



УДК 504.062.2+620.9+547.2

**ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ И ЭКОЛОГИЧНОСТИ
НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ ПОСРЕДСТВОМ УТИЛИЗАЦИИ ОСОБО ОПАСНЫХ
И ТОКСИЧНЫХ ОТХОДОВ НА ПРИМЕРЕ
ПОПУТНОГО НЕФТЕПЕРЕРАБОТКЕ ГАЗА**

•••••

**IMPROVEMENT OF ENERGY EFFICIENCY AND ECOLOGY OF
OIL AND GAS INDUSTRY BY DISPOSAL OF EXTREMELY DANGEROUS
AND TOXIC WASTE BY THE EXAMPLE OF OIL-ASSOCIATED GAS**

Налетов Иван Дмитриевич

магистр технических наук,
инженер Высшей школы Атомной и тепловой энергетики,
Санкт-Петербургский политехнический университет
Петра Великого
pimon-kora@mail.ru

Амосов Николай Тимофеевич

кандидат технических наук, доцент,
доцент Высшей школы Атомной и тепловой энергетики,
Санкт-Петербургский политехнический университет
Петра Великого
nwp_amossov@mail.ru

Naletov Ivan Dmitrievich

Master of Technical Science,
Engineer of Higher school of
Nuclear and heat power energy,
Peter the Great Saint Petersburg
Polytechnic University
pimon-kora@mail.ru

Amosov Nikolay Timofeevich

Ph. D., Associate Professor of Higher
school of Nuclear and heat power energy,
Peter the Great Saint Petersburg
Polytechnic University
nwp_amossov@mail.ru

Аннотация. Нефтяная промышленность в России является одной из крупнейших отраслей экономики. Глобальный рост энергопотребления, тенденции по охране окружающей среды и политика ресурсосбережения требуют повышения энергоэффективности в промышленности. Снижение нецелевых затрат и потерь с выбросами в окружающую среду, использование всех возможных источников энергии – один из вариантов решения назревающей проблемы. Утилизация попутного нефтепереработке газа в газовых турбинах – возможность генерации внушительного количества электроэнергии на базе газа, весь потенциал которого, на сегодняшний день, не реализуется. В статье приводится химический анализ попутного нефтепереработке газа, оценка теплотворной способности и экологической безопасности его использования, в том числе – очистка, а также рассматриваются возможные варианты компоновки мини ГТЭС для работы на попутном нефтяном газе нефтеперерабатывающих предприятий.

Ключевые слова: нефтепереработка, утилизация, попутный газ, мини-ГТЭС, энергоэффективность, экологическая безопасность, ресурсосбережение, утилизация отходов, утилизация особо опасных и токсичных отходов.

Annotation. The oil industry in Russia is one of the largest sectors of the economy. Global growth in energy consumption, environmental trends and resource conservation policies require improved energy efficiency in industry. Reducing non-target costs and losses with emissions into the environment, using all possible energy sources is one of the solutions to the emerging problem. Utilization of associated gas refining in gas turbines is the possibility of generating an impressive amount of electricity from gas, the full potential of which, to date, is not realized. The article provides a chemical analysis of associated petroleum refining of gas, an assessment of the calorific value and environmental safety of its use, including purification, and also considers possible layouts of mini gas turbine power plants for working with associated petroleum gas from oil refineries.

Keywords: oil refining, disposal, associated gas, mini GTES, energy efficiency environmental Safety, resource saving, waste disposal, disposal of extremely dangerous and toxic waste.

