные российских и зарубежных авторов сильно отличаются. На рис. 2 [4] показан прирост сжигания попутного нефтяного газа по официальным данным, но, как считают, ошибка в оценке составляет 20–30 % из-за влияния человеческого фактора.

Таким образом, согласно данным, полученным с помощью методов дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), с 2014 г. в России наблюдается значительный рост объемов сжигания ПНГ [6] на факельных установках (см. рис. 2). Однако Министерство энергетики говорит о значительном снижении сжигания ПНГ [7].

Рис. 1. Динамика добычи и утилизации попутного нефтяного газа

Рис. 2. Прирост сжигания попутного нефтяного газа

В России насчитывается около 2020 факельных установок [8], которые к тому же горят крайне нерегулярно. Следует учесть и то, что от выбросов ПНГ необходимо отделить выбросы еще нескольких тысяч факелов, которые горят на месторождениях, где добывается природный газ и газовый конденсат, на нефте- и газоперерабатывающих заводах, от выбросов тепловых электростанций и т.п.

Следует пояснить, что и нефтяным компаниям («РуссНефть», «Славнефть», «Башнефть», «Татнефть»), и структурам власти известно несколько путей утилизации газа. Самое очевидное и сложное решение основано на закачивании попутного нефтяного газа непосредственно в нефтяной пласт с целью повышения его нефтеотдачи.

Не так давно руководство нашей страны предложило программу инновационного развития экономики, включающую в себя создание пяти инновационных кластеров на основе базовых отраслей промышленности. Такую позицию надо поддерживать, так как это стимулирует дальнейшее развитие и рост экономики.

По мнению А.А. Конопляника, который себя называет экономистом-энергетиком, причина отсутствия инвестиций в переработку попутного нефтяного газа находится прежде всего в экономической плоскости [9]. Если невыгодно утилизировать газ благодаря существующим экономическим и административным барьерам, то, соответственно, дешевле заплатить за сверхнормативное сжигание. С экономической точки зрения любые инвестиции должны приносить определенную прибыль. В сложившейся обстановке переработка ПНГ, а особенно ПНГ

как сырья для нефтехимической отрасли, рискованна и нерентабельна, а размер убытков может быть намного больше штрафов. Вывести окупаемость «в плюс» позволят некоторые изменения:

- стабильность стартовых условий проекта, для которых проводились расчеты окупаемости всего проекта;

- цена конечного продукта должна обеспечивать рентабельность производства;

- гарантия в поставках и реализация произведенной продукции.

Рациональное использование попутного нефтяного газа позволило бы высвободить значительное количество нефти и продуктов ее переработки, составляющих важную статью экспортных поставок страны.

Проблема использования ПНГ как высокоэффективного и ценного энергетического ресурса заключается в том, что он является побочным продуктом нефтедобычи и содержит в своем составе много нежелательных примесей, которые снижают ценность газа. К таким примесям относятся вещества, содержащие сероводород и тяжелые углеводороды, также пары ртути и т.д. Потери эффективности применения ПНГ обуславливаются отсутствием инфраструктур по сбору, подготовке, переработке, транспортировке, утилизации или же отсутствием непосредственного потребителя.

Основными направлениями утилизации ПНГ являются следующие [10]:

- переработка на газоперерабатывающем заводе (ГПЗ) с целью получения гомологов метана;

- закачка ПНГ и смесей на его основе в пласт «шапку» в процессе добычи нефти для восстановления давления залежей. Таким образом, достигается повышение нефтеотдачи;

- очистка ПНГ. В ходе процесса получают сухие очищенные газы и широкую фракцию легких углеводородов;

- сжижение подготовленного ПНГ. Данный метод основан на криогенном процессе сжатия с использованием однопоточного холодильного цикла. Сжижение подготовленного ПНГ происходит через его взаимодействие с азотом в искусственно созданных условиях [11];

- природный газ для производства продуктов нефтехимии, таких как этин, который используется в качестве исходного материала для производства каучука и чернил для принтеров. Также с помощью метана могут быть получены азотсодержащие удобрения;

- утилизация ПНГ в микрогазотурбинной установке (МГТУ) с последующей генерацией электрической и тепловой энергии;

- использование в качестве топлива для газопоршневых машин, используемых в месторождении.

В настоящее время в Российской Федерации из этих направлений в основном развиваются лишь два – потребление ПНГ в качестве топлива с целью выработки электроэнергии и как сырья для нефтехимии (получение сухого газа, газового бензина, широкой фракции легких углеводородов (ШФЛУ) и сжиженного газа для бытовых нужд).

