

УДК 658.26:620.98

А.В. Кульбякина¹, e-mail: lenkova_av@rambler.ru; **Н.А. Озеров¹**, e-mail: nikita-alecseevich@yandex.ru;

В.Н. Осипов¹, e-mail: ossipovvn@yandex.ru; **А.И. Савельева¹**, e-mail: saveleva763@mail.ru

¹ Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.» (Саратов, Россия).

Повышение энергоэффективности в системах энергообеспечения предприятий нефтегазовой отрасли

В статье представлена схема энергообеспечения объектов нефтегазовой отрасли с комбинированной выработкой тепловой и электрической энергии, синтез-газа и комплексной утилизацией отходов. Предлагаемая схема реализует принципы энерго- и ресурсоэффективности, экологической безопасности и позволяет приблизиться к максимально замкнутым технологическим циклам. Техническим результатом внедрения схемы является комбинирование технологических процессов термической утилизации производственных отходов (горючих газов, стоков) с процессами газификации и выработки энергоресурсов (электрической, тепловой энергии, синтез-газа, водоснабжения), снижение удельного потребления топливного газа на выработку энергоресурсов и утилизацию отходов, повышение экологической безопасности и надежности работы объекта.

Проведена оценка эффективности предложенной схемы и потенциала энергосбережения в результате ее внедрения по разработанным критериям для отдельных производств предприятий переработки нефти. Определены наиболее энергоемкие и наименее энергоэффективные процессы и производства. Согласно расчетам, применение предложенной схемы для отдельных технологических процессов и производств объектов нефтегазового комплекса способствует снижению удельного топливопотребления на 28–44 %, а также значительному сокращению потребления технологической воды от внешних источников в сравнении с базовым вариантом. Таким образом, подтверждена целесообразность интеграции предложенной схемы в энергетический комплекс объектов нефтегазовой отрасли.

Ключевые слова: энергетический комплекс, энергоэффективность, переработка нефти, термическая утилизация, газификация, экологическая безопасность.

.....

A.V. Kulbyakina¹, e-mail: lenkova_av@rambler.ru; **N.A. Ozerov¹**, e-mail: nikita-alecseevich@yandex.ru;

V.N. Osipov¹, e-mail: ossipovvn@yandex.ru; **A.I. Savelyeva¹**, e-mail: saveleva763@mail.ru

¹ Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Saratov State Technical University named after Y.A. Gagarin" (Saratov, Russia).

Improving the Efficiency of Energy Supply Systems for Enterprises of Oil and Gas Industry

The article presents a scheme of energy supply of oil and gas industry facilities with combined generation of heat and electricity, synthesis gas and integrated waste management. The proposed scheme implements the principles of energy and resource efficiency, environmental safety and makes it possible to approach the maximum closed technological cycles. The technical result of the scheme implementation is a combination of technological processes of thermal utilization of industrial waste (combustible gases, effluents) with gasification processes and generation of energy resources (electric, thermal energy, synthesis gas, water supply), reduction of specific fuel gas consumption for energy resources generation and waste utilization, improvement of environmental safety and reliability of the facility.

The efficiency of the proposed scheme and energy saving potential as a result of its implementation according to the developed criteria were assessed for the individual production facilities of oil refining enterprises. The most energy-intensive and the least energy-efficient processes and productions were identified. According to the calculations, the application of the suggested scheme for the separate technological processes and productions of the objects of the oil and gas complex reduces the specific fuel consumption by 28–44 %, and also considerably reduces the consumption of technological water from the external sources in comparison with the base variant. Thus, expediency of integration of the offered scheme into the power complex of objects of oil and gas industry is confirmed.

Keywords: energy complex, energy efficiency, oil refining, thermal utilization, gasification, environmental safety.

ВВЕДЕНИЕ

Предприятия нефтегазового комплекса занимают одно из ключевых положений в макроэкономике РФ, будучи основополагающим звеном топливно-энергетического комплекса (ТЭК) страны. Именно продукты переработки углеводородного сырья занимают преобладающее положение в структуре экспорта и внутреннего потребления, обеспечивая до одной трети валового внутреннего продукта [1] даже в ситуации, сложившейся на рынке углеводородов в последнее время. При этом большинство действующих отечественных предприятий сталкиваются с целым рядом проблем, к наиболее значительным из которых можно отнести такие, как неполная загрузка перерабатывающих мощностей по сырью, относительно невысокая глубина переработки, низкое качество товарных продуктов, недостаточная степень автоматизации процессов, высокий уровень энергопотребления, превосходящий среднемировой в 2–3 раза [2, 3]. В значительной степени создавшаяся в отечественной нефте- и газоперерабатывающей отрасли ситуация отражает проблему изношенности основных фондов, составляющей 15–90 %, причем наибольшие показатели изношенности характерны для генерирующих мощностей электрических станций, котельных, а также технологического оборудования, введенного в эксплуатацию еще в прошлом столетии [4, 5]. Необходимо также принять во внимание и особенность энергетического комплекса предприятий отрасли, формировавшихся практически одновременно с разработкой месторождений при взаимосвязи с ТЭК, включая внешние системы энергообеспечения, в период низкого уровня цен на внутреннем рынке.

Таким образом, снижение энергетической составляющей в себестоимости товарной продукции, повышение энерго- и ресурсоэффективности основных технологических процессов является стратегическим направлением развития промышленности и ТЭК РФ. Предприятия переработки нефти могут решить эти задачи за счет оптимизации энергетического комплекса с созданием собственных источников энергообеспечения, реализующих принципы глубокой утилизации внутрипроизводственных вторичных энергетических ресурсов, использования альтернативных видов топлив, организации практически замкнутых циклов энерговодоснабжения.

СХЕМА ЭФФЕКТИВНОГО ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ОБЪЕКТОВ НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ

Для действующих и проектируемых объектов нефтегазовой отрасли были разработаны и предложены инновационные схемы энергообеспечения [6, 7]. К примеру, на рис. 1 приведена схема установки энергообеспечения с комплексной утилизацией отходов предприятий [7].

Предложенная схема относится к области комплексной генерации энергетических ресурсов (тепловой и электрической

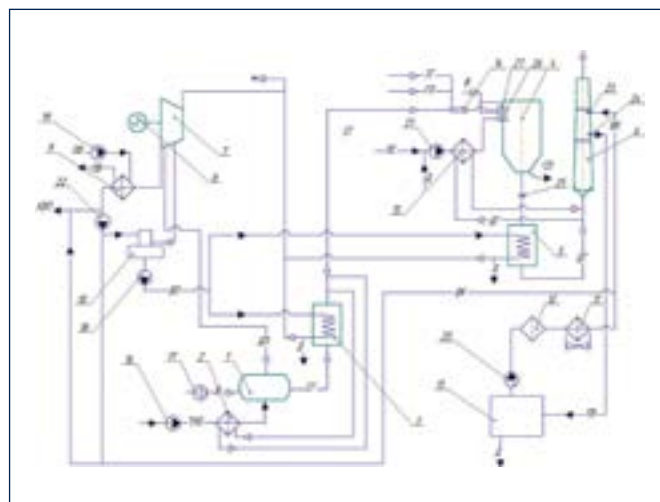


Рис. 1. Схема установки энергообеспечения с комплексной утилизацией отходов предприятий переработки нефти: 1 – газогенератор; 2 – подогреватель мазута; 3, 5 – котлы-утилизаторы; 4 – печь нейтрализации; 6 – дымовая труба; 7 – паровая турбина; 8 – электрогенератор; 9 – теплообменник-конденсатор (подогреватель сетевой воды); 10 – деаэрактор; 11 – теплообменник – охладитель водяного конденсата; 12 – фильтр водяного конденсата; 13 – емкость сбора конденсата; 14 – газовый эжектор; 15 – подогреватель производственных стоков; 16, 18–22 – насосы (мазута, питательный, сетевой, технической воды, производственных стоков, конденсата); 17 – компрессор; 23 – форсунка водяного конденсата; 24 – патрубок отвода конденсата; 25 – устройство ввода реагента; 26 – форсунка подачи жидких стоков; 27 – входной топливный патрубок; ТНО – тяжелые нефтяные остатки (мазут, гудрон, тяжелый каталитический газойль) на газификацию; В – воздух в газификатор и на горение в печь нейтрализации; СГ – синтез-газ (газ газификации); ДГ – дымовые газы; ГО – горючие газообразные отходы; ПС – производственные стоки; ДП – дутьевой пар; Д – дренаж; ВП – вода питательная; ПВ – прямая теплофикационная вода; ОВ – обратная теплофикационная вода; ВК – водяной конденсат; ТВ – техническая вода

Fig. 1. Scheme of energy supply installation with complex utilization of wastes of oil refineries: 1 – gas generator; 2 – fuel oil heater; 3, 5 – waste-heat boilers; 4 – neutralization furnace; 6 – chimney; 7 – steam turbine; 8 – electric generator; 9 – condenser heat-exchanger (heating of network water); 10 – deaerator; 11 – cooler of water condensate; 12 – filter of water condensate; 13 – condensate collecting tank; 14 – gas ejector; 15 – heater of industrial effluents; 16, 18–22 – pumps (fuel oil, feed, service water, industrial effluents, condensate); 17 – compressor; 23 – water condensate nozzle; 24 – condensate drain; 25 – reagent injection device; 26 – liquid effluents nozzle; 27 – fuel inlet nozzle; ТНО – heavy oil residues (fuel oil, tar, heavy catalytic gasoil) for gasification; В – air to the gasifier and for combustion in the neutralization furnace; СГ – synthesis gas (gasification gas); ДГ – flue gases; ГО – combustible gaseous waste; ПС – process effluent; ДП – blowing steam; Д – drainage; ВП – feed water; ПВ – direct heating water; ОВ – reverse heating water; ВК – water condensate; ТВ – process water

Ссылка для цитирования (for citation):

Кульбякина А.В., Озеров Н.А., Осипов В.Н., Савельева А.И. Повышение энергоэффективности в системах энергообеспечения предприятий нефтегазовой отрасли // Территория «НЕФТЕГАЗ». 2021. № 1–2. С. 92–96.
Kulbyakina A.V., Ozerov N.A., Osipov V.N., Savelyeva A.I. Improving the Efficiency of Energy Supply Systems for Enterprises of Oil and Gas Industry. Territorija "NEFTEGAS" [Oil and Gas Territory]. 2021;(1–2):92–96. (In Russ.)

Таблица 1. Удельное энергопотребление отдельных процессов нефтеперерабатывающего предприятия

Table 1. Specific energy consumption of individual refinery processes

Технологический процесс Technological process	Удельное энергопотребление, тонн условного топлива на тонну сырья Specific energy consumption, tonnes of fuel equivalent per tonne of raw material
Каталитический риформинг Catalytic reforming	> 150
Изомеризация Isomerisation	> 70
Каталитический крекинг Catalytic cracking	> 50
Первичная переработка Primary processing	> 45

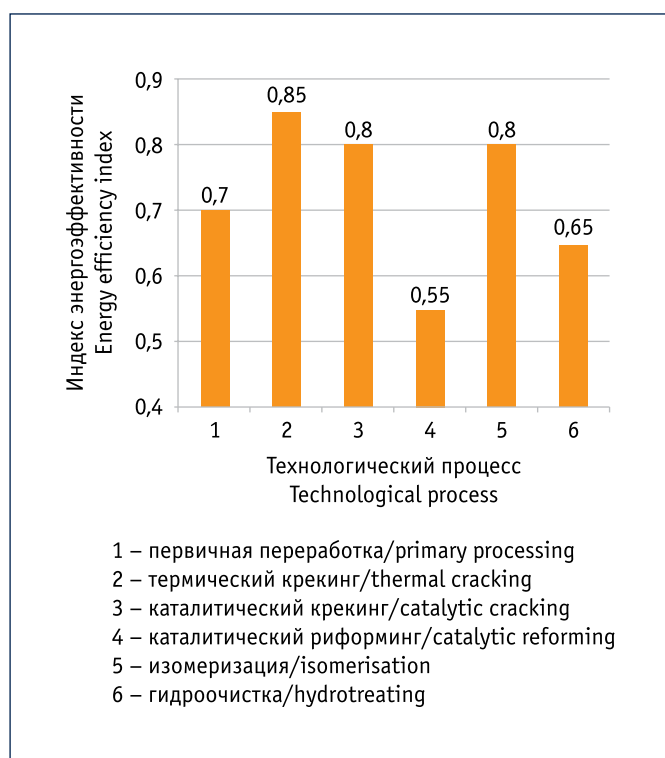


Рис. 2. Усредненный индекс энергоэффективности отдельных технологических процессов нефтеперерабатывающего предприятия
Fig. 2. Average energy efficiency index of selected refinery processes

энергии), водоснабжения и позволяет утилизировать жидкие и газообразные, преимущественно горючие промышленные отходы, предназначена для энергообеспечения объектов переработки нефти. Схема построена по блочному принципу, что позволяет адаптировать ее к технологической топологии конкретного объекта, в т. ч. для предприятий добычи и транспорта углеводородного сырья в целях повышения их энергоэффективности и уменьшения негативного воздействия на окружающую среду.

На горелочных устройствах печи нейтрализации 4 в качестве топлива используются горючие промышленные отходы (в газообразной и жидкой фазе), а также синтез-газ, вырабатываемый в газогенераторе 1 из тяжелых нефтяных остатков. Подобные решения способствуют снижению удель-

ного расхода топливного газа на когенерацию и позволяют утилизировать большую часть производственных отходов. Рекуперация теплоты уходящих дымовых газов за печью нейтрализации 4 в котле-утилизаторе 5 и использование теплоты высокотемпературного потока синтез-газа после газогенератора 1 в котле-утилизаторе 3 также способствуют повышению энергоэффективности схемы.

Экологическая безопасность схемы обеспечивается за счет высокотемпературного обезвреживания в печи нейтрализации 4 газообразных отходов, промышленных стоков, воды промывки, дренажа, что исключает загрязнение литосферы и гидросферы при подземном хранении. Повышению экологической безопасности способствует размещенное в дымоходе печи нейтрализации 4 устройство ввода реагента 25 (например, раствора гашеной извести), что обуславливает уменьшение (вплоть до полного исключения) возможности загрязнения атмосферы оксидами серы при термическом обезвреживании газообразных отходов и промышленных и хозяйственно-бытовых стоков.

Схема также обеспечивает повышение уровня надежности – ресурса непрерывной работы за счет использования независимых источников пароснабжения теплофикационных турбин 7 – котлов-утилизаторов 3 и 5. Котел 5 подключен к работающей в непрерывном режиме печи нейтрализации 4, а котел 3 – к газогенератору 1.

Экономический эффект от применения установки достигается в т. ч. за счет снижения эксплуатационных затрат (к примеру, на топливный газ) на когенерацию тепловой и электрической энергии, водоснабжение, термическую утилизацию отходов, размеров обязательных экологических платежей за выбросы, сбросы и захоронения в литосфере.

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ СХЕМ ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ ОБЪЕКТОВ НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ С УТИЛИЗАЦИЕЙ ОТХОДОВ

Оценка эффективности разработанных альтернативных вариантов схем энергообеспечения с утилизацией отходов, а также их интеграции с энергетическим комплексом и технологической системой объекта проводилась как для проектируемых, так и для действующих объектов по системе, включающей энергетические и технико-экономические показатели [8].