Введение. Развитие человечества привело к значительному увеличению потребления энергии, что требует все большего ресурсообеспечения, в особенности – нефтепродуктов и топлива [1]. Процессы нефтедобычи и нефтепереработки непосредственным образом связаны с высвобождением горючих газов, которые не являются целевым продуктом. Отчего возникает необходимость утилизации побочного продукта производства. Традиционная методика утилизации попутного газа заключается в непосредственном сжигании газа в факелах, в некоторых случаях – после предварительной очистки, если таковая необходима, что затратно и трудоемко. В условиях сложившейся политики повышения энергоэффективности производства, снижения потерь в виде неиспользованных потенциалов и ресурсов, а также в рамках борьбы за сохранение окружающей среды и повышение экологической стабильности и безопасности, реализация концепции утилизации попутных газов с выходом полезной энергии представляется перспективной и многообещающей, а учитывая



тот факт, что нефтепереработка – производство непрерывное, установка по утилизации попутного газа будет покрывать долю собственных нужд предприятия [2], поэтому электроэнергия, производимая на малых ГТЭС, не уходит в электрическую сеть. Выработка энергии в рамках более эффективного использования теплоты и ресурсов – вектор развития современной промышленности.

Цель работы: сформировать концепцию утилизации попутного нефтепереработке газа, оценить перспективы и целесообразность промышленного использования мини-ГТЭС на попутном газе.

Задачи работы: рассчитать потенциальный и оценить экономический эффект от утилизации попутного газа, вычислить его низшую теплоту сгорания (по результатам химического анализа); обосновать целесообразность утилизации попутного газа в рамках малой энергетики.

На примере ряда проектов сооружения ГТЭС на попутном нефтедобыче газе можно оценить масштабы требуемых затрат, территорий под строительство, продуктивность работы станции, потенциальную продолжительность работы с учетом запасов газа в месторождениях и удельную стоимость 1 кВт производимой энергии. В случае сжигания газа, попутного нефтепереработке, запасы и потенциальный выход газа – не ограничены, что подчеркивает рентабельность проекта.

Анализ попутного газа нефтеперерабатывающего предприятия (табл. 1) дает возможность осуществить первичную оценку его свойств и перспективы использования в качестве топлива для эффективной утилизации.

Таблица 1 – Результаты анализа попутного нефтепереработке газа (усредненные за квартал в период с 01.01.2018 по 30.03.2018 г.)

Определяемый компонент	Единицы измерения	Результат анализа
Водород (H_2)	молярная доля, %	33,1
Метан (CH_4)	молярная доля, %	54,3
Этан (C_2H_6)	молярная доля, %	5,2
Этилен (C_2H_4)	молярная доля, %	0,00995
Пропан (C_3H_8)	молярная доля, %	4,02
Пропилен (C_3H_6)	молярная доля, %	0,00497
Изо-бутан (i- C_4H_{10})	молярная доля, %	2,12
Н-бутан (n- C_4H_{10})	молярная доля, %	0,826
Бутилен (C_4H_8)	молярная доля, %	0,0149
Изо-пентан (i- C_5H_{12})	молярная доля, %	0,205
Н-пентан (n- C_5H_{12})	молярная доля, %	0,0828
Пентен (C_5H_{10})	молярная доля, %	0,00482
Σ гексанов (C_6H_{14}), гептанов (C_7H_{16}), октанов (C_8H_{18}) и нонанов (C_9H_{20})	молярная доля, %	0,0877
Сероводород (H_2S)	молярная доля, %	0,0231
Плотность абс. при 20 °С и 101325 кПа	кг/м ³	0,613
Теплота сгорания низшая	ккал/м ³	7632

Расчет низшей теплоты сгорания рассматриваемого газа проведем по формуле 1 [4], таким образом: $Q_H = 7594$ ккал/м³ (природный газ – 8000 ккал/м³), что удовлетворяет минимальным требованиям по ГОСТ 5542-87 [3]. Опираясь на высокую точность анализа, подчеркнем, что расчет низшей теплоты сгорания позволяет получить данные с неопределенностью в 0,5 % и может рассматриваться в качестве критерия при оценке качества газа.

$$Q_H = \sum_{i=1}^n Q_{Hi} C_i, \quad (1)$$

где Q_{Hi} – низшая теплота сгорания i-го компонента газа, C_i – доля i-го компонента в газе (табл. 2).

Таблица 2 – Низшая теплота сгорания компонентов природного газа при 20 °С и 101,325 кПа [4]

Q_{Hi}	Компонент										
	H_2	CH_4	C_2H_6	C_3H_8	C_4H_{10}	C_5H_{12}	H_2S	C_6H_{14}	C_7H_{16}	C_8H_{18}	C_9H_{20}
ккал/м ³	2400	7980	14300	20670	27235	34400	5200	38540	44630	50690	57030



Максимальная разовая ПДК сероводорода в смеси с алициклическими предельными углеводородами, согласно ГОСТ 22387.2-2014 [5], не должна превышать 3 мг/м^3 , тогда как для анализируемого газа (смеси газов) составляет 328 мг/м^3 , это обуславливает необходимость серьезных мероприятий по очистке и подготовке к утилизации, что также способствует снижению коррозионной активности газа при транспортировке, переработке и использовании [6]. По мнению автора, самым перспективным способом очистки является физическая адсорбция, которая позволяет проводить глубокую очистку газа от сероорганических соединений и легко реализуется на практике. Альтернативным способом снижения концентрации сероводорода является подмешивание к попутному газу топливного газа, что затратно, если не реализовывать какую-либо утилизацию теплоты.

Помимо прочего, сжигание попутного газа в факелах влечет за собой наложение материальных санкций на предприятия, среди которых порядка 80 % составляют нефтеперерабатывающие и нефтедобывающие [7]. Также взимается плата в виде штрафа за превышение ПДК ряда веществ в окружающей среде и эмиссии вредных и ядовитых составляющих (сероводород, меркаптаны и др.).

В этой связи, установка и эксплуатация газовых турбин, спроектированных на работу на попутном нефтяном газе (в том числе – разбавленном топливным газом), в составе мини-ГТЭС – возможность утилизации попутных газов с непосредственной выработкой электроэнергии. Использование более привычных для отечественной энергетики паровых котлов для сжигания и преобразования энергии не рассматривается, поскольку сооружение и обслуживание всей необходимой инфраструктуры (химводоподготовка, система оборотного водоснабжения, воздушное хозяйство) и самого котла – колоссальные капитальные затраты и огромные площади.

Под мини-ГТЭС следует понимать газотурбинные электростанции малой мощности (от 100 кВт и до 25 МВт единичной мощности агрегатов). Мини-ГТЭС могут быть с машзальной (машинный зал) или блочной компоновкой, а также мобильными (контейнерными). Мини-ГТЭС обладают высокими КПД и маневренностью, небольшими габаритами и могут работать как на природном газе, так и на дизеле, керосине и попутном нефтяном газе.

Один нефтеперерабатывающий завод средней мощности вполне может обеспечить мини-ГТЭС мощностью порядка 20 МВт топливом, тогда как это покроет пятую часть собственных нужд предприятия по электроэнергии.

Заключительные положения. Химический анализ попутного нефтепереработки газа и расчеты на его основе показали количественно его энергетическую ценность, а комплексный подход к подготовке и утилизации газа в рамках развития малой энергетики в форме мини-ГТЭС на базе нефтеперерабатывающих предприятий позволит генерировать электроэнергию на нужды предприятия, сокращая тем самым расходы на собственные нужды, исключая необходимость оплаты штрафов за нецелевое использование и ненадлежащее обращение с побочными продуктами нефтепереработки и минимизируя эмиссию патогенов и ядовитых веществ в окружающую среду, что повышает экологическую безопасность в районе деятельности предприятия и снижает уровень загрязнения атмосферы, таким образом, утилизация и переработка особо опасных и токсичных отходов, таких как попутный нефтепереработки газ, возможно с реализацией методики получения полезного выхода в виде тепловой и электрической энергии, что в корне меняет модель подхода к обращению с особо опасными и токсичными отходами [8-11].

