

УДК 658.26

АНАЛИЗ СТРУКТУРЫ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ ПЕРЕРАБОТКИ НЕФТИ

А.В. Кульбякина, Н.А. Озеров, В.Н. Осипов, А.И. Савельева, А.П. Муни

Проведен анализ систем теплоснабжения энергетического комплекса нефтеперерабатывающих предприятий. Рассмотрены параметры используемых теплоносителей, определены источники генерации и направления потребления теплоты. Установлены показатели абсолютного и удельного потребления тепловой энергии основными технологическими процессами и производствами, выделены наиболее энергоемкие из них. Показаны основные источники и типы тепловых вторичных энергетических ресурсов. Установлено, что одним из перспективных направлений повышения эффективности предприятий переработки нефти является оптимизация структуры системы теплоснабжения, а также организация энерготехнологических схем с комплексной утилизацией вторичных энергетических ресурсов.

Ключевые слова: нефтеперерабатывающие предприятия; энергетический комплекс; система теплоснабжения; энергетические ресурсы; вторичные энергетические ресурсы.

МУҢАЙДЫ КАЙРА ИШТЕТҮҮЧҮ ИШКАНАЛАРДЫН ЖЫЛУУЛУК БЕРҮҮ СИСТЕМАСЫНЫН ТҮЗҮМҮНӨ ТАЛДОО ЖҮРГҮЗҮҮ

А.В. Кульбякина, Н.А. Озеров, В.Н. Осипов, А.И. Савельева, А.П. Муни

Бул макалада муңайды кайра иштетүүчү ишканалардын энергетикалык комплексинин жылуулук берүү системасына талдоо жүргүзүлгөн. Колдонулуучу жылуулук берүүчү системалардын параметрлери каралды, жылуулук берүүчү булактар жана жылуулук энергиясын керектөө багыты аныкталды. Негизги технологиялык процесстер жана өндүрүштөр тарабынан жылуулук энергиясын колдонуунун абсолюттук көрсөткүчтөрү жана конкреттүү керектөөлөрү белгиленди, алардын ичинен эң көп энергия сыйымдуусу бөлүп көрсөтүлдү. Экинчи маанидеги жылуулук энергетикалык ресурстарынын негизги булактары жана түрлөрү көрсөтүлдү. Муңайды кайра иштетүүчү ишканалардын натыйжалуулугун жогорулатуунун артыкчылыктуу багыттарынын бири жылуулук менен жабдуу системасын оптималдаштыруу, ошондой эле экинчи маанидеги энергетикалык ресурстарды комплекстүү керек жаратуу менен энергетикалык технологиялык схемаларды уюштуруу экендиги белгиленди.

Түйүндүү сөздөр: муңайды кайра иштетүүчү ишканалар; энергетикалык комплекс; жылуулук менен жабдуу системасы; энергетикалык ресурстар; экинчи маанидеги энергетикалык ресурстар.

ANALYSIS OF THE HEAT SUPPLY SYSTEM STRUCTURE OF OIL REFINING ENTERPRISES

A. V. Kulbyakina, N. A. Ozerov, V. N. Osipov, A. I. Savelyeva, A. P. Munin

The article is devoted to the analysis of heat supply systems of the energy complex of oil refineries. The parameters of the used heat carriers, sources of generation and purposes of use are considered. The most energy-intensive production and technological processes have been identified and analyzed in terms of absolute and specific consumption of heat energy. The main sources and types of thermal secondary energy resources are given. It has been established that one of the promising directions for increasing the efficiency of oil refining enterprises is the optimization of the structure of the heat supply system, as well as the organization of energy technology schemes with the integrated utilization of secondary energy resources.

Keywords: oil refineries; energy complex; heat supply; energy resources; secondary energy resources.

Нефтеперерабатывающие заводы (НПЗ) – представляют собой сложные химико-технологические комплексы, состоящие из большого количества основных технологических производств, состав которых зависит от профиля предприятия и вспомогательных процессов, обеспечивающих непрерывный процесс производства широкой линейки товарных продуктов. Все технологические процессы, протекающие на НПЗ, характеризуются высоким уровнем потребления материальных и энергетических ресурсов (ЭР), кроме этого для НПЗ стран СНГ характерно повышенное, более чем в два раза энергопотребление, по сравнению с ведущими странами мира [1]. По различным оценкам, вклад энергетической составляющей в себестоимости отдельных категорий товарной продукции, достигает 50 % [2].

Необходимость модернизации топливно-энергетического комплекса и повышение эффективности функционирования нефтегазового комплекса в условиях жесткой конкуренции на мировых рынках сбыта ЭР, подтверждена на государственном уровне [3, 4]. Общеизвестными направлениями развития нефтеперерабатывающей отрасли являются: увеличение глубины переработки исходного углеводородного сырья, увеличение процента вторичных процессов переработки, повышение качества товарных продуктов. Подобная реконструкция действующих НПