

УДК 658.26:620.92.001.57

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВНУТРЕННИХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ ОБЪЕКТОВ НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ

А.В. Кульбякина, Н.А. Озеров, А.И. Савельева, П.А. Батраков

Предложена структурная схема интеграции собственного источника энергообеспечения с энергетическим комплексом и технологической системой предприятия переработки углеводородного сырья. Схема реализует принципы максимальной замкнутости технологических циклов, энерго- и ресурсоэффективности за счет комплексной утилизации производственных отходов (производственных стоков, тяжелых нефтяных остатков, низкопотенциальных углеводородных газов) в блоках термической утилизации и газификации с комбинированной выработки тепловой, электрической энергии, топливного газа (синтез газа). Рассмотрена система показателей эффективности интеграции внутреннего источника энергообеспечения с основными подсистемами энергетического комплекса, технологической системы и с внешними источниками энергообеспечения. Даны наиболее значимые критерии энергетической эффективности, адаптированные для оценки сложной структуры предприятий переработки углеводородного сырья. Приведено технико-экономическое обоснование внутреннего источника энергообеспечения и подтверждена целесообразность его интеграции с энергетическим комплексом предприятий переработки углеводородного сырья.

Ключевые слова: предприятия переработки углеводородного сырья; энергетический комплекс; собственные источники энергообеспечения; утилизация производственных отходов.

НЕФТИ ГАЗ ТАРМАГЫНЫН ОБЪЕКТИЛЕРИН ЭНЕРГИЯ МЕНЕН КАМСЫЗ БЫЛУУЧУ ИЧКИ БУЛАКТАРДЫН НАТЫЙЖАЛУУЛУГУНА ТАЛДОО ЖҮРГҮЗҮҮ

А.В. Кульбякина, Н.А. Озеров, А.И. Савельева, П.А. Батраков

Бул макалада көмүрсуутек чийки затын кайра иштетүүчү ишкананын өздүк энергия менен камсыз кылуу булагын энергетикалык комплекс жана технологиялык система менен интеграциялоонун структуралык схемасы сунушталды. Схема термикалык утилизация жана газификация блокторунда жылуулук, электр энергиясын, отун газын (газды синтездөө) аралаш иштеп чыгуу менен өндүрүш калдыктарын (өндүрүш агындыларын, оор нефти калдыктарын, потенциалы төмөн көмүрсуутек газдарын) комплекстүү утилизациялоонун эсебинен технологиялык циклдердин, энергиянын жана ресурстардын натыйжалуулугун максималдуу туюктоо принциптерин ишке ашырат. Ички энергия менен камсыз кылуу булагын энергетикалык комплекстин негизги подсистемалары, технологиялык системасы жана тышкы энергия менен камсыз кылуу булактары менен интеграциялоонун натыйжалуулугунун көрсөткүчтөрү каралды. Көмүрсуутек чийки затын кайра иштетүүчү ишкананын татаал түзүмүн баалоо үчүн ыңгайлаштырылган энергетикалык натыйжалуулуктун бир кыйла маанилүү критерийлери берилди. Ички энергия менен камсыз кылуу булагына техникалык-экономикалык негиздеме берилди жана аны көмүрсуутек чийки затын кайра иштетүүчү ишкананын энергетикалык комплекси менен интеграциялоонун максатка ылайык экендиги далилденди.

Түйүндүү сөздөр: көмүрсуутек чийки затын кайра иштетүүчү ишкана; энергетикалык комплекс; өздүк энергия менен камсыз кылуу булагы; өндүрүш калдыктарын утилизациялоо.

ANALYSIS OF EFFICIENCY OF INTERNAL SOURCES OF ENERGY SUPPLY OBJECTS IN OIL AND GAS INDUSTRY

A. V. Kulbyakina, N.A. Ozerov, A.I. Savelyeva, P.A. Batrakov

The article proposes a block diagram of the integration of its own energy supply source with the energy complex and the technological system of a hydrocarbon processing enterprise. The proposed scheme implements the principles of maximum closure of technological cycles, energy and resource efficiency, due to the integrated utilization of industrial

waste (industrial effluents, heavy oil residues, low-grade hydrocarbon gases) in thermal utilization and gasification units with combined generation of heat, electricity, fuel gas (synthesis gas). A system of indicators of the effectiveness of integration of an internal source of energy supply with the main subsystems of the energy complex, technological system and with external sources of energy supply is considered. The most significant criteria of energy efficiency, adapted to assess the complex structure of hydrocarbon processing enterprises, are given. Based on the developed criteria, a feasibility study is provided for an internal source of energy supply and the feasibility of its integration with the energy complex of hydrocarbon processing enterprises is confirmed.

Keywords: hydrocarbon processing enterprises; energy complex; own sources of energy supply; utilization of industrial waste.

Нефтегазовый комплекс представляет собой одну из основных движущих сил устойчивого и быстрого развития мировой экономики [1]. Степень технологического развития предприятий всей цепочки от добычи до переработки является одним из индикаторов развития промышленности и научно-технической инфраструктуры страны, т. к. энергоэффективность, ресурсосбережение, высокое качество товарных продуктов требуют современных инновационных методов, подходов и разрабатываемых на их основе технологий. Наиболее сложные технологические схемы и процессы при- сущи предприятиям переработки углеводородного сырья (УВС), что связано с непрекращающейся тенденцией к повышению глубины переработки исходного сырья, качества товарных продуктов, высокой конкурентной обстановкой на мировом рынке, где большой вес набирают не только традиционные виды углеводородного топлива, но и альтернативные нетрадиционные энергетические ресурсы [2]. Таким образом, для сохранения своей роли в мировой экономике предприятиям нефтегазового сектора необходим переход к инновационным, глубоко интегрированным между собой энерготехнологическим схемам и процессам.

Одним из перспективных направлений повышения эффективности действующих и проектируемых предприятий переработки углеводородного сырья (ПП УВС) является оптимизация структуры и режимов работы их энергетического комплекса, в том числе за счет повышения глубины и степени использования низкотемпературных и низкокалорийных вторичных энергетических ресурсов (ВЭР), развития собственной генерации энергетических ресурсов (ЭР) с замещением энергопотребления от сторонних источников, сокращением удельного энергопотребления.

Энергетический комплекс ПП УВС представляет собой сложную систему, включающую в себя такие подсистемы как: топливная, теплотехническая, электротехническая, основным назначением которых является надежное и бесперебойное обеспечение всеми видами ЭР требуемых параметров основных и вспомогательных технологических процессов. На рисунке 1 представлена схема взаимосвязей основных подсистем энергетического комплекса и внешнего источника энергообеспечения [3].

Первичными энергетическими ресурсами для ПП УВС выступают топливо, электрическая и тепловая энергия, в процентном соотношении это примерно составит (усреднено для действующих предприятий переработки нефти и газа): 55; 30; 15 %. Абсолютные и удельные показатели энергопотребления для каждого конкретного предприятия зависят от множества факторов, к которым в первую очередь относится профиль предприятия, технологическая схема, состав исходного сырья. Анализ действующих объектов отрасли показал, что большая часть энергопотребления приходится на топливо. В качестве топлива на ПП УВС может быть использовано жидкое и газообразное топливо, как собственной генерации, так и полученное от стороннего источника, причем процентное соотношение собственной выработки имеет неравномерный характер в зависимости от отдельных технологических производств, составляющих структуру всего предприятия. В таблице 1 приведены усредненные показатели потребления топлива основными технологическими процессами.

Анализ приведенных данных позволяет сделать вывод о том, что существенный потенциал повышения эффективности энергетического комплекса ПП УВС заключен в снижении процента

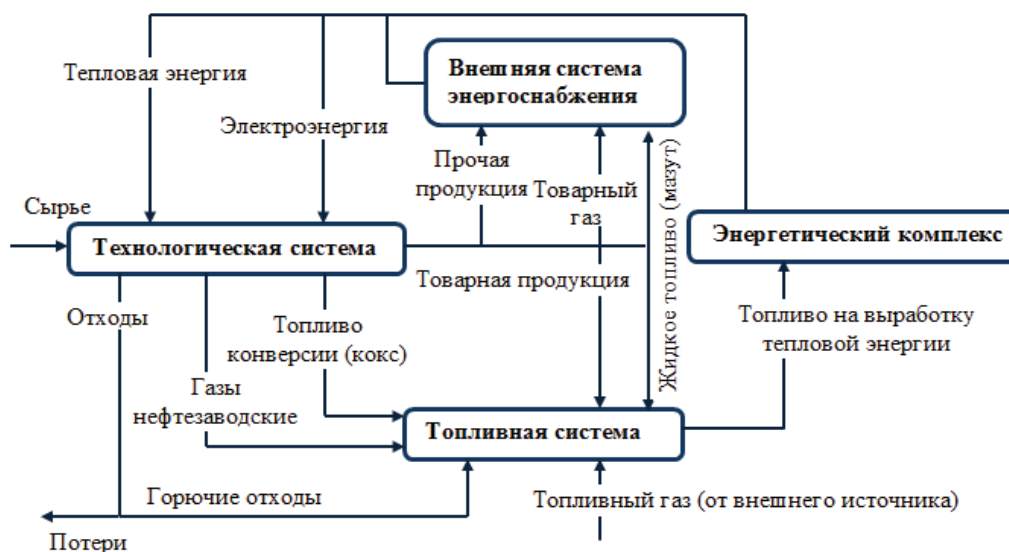


Рисунок 1 – Схема взаимосвязей подсистем энергетического комплекса ПП УВС и внешнего источника энергообеспечения

потребления стороннего топлива за счет наращивания собственной генерации. Это является перспективным направлением с точки зрения энергобезопасности и сохраняющейся динамики роста цен на энергоносители и тарифов на энергетические ресурсы. Однако конкурентоспособность собственных источников энергообеспечения может быть обеспечена только инновационными подходами, основанными на принципах энерго-ресурсоэффективности и экологической безопасности. Названным принципам соответствуют технологические схемы, предусматривающие использование внутренних производственных отходов, таких как тяжёлые остатки глубокой переработки нефти, низкочастотные газы, производственных стоков с вовлечением их в энерго-технологический баланс и организации практически замкнутых технологических циклов.

Авторами предложена схема собственных источников энергообеспечения с комбинированной выработкой ЭР, комплексной утилизацией промышленных отходов и горючих ВЭР. Получен приоритет по схеме собственного источника энергообеспечения с комплексной утилизацией отходов и выработкой ЭР, структурная схема которой приведена на рисунке 2.

Оценку эффективности интеграции предлагаемой схемы с энергетическим комплексом и технологической схемой ПП УВС проводили по предложенной системе критериев эффективности, включающей технологические, энергетические и технико-экономические показатели. Так, оценку эффективности энергетического комплекса, действующего нефтеперерабатывающего завода топливно-масляного профиля от внедрения источника собственной генерации ЭР проводили с использованием показателя энергоэффективности $E_{уд}$, отражающего отношение затрат энергии на единицу произведенной продукции.

Таблица 1 – Потребление топлива по основным технологическим производствам

Технологическое производство	Потребление топлива, %	
	топливо собственной выработки	топливо, полученное от стороннего источника
Первичная переработка	80–90	10–20
Термический крекинг	90–95	5–10
Каталитический крекинг	85–95	5–15
Каталитический риформинг	90–95	5–10
Гидроочистка	95–99	1–5
Легкий гидрокрекинг	95–100	0–5

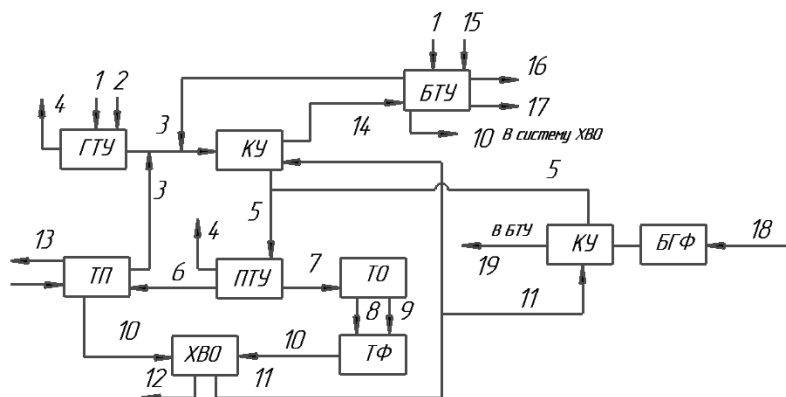


Рисунок 2 – Структурная схема собственного источника энергообеспечения с комбинированными процессами газификации, термической утилизации и когенерации:
 ГТУ – газотурбинная установка; КУ – котел-утилизатор; ПТУ – паротурбинная установка;
 ТП – технологический потребитель тепловой энергии; ТО – сетевой теплообменник;
 ТФ – теплофикационный потребитель; ХВО – водоподготовка; БТУ – блок термической утилизации;
 БГФ – блок газификации тяжелых нефтяных остатков.

1 – топливный газ; 2 – воздух; 3 – высокотемпературные дымовые газы; 4 – электроэнергия;
 5–7 – водяной пар (5 – в паровую турбину, 6 – из отбора паровой турбины на технологию, 7 – из отбора паровой турбины на сетевой подогреватель); 8, 9 – теплофикационная нагрузка и ГВС; 10 – водяной конденсат;
 11 – химочищенная вода; 12 – вода в систему хозяйственно-бытового потребления; 13 – технологический поток;
 14 – дымовые газы на осушку; 15 – производственные отходы (стоки и углеводородные газы); 16 – осушенные дымовые газы; 17 – сухие отходы; 18 – тяжелые нефтяные остатки; 19 – газ газификации (синтез-газ)

С учетом особенностей структуры энергетического комплекса ПП УВС $E_{уд}$ может быть представлен в виде:

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

где $\sum E_{in}$ – сумма всех подведенных видов энергии; P – количество произведенной продукции; $E_{in,h}$, $E_{in,e}$, $E_{in,f}$ – подведенные к процессу соответственно тепловая энергия, электроэнергия, топливо для производства продукции P ; E_{in} , E_{out} – исходящие и входящие соответственно потоки энергии; $E_{rec,f}$ – топливо собственной выработки, используемое в технологическом процессе; P_i – количество продукции i -го вида.

Не менее важным показателем для оценки степени совершенства технологических процессов и определения степени влияния мер по повышению эффективности ПП УВС является индекс энергоэффективности. Для решения задачи определения его энергоэффективности был использован декомпозиционно-агрегативный подход к анализу сложных систем. В этом случае зависимость для определения коэффициента энергоэффективности примет следующий вид:

$$I_{ef} = \frac{\sum_{i=n} P_{i,j} \cdot E_{y\phi,j}^H}{\sum E_{y\phi}^{\Phi}} \quad (2)$$

где $P_{i,j}$ – выпуск продукции вида j технологическим производством i за выбранный период; $E_{y\phi,j}^H$ – нормативное энергопотребление для вида продукции j ; $E_{y\phi}^{\Phi}$ – фактический показатель энергоемкости.

Для получения качественной оценки эффективности использования ЭР на основных производствах ПП УВС были рассмотрены эксергетические показатели. Эксергетический КПД для отдельных элементов энергетического комплекса и технологической системы:

$$\eta_{ex} = \frac{\sum ex_{вых}}{\sum ex_{вх}} = 1 - \frac{\sum ex_{п-л}}{\sum ex_{вх}} \quad (3)$$

где $\sum ex_{вх}$, $\sum ex_{вых}$ – сумма эксергий на входе и выходе; $\sum ex_{п-л} = \sum D$ – сумма потерь в системе.

$$\sum ex_{п-л} = \sum D = \sum ex_{вх} - \sum ex_{вых} \geq 0 \quad (4)$$

Для ПП УВС с потреблением электрической и тепловой энергии от стороннего источника, а также частично топлива был составлен эксергетический баланс:

$$ex_j + ex_q + ex_l + ex_f + ex_w = ex_r + ex_c + ex_d + \sum D, \quad (5)$$

где ex_j , ex_q , ex_l , ex_f , ex_w , ex_r , ex_c , ex_d – эксергия сырья, тепловой и электрической энергии, топлива, воды, продукции, стоков, отходов.

Для топливной подсистемы энергетического комплекса ПП УВС эксергетический баланс может быть составлен в виде:

$$ex_{п-л}^I + ex_{тс} + ex_{тв} + ex_{дтс} = ex_{п-л}^{II} + ex_{тq} + ex_{тд} + ex_d + \sum D, \quad (6)$$

где ex_j , ex_q , ex_l , ex_f , ex_w , ex_r , ex_c , ex_d – эксергия технологических потоков на входе и выходе топлива собственной выработки (нефтезаводские газы, мазут, кокс), топлива внешнего, горючих отходов технологической системы, топлива для выработки тепловой и электрической энергии, отходов (в том числе неиспользуемых производственных стоков, содержащих горючие компоненты никопотенциальных газов).

В соответствии с эксергетическими критериями, совершенствование энергетического комплекса ПП УВС заключается в минимизации выражения $(ex_c + ex_d + \sum D) \rightarrow \min$. Очевидно, что наиболее эффективный вариант энергетического комплекса должен определяться не только минимумом потерь $ex_d + \sum D$ и отходов ex_c , но и минимизацией потребления ЭР от внешних систем, сокращением потребления топлива $(ex_q + ex_l + ex_f + \sum D) \rightarrow \min$, максимальном использовании эксергии горючих отходов технологических производств ПП УВС.

Разработанные критерии позволили дать оценку текущему состоянию отдельных производств ПП УВС. При использовании соотношения (1) были определены наиболее энергоемкие технологические процессы по удельному энергопотреблению, оно составило на тонну перерабатываемого сырья в т.у.т.: первичная переработка – более 45; каталитический крекинг – более 50; изомеризация – более 70; каталитический риформинг – более 150. С использованием выражения (2) был определен индекс энергоэффективности отдельных технологических процессов ПП УВС: каталитический риформинг – 0,50–0,55; гидроочистка – 0,60–0,70; первичная переработка – 0,65–0,75; каталитический крекинг – 0,75–0,85; изомеризация – 0,75–0,85; термический крекинг – 0,8–0,9.

С использованием зависимостей (3)–(6) были рассчитаны эксергетические балансы и эксергия потребляемого топлива основных производств ПП УВС. По удельному потреблению эксергии: наибольшие значения характерны для производства серной кислоты (35–36 %); каталитического риформинга (20,5–21,5 %), по абсолютному потреблению: первичная переработка (35,5–36,5 %); каталитический риформинг (19,0–20,0 %).

Анализ полученных данных позволил определить наиболее энергоемкие производства ПП УВС и дать оценку потенциалу повышения их эффективности, а также эффекта от интеграции внутреннего источника энергообеспечения с комплексной утилизацией производственных отходов и выработкой ЭР.

Для действующего отечественного предприятия переработки нефти топливно-масляного профиля в 8 млн т в год предложено технико-экономическое обоснование собственного источника энергообеспечения на базе ПГУ-ТЭЦ электрической мощностью 28 МВт, тепловой мощностью 31,4 Гкал/час.

Основные показатели эффективности инвестиционного проекта реализации внутреннего источника энергообеспечения в структуре ЭК ПП УВС в сопоставлении с базовым вариантом энергообеспечения (потребление от внешних источников) показаны в таблице 2.

Таблица 2 – Основные технико-экономические показатели собственного источника

Технико-экономический показатель	Размерность	Значение
Мощность		
- электрическая	МВт	28
- тепловая	Гкал/час	31,4
Индекс энергоэффективности (по использованию отдельных видов ЭР)		
- энергопотребления		1,21
- водопотребления		1,102
- водоотведения		1,02
Интегральный эффект (за 10 лет)	Млн долл.	51,2
Срок окупаемости	Лет	4,8

Предложенные критерии позволили оценить существующий уровень и технологическое совершенство энергопотребления, а также дать технико-экономическую оценку эффективности внедрения внутреннего источника энергообеспечения (рисунок 1). Кроме эффекта от собственной генерации ЭР, общее повышение энергоэффективности, сокращение удельного топливопотребления достигаются за счет использования низкопотенциальных углеводородных газов и промышленных стоков в блоке термической утилизации (БТУ), использования в качестве топлива синтез-газа, вырабатываемого в блоке газификации (ГФ), утилизации теплоты дымовых газов в котле-утилизаторе, снижения экологических выплат в связи с отсутствием необходимости захоронения отходов высокого класса опасности. Полученные данные позволяют утверждать, что предлагаемая схема является экономически целесообразной.

Литература

1. Skufina T. Production Function in the Specifics of Producing Gross Regional Product of Russian Federation / T. Skufina, S. Baranov, T. Shatalova and V. Samarina // Mediterranean Journal of Social Sciences. 2015. Vol. 6. P. 265–270.
2. Gossen L.P. Environmental problems of sustainable management of oil and gas resources and production of high-quality petroleum products / L.P. Gossen, L.M. Velichkina // Petroleum Chemistry. 2012. Т. 52. № 2. С. 154–158.
3. Kulbyakina A.V. Thermodynamic analysis of the hydrocarbons processing plants fuel supply systems efficiency / A.V. Kulbyakina, N.A. Ozerov, P.A. Batrakov // IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series 1210 (2019) 012074. doi:10.1088/1742-6596/1210/1/012074.