Литература:

1. Налетов И.Д., Амосов Н.Т. Влияние процесса утилизации твердых бытовых отходов на окружающую среду // Неделя науки СПбПУ: материалы научной конференции с международным участием. Институт энергетики и транспортных систем. Ч. 1. – СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2017. – 248 с.
2. Энергетическая стратегия России на период до 2035 года – распоряжение Правительства Российской Федерации от 1 февраля 2017 г.
3. ГОСТ 5542-87 «Газы горючие природные для промышленного и коммунально-бытового назначения. Технические условия (с Поправкой)» от 01.01.1988 г. (Поправка от июля 2001 г.).
4. ГОСТ 22667-82 «Газы горючие природные. Расчетный метод определения теплоты сгорания, относительной плотности и числа Воббе (с Изменением № 1)» от 01.07.1983 г. (Изменение утверждено в августе 1992 г.).
5. ГОСТ 22387.2-2014 «Газы горючие природные. Методы определения сероводорода и меркаптановой серы» от 01.07.2015 г.
6. Мазгаров А.М., Корнетова О.М. Технологии очистки попутного нефтяного газа от сероводорода : учебно-методическое пособие. – Казань : Казан. ун-т, 2015. – 70 с.
7. Утилизация попутного нефтяного газа на месторождениях Томской области / Г.Ю. Боярко [и др.] // Вестник ТГПУ (TSPU Bulletin). – 2011. – № 121 (114).
8. Налетов И.Д. Утилизация и переработка отходов в рамках повышения энергоэффективности нефтегазодобывающей промышленности // Булатовские чтения. – 2018.
9. Козырева Д.А., Налетов И.Д. Экономическая выгода перевода городского пассажирского автотранспорта на газомоторное топливо // Неделя науки СПбПУ: материалы научной конференции с международным участием, 19–24 ноября 2018 г. Институт промышленного менеджмента, экономики и торговли. Ч. 1. – СПб. : ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2018. – 573 с.



10. Экономическая целесообразность реализации промышленного кластера обращения с отходами / И.Д. Налетов [и др.] // В сборнике: Современные технологии и экономика энергетики : материалы Международной научно-практической конференции. – 2019. – С. 14–16.

11. Внедрение промышленного кластера в систему обращения с отходами / И.Д. Налетов [и др.] // В сборнике: Современные технологии и экономика энергетики : материалы Международной научно-практической конференции. – 2019. – С. 116–119.

References:

1. Naletov I.D., Amosov N.T. The influence of the process of utilization of municipal solid waste on the environment // Science Week SPbPU: proceedings of a scientific conference with international participation. Institute of Energy and Transport Systems. Part 1. – St. Petersburg : Publishing House Polytechnic. University, 2017. – 248 p.

2. The energy strategy of Russia for the period until 2035 – an order of the Government of the Russian Federation of February 1, 2017.

3. GOST 5542-87 «Combustible natural gases for industrial and domestic purposes. Technical Specifications (as Amended)» dated 01.01.1988 (Amendment dated July 2001).

4. GOST 22667-82 «Combustible natural gases. Calculation method for determining the calorific value, relative density and Wobbe number with Amendment № 1 of 07/01/1983» (The change was approved in August 1992).

5. GOST 22387.2-2014 «Combustible natural gases. Methods for the determination of hydrogen sulfide and mercaptan sulfur» from 01.07.2015.

6. Mazgarov A.M., Kornetova O.M. Technologies for cleaning associated petroleum gas from hydrogen sulfide // Educational-methodical manual. – Kazan : Kazan. un-t, 2015. – 70 p.

7. Utilization of associated petroleum gas in the fields of the Tomsk Region / G.Yu. Boyarko [et al.] // Vestnik TSPU (TSPU Bulletin). – 2011. – № 121 (114).

8. Naletov I.D. Utilization and recycling in the framework of improving the energy efficiency of the oil and gas industry // Bulatov Readings. – 2018.

9. Kozyreva D.A., Naletov I.D. The economic benefits of converting urban passenger vehicles to NGV fuel // SPbPU Science Week: Materials of a scientific conference with international participation, November 19–24, 2018 Institute of Industrial Management, Economics and Trade. Part 1. – SPb. : POLYTEH-PRESS, 2018. – 573 p.

10. Economic feasibility of implementing an industrial cluster of waste management / I.D. Naletov [et al.] // In collection: Modern technologies and economics of energy materials of the International scientific-practical conference. – 2019. – P. 14–16.

11. The introduction of an industrial cluster in the waste management system / I.D. Naletov [et al.] // In the collection: Modern technologies and economics of energy materials of the International scientific-practical conference. – 2019. – P. 116–119.