Таблица 2. Индекс энергоэффективности отдельных технологических процессов до и после внедрения в энергетический комплекс установки энергообеспечения с комплексной выработкой энергоресурсов

Table 2. Energy efficiency index of individual technological processes before and after implementing of an energy supply unit with integrated energy production

Период Period	Индекс энергоэффективности L_{ef} Energy efficiency index L_{ef}		
	Первичная переработка Primary processing	Термический крекинг Thermal cracking	Каталитический крекинг Catalytic cracking
До внедрения схемы Before implementing the scheme	0,65–0,75	0,8–0,9	0,75–0,85
После внедрения схемы After implementing the scheme	0,89–0,91	0,98–1,1	0,83–0,98

Эффективность действующего объекта энергетического комплекса оценивалась с использованием показателя энергоэффективности, позволяющего определить затраты на единицу произведенной продукции. С учетом того что рассматриваемые объекты потребляют энергетические ресурсы как от сторонних источников, так и собственной выработки, показатель энергоэффективности может быть выражен следующим образом:

$$E_{уд} = \frac{(E_{in,h} + E_{in,e} + (E_{in,f} - E_{rec,f})) - (E_{out,h} + E_{out,e} + E_{out,f})}{P_i}, \quad (1)$$

где E_{in} , E_{out} – входящие и исходящие потоки энергии соответственно, причем h – тепловая энергия, e – электроэнер-

гия, f – топливо для производства товарной продукции P ; $E_{rec,f}$ – топливо собственной выработки, используемое в технологическом процессе; P_i – количество продукции i вида.

Для оценки совершенства технологического процесса используется индекс энергоэффективности, с помощью которого определяется динамика потребления энергетических ресурсов процессами и аппаратами. С учетом сложности рассматриваемых объектов, декомпозиционно-агрегативного подхода коэффициент энергоэффективности может быть рассчитан по формуле:

$$I_{ef} = \frac{\sum_{j=1}^n P_{i,j} \cdot E_{уд,j}^H}{\sum E_{уд}^Ф}, \quad (2)$$



где P_{ij} – выпуск продукции вида j технологическим производством i за выбранный период; $E_{уд,j}^H$ – нормативное энергопотребление для вида продукции j ; $E_{уд}^Ф$ – фактическое (текущее) энергопотребление.

Выбор конкретных решений по аппаратному обеспечению разработанной схемы с оптимизацией режимов ее эксплуатации находится в прямой зависимости от ряда технологических факторов, к которым можно отнести технологическую структуру объекта, профиль предприятия, состав исходного сырья, линейку товарных продуктов. Наличие многочисленных переменных требует проведения соответствующих расчетов, позволяющих адаптировать предлагаемую схему к конкретным условиям жизненного цикла предприятия.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЧИСЛЕННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ

С использованием предложенных соотношений для оценки текущего состояния отдельных производств предприятий переработки нефти были определены наиболее энергоемкие по удельному энергопотреблению технологические процессы (табл. 1) и определен их усредненный индекс энергоэффективности (рис. 2).

Анализ приведенных данных лег в основу определения наиболее энергоемких производств нефтеперерабатывающих предприятий и позволил дать оценку потенциала повышения их эффективности в результате интеграции установки энергообеспечения с комплексной утилизацией отходов (рис. 1) в энергетический комплекс объекта.

Расчет эффективности системы энергообеспечения с применением предложенной схемы для отдельных технологических процессов и производств объектов нефтегазового комплекса подтвердил снижение удельного топливопотребления на 28–44 % и значительное сокращение потребления технологической воды от внешних источников в сравнении с базовым вариантом. Пересчитанные индексы энергоэффективности отдельных производств приведены в табл. 2.

Таким образом, можно сделать вывод, что задача повышения энергоэффективности объектов нефтегазового комплекса может быть в значительной мере решена с внедрением в энергетический комплекс предприятий отрасли разработанной схемы или отдельных технологических решений, позволяющих организовать практически замкнутые производственные циклы.

Литература:

- Skufina T., Baranov S., Shatalova T., Samarina V. Production Function in the Specifics of Producing Gross Regional Product of Russian Federation // *Mediterranean Journal of Social Sciences*. 2015. Vol. 6. No. 5. P. 265–270.
- Аксютин О.Е., Ишков А.Г., Пыстина Н.Б. и др. Реализация современных энергосберегающих технологий в практической деятельности ОАО «Газпром» // *Газовая промышленность*. 2012. № 10 (681). С. 86–89.
- Госсен Л.П., Величкина Л.М. Экологические проблемы рационального использования нефтегазовых запасов и получения высококачественных нефтепродуктов // *Нефтехимия*. 2012. Т. 52. № 2. С. 154–158.
- Батенин В.М., Зейгарник Ю.А., Масленников В.М. О стратегии развития энергетики России (10 лет спустя) // *Теплоэнергетика*. 2012. № 4. С. 3–6.
- Государственная программа Российской Федерации «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности на период до 2020 года» (утв. распоряжением Правительства РФ от 27.12.2010 № 2446-р) [Электронный источник]. Режим доступа: <https://rg.ru/2011/01/25/energoberejenie-site-dok.html> (дата обращения: 26.02.2021).
- Установка электротепловодоснабжения: патент № 134993 РФ; МПК F01K 17/02 / И.В. Долотовский, А.В. Ленкова, Н.В. Долотовская; патентообладатель – И.В. Долотовский; № 2013130457/06; заявл. 02.07.2013; опубл. 27.11.2013, Бюл. № 33.
- Установка энергообеспечения с комплексной утилизацией отходов предприятий нефтегазового сектора: патент RU 2713936 C1; МПК F01K 17/02 / А.В. Кульбякина, Н.А. Озеров; патентообладатель – ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.»; № 2018143274; заявл. 06.12.2018; опубл. 11.02.2020, Бюл. № 5.
- Kulbyakina A.V., Ozerov N.A., Batrakov P.A. Efficiency Evaluation of Oil and Gas Processing Plants Internal Power Supply Sources // *Proceedings of the AIP Conference 2019* [Электронный источник]. Режим доступа: <https://aip.scitation.org/doi/10.1063/1.5122066> (дата обращения: 26.02.2021).

References:

- Skufina T., Baranov S., Shatalova T., Samarina V. Production Function in the Specifics of Producing Gross Regional Product of Russian Federation. *Mediterranean Journal of Social Sciences*. 2015;6(5):265–270.
- Aksyutin O.E., Ishkov A.G., Pystina N.B. et al. Implementation of Modern Energy-Saving Technologies in the Practical Activities of Gazprom JCS. *Gazovaya promyshlennost' [Gas Industry]*. 2012;10(681):86–89. (In Russ.)
- Gossen L.P., Velichkina L.M. Environmental Problems of Sustainable Management of Oil and Gas Resources and Production of High-Quality Petroleum Products. *Neftekhimiya [Petroleum Chemistry]*. 2012;52(2):154–158. (In Russ.)
- Batenin V.M., Zeigarnik Yu.A., Maslennikov V.M. About the Strategy for Development of the Russian Power Engineering (after Ten Years). *Teploenergetika [Thermal Engineering]*. 2012;59(4):261–265. (In Russ.)
- State Programme of the Russian Federation “Energy Saving and Energy Efficiency Improvement until 2020” (approved by RF Government Decree of 27.12.2010 № 2446-r). Weblog. Available from: <https://rg.ru/2011/01/25/energoberejenie-site-dok.html> [Accessed 26th February 2021]. (In Russ.)
- Electric Heat and Water Supply Unit: Patent No. 134993 RF; IPC F01K 17/02. Authors – I.V. Dolotovskiy, A.V. Lenkova, N.V. Dolotovskaya; patent holder – I.V. Dolotovskiy; No. 2013130457/06; appl. 02.07.2013; publ. 27.11.2013, Bul. No. 33. (In Russ.)
- Power Supply Unit with Complex Recycling of Oil and Gas Industry Wastes: patent RU 2713936 C1; IPC F01K 17/02. Authors – A.V. Kulbyakina, N.A. Ozerov; patent holder – Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Saratov State Technical University named after Y.A. Gagarin”; No. 2018143274; appl. 06.12.2018; publ. 11.02.2020, Bul. No. 5. (In Russ.)
- Kulbyakina A.V., Ozerov N.A., Batrakov P.A. Efficiency Evaluation of Oil and Gas Processing Plants Internal Power Supply Sources. In: *Proceedings of the AIP Conference 2019*. Weblog. Available from: <https://aip.scitation.org/doi/10.1063/1.5122066> [Accessed 26th February 2021]. (In Russ.)