Между тем вовлечение в переработку неиспользуемых объемов ПНГ улучшит экономическую эффективность нефтедобычи.

Из существующих методов утилизации ПНГ не все действенны и подходят для месторождений с различными показателями и условиями добычи. Исходя из этого нужно брать во внимание их особенность и эффективность, достоинства и недостатки (табл. 3).

Ввиду удаленности месторождений нефти, а также ограниченного доступа к трубопроводам из-за монополии «Газпрома» [12], одним из актуальных направлений является утилизация ПНГ в МГТУ с последующей генерацией электроэнергии и теплоты. Строительство газотурбинных электростанций для утилизации ПНГ, несомненно, является выходом из сложившейся ситуации, так как обеспечивает решение сразу комплекса актуальных проблем для нефтедобывающих компаний. Прежде всего, это уменьшение негативного влияния на окружающую среду путем снижения вредных выбросов при сжигании ПНГ. Также сказывается положительное экономическое влияние от использования МГТУ, так как исключается необходимость в строи-

тельстве электростанций и подведении ЛЭП. Помимо этих преимуществ, можно выделить еще одно: предприятиям, обладающим технологиями высокой энергетической эффективности, согласно Постановлению Правительства РФ № 600 от 17.06.2015 г., предусматриваются налоговые льготы [13].

Таблица 3

Преимущества и недостатки используемых методов утилизации ПНГ

№ п/п	Метод утилизации	Преимущества	Недостатки
1	Переработка на ГПЗ	Большой спрос на мировом рынке	Капитальные вложения из-за необходимости транспортировки и сбыта по трубопроводу
2	Закачка в пласт	Более высокие темпы разработки	Большие затраты на сооружение и эксплуатацию системы нагнетания и сбора газа. Увеличение объема ПНГ при последующей добыче
3	Очистка	Получение чистого высоколи-квидного сырья	Необходимость транспортировки по трубо-проводу
4	Сжижение	Большой спрос на мировом рынке. Более дешевое топливо по сравнению с бензином	Большие затраты на реализацию проекта
5	Генерация электро-энергии	Электрическая и тепловая энергия. Минимальное экологическое воздействие	Переменный состав ПНГ
6	Переработка на син-тетическое топливо (GTL)	Получение метанола	Рентабельны только при достаточно больших объемах перерабатываемого сырья

Однако, несмотря на все преимущества, которыми обладает данный подход к решению проблемы по утилизации ПНГ на МГТУ, существует множество важных задач, которые необходимо решить на пути реализации данного проекта. Одной из важнейших проблем, которая возникает еще на стадии проектирования установок, является то, что ПНГ не обладает постоянством химического состава [14]. В зависимости от месторождений, времени года и других факторов ПНГ имеет очень большой разброс компонентного состава. Для стабильной работы МГТУ необходимо обеспечить устойчивость процессов горения в камере сгорания (КС). На данный момент в России не существует прототипа МГТУ, способного в полной мере работать на ПНГ с переменным составом с большим содержанием сероводорода. Разработка таких установок является приоритетной задачей на данный момент для России.

Подводя итоги, отметим, что актуальным остается вопрос низкого уровня утилизации ресурсов нефтехимии.

Существующие и разрабатываемые технологии подготовки газа позволяют улучшить его качество или переработать его на месте добычи.

Сжигание попутного нефтяного газа наносит вред окружающей среде, способствует развитию парникового эффекта [15], пагубно сказывается на здоровье людей, замедляет (если не сказать тормозит) рост экономики нашей страны. Несомненно, это требует планомерного решения при грамотном и обоснованном подходе к данному вопросу со стороны государства в целом.

Библиографический список

1. Лалаев К.Э., Мастобаев Б.Н., Бородин А.В. Перспективы переработки попутного нефтяного газа предприятиями ОАО «СИБУР Холдинг» // Нефтепереработка и нефтехимия. – 2014. – № 2. – С. 3–7.
2. Аджиев А.Ю., Пуртов П.А. Подготовка и переработка попутного нефтяного газа в России: в 2 ч. / ЭДВИ. – Краснодар, 2014. – 1284 с.
3. Воеводкин Д.А., Скрипниченко В.А. Рациональное использование вторичных ресурсов в экономике нефтегазового хозяйства // Вестник Сев. (Аркт.) фед. ун-та. – 2013. – № 4. – С. 83–89.
4. Нефтегазовый комплекс России – 2017. Ч. 2. Газовая промышленность – 2017: долгосрочные тенденции и современное состояние / Л.В. Эдер, И.В. Филимонова [и др.]; под ред. А.Э. Конторовича; ИНГ СО РАН. – Новосибирск, 2018. – 62 с.
5. Книжников А.Ю., Пусенкова Н.Н. Проблемы и перспективы использования нефтяного попутного газа в России: ежегодный обзор. – М., 2009. – Вып. 1. – 24 с.
6. Попутный нефтяной газ в России: «Сжигать нельзя, перерабатывать!»: аналитический доклад об экономических и экологических издержках сжигания попутного нефтяного газа в России / П.А. Кирюшин, А.Ю. Книжников, К.В. Кочи, Т.А. Пузанова, С.А. Уваров; Всемирный фонд дикой природы (WWF). – М., 2013. – 88 с.
7. Добыча природного и попутного нефтяного газа // Офиц. сайт Министерства энергетики РФ. – 2019. – URL: <https://minenergo.gov.ru/node/1215> (дата обращения: 20.06.2019).
8. Курбанкулов С.Р., Фахрутдинов Р.З. Проблемы и перспективы использования попутного нефтяного газа на нефтяных промыслах // Вестник Технол. ун-та. – 2016. – Т. 19, № 12. – С. 55–59.
9. Конопляник А.А. Газовые факелы погасят не штрафы, а экономические стимулы // Бизнес-эксперт. – 2012. – № 3. – С. 32–37.
10. Ишмурзина Н.М., Ишмурзин А.А. Рациональное использование попутного нефтяного газа. Техника, технология, проблемы и пути решения: учеб. для вузов / ООО «Монография». – Уфа, 2010. – 280 с.
11. Сжижение природного газа (LNG) // Офиц. сайт ООО «Энергия Синтеза». – URL: <http://synenergy.ru/lng> (дата обращения: 10.06.2019).
12. Nutzen statt Abfackeln von Erdölbegleitgas – Chancen und Herausforderungen für Entwicklung und Treibhausgasminderung / Peggy Schulz, Verena Leckebusch, Jürgen Messner, Harald Andruleit. – Hannover: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), 2013. – 36 p.
13. Об утверждении перечня объектов и технологий, которые относятся к объектам и технологиям высокой энергетической эффективности [Электронный ресурс]: Постановление Правительства РФ от 17 июня 2015 г. № 600. – URL: <https://base.garant.ru/71095216/> (дата обращения: 20.06.2019).
14. Расчетные исследования внутрикамерного процесса при утилизации нефтяного газа / О.А. Бетинская, Н.Л. Бачев, О.О. Матюнин, Р.В. Бульбович, Н.Ю. Бачева // Нефтяное хозяйство. – 2017. – № 7. – С. 86–89.
15. Ассад М. Продукты сжигания жидких и газообразных топлив: образование, расчет, эксперимент. – Минск: Изд-во Нац. акад. наук Беларуси, 2010. – 305 с.

References

1. Lalayev K.E., Mastobayev B.N., Borodin A.V. Perspektivy pererabotki poputnogo neftyanogo gaza predpriyatiyami OAO «SIBUR K Holding» [Prospects for the processing of associated petroleum gas by enterprises of OJSC SIBUR Holding]. *Neftepererabotka i neftekhimiya*, 2014, No. 2, pp. 3-7.
2. Adzhiyev A.Yu., Purtov P.A. Podgotovka i pererabotka poputnogo neftyanogo gaza v Rossii [Associated Petroleum Gas Preparation and Processing in Russia]. Krasnodar: EDVI, 2014, 1284 p.
3. Voyevodkin D.A., Skripnichenko V.A. Ratsionalnoye ispolzovaniye vtorichnykh resursov v ekonomike neftega-zovogo khozyaystva [Rational use of secondary resources in the oil and gas economy]. *Vestnik of Northern (Arctic) Federal University*, 2013, no. 4, pp. 83-89.
4. Eder L.V., Filimonova I.V. and others. Neftegazovyy kompleks Rossii – 2017. CHast' 2. Gazovaya promyshlennost – 2017: dolgosrochnnyye tendentsii i sovremennoye sostoyaniye [Oil and gas complex of Russia - 2017. Part 2. Gas industry - 2017: long-term trends and current status]. Novosibirsk: Institute of Petroleum Geology and Geophysics A.A. Trofimuka of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 2018, 62 p.

5. Knizhnikov A.Yu., Pusenkov N.N. Problemy i perspektivy ispol'zovaniya neflyanogo poputnogo gaza v Rossii: ezhegodnyy obzor [Problems and Prospects for Using Associated Petroleum Gas in Russia: Annual Review]. Moscow: WWF, 2009, no. 1, 24 p.

6. Kiryushin P.A., Knizhnikov A.Yu., Kochi K.V., Puzanova T.A., Uvarov S.A. Poputnyy neflyanoy gaz v Rossii: «Szhigat nelzya, pererabatyvat!»: analiticheskiy doklad ob ekonomicheskikh i ekologicheskikh izderzhkakh szhiganiya poputnogo neflyanogo gaza v Rossii [Associated Petroleum Gas in Russia: “You Can’t Burn, You Must Process It!”: Analytical report on the economic and environmental costs of burning associated petroleum gas in Russia]. Moscow: WWF, 2013, 88 p.

7. Oficialnyy sayt Ministerstvo energetiki Rossijskoj Federacii [Official website of the Ministry of Energy of the Russian Federation]. [Electronic resource]. URL: <https://minenergo.gov.ru/node/1215> (Date of application 06/20/2019).

8. Kurbankulov, S.R., Fakhutdinov R.Z. Problemy i perspektivy ispol'zovaniya poputnogo neflyanogo gaza na neflyanykh promyslakh [Problems and prospects of using associated petroleum gas in oil fields]. *Vestnik tekhnologicheskogo universiteta*, 2016, vol. 19, no. 12, pp. 55-59.

9. Konoplyanik A.A. Gazovyye fakely pogasyat ne shtrafy, a ekonomicheskiye stimuly [Gas torches will pay off not fines, but economic incentives]. *Biznes ekspert*, 2012, no. 3, pp. 32-37.

10. Ishmurzina N.M., Ishmurzin A.A. Ratsionalnoye ispol'zovaniye poputnogo neflyanogo gaza. Tekhnika, tekhnologiya, problemy i puti resheniya: uchebnik dlya vuzov [Rational use of associated petroleum gas. Engineering, technology, problems and solutions: a textbook for high schools]. Ufa: JSC “*Monografiya*”, 2010, 280 p.

11. Ofitsialnyy sayt OOO «Energiya Sinteza» [The official website of LLC “Energiya Sinteza”] [Electronic resource]. URL: <http://synenergy.ru/Ing> (Date of application 06/10/2019)

12. Peggy Schulz, Verena Leckebusch, Jürgen Messner, Harald Andrleit: Nutzen statt Abfackeln von Erdölbegleitgas – Chancen und Herausforderungen für Entwicklung und Treibhausgasminderung. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Hannover, 2013, 36 p.

13. Decree of the Government of the Russian Federation of June 17, 2015 N 600 «Ob utverzhdenii perechnya ob'yektov i tekhnologiy, kotoryye otnosyatsya k ob'yektam i tekhnologiyam vysokoy energeticheskoy effektivnosti» [“On approval of the list of facilities and technologies that relate to facilities and technologies of high energy efficiency”] [Electronic resource]. URL: <https://base.garant.ru/71095216/> (Date of application 06/20/2019).

14. Betinskaya O.A., Bachev N.L., Matyunin O.O., Bul'bovich R.V., Bacheva N.YU. Raschetnyye issledovaniya vnutrikamernogo protsessa pri utilizatsii neflyanogo gaza [Calculation studies of the intra-chamber process in the utilization of petroleum gas]. *Neftyanoye khozyaystvo*, 2017, no. 7, pp. 86-89.

15. Assad M. Produkty szhiganiya zhidkikh i gazoobraznykh topliv: obrazovanie, raschet, eksperiment [Products of liquid and gaseous fuels burning: formation, calculation, experiment]. Minsk: National Academy of Sciences of Belarus, 2010, 305 p.

Сведения об авторах

Рустамов Заур Алег оглы (Пермь, Россия) – аспирант кафедры «Ракетно-космическая техника и энергетические системы» ФГБОУ ВО ПНИПУ (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., д. 29, e-mail: zaur-rustamov@yandex.ru).

Брюхова Ксения Сергеевна (Пермь, Россия) – аспирант кафедры «Общая физика» ФГБОУ ВО ПНИПУ (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., д. 29, e-mail: k.bryukhova@list.ru).

About the authors

Zaur A. Rustamov (Perm, Russian Federation) – PhD Student of Rocket and Space Engineering and Power Generating Systems Department, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, Russian Federation, e-mail: zaur-rustamov@yandex.ru).

Kseniya S. Bryukhova (Perm, Russian Federation) – PhD Student of General Physics Department, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, Russian Federation, e-mail: k.bryukhova@list.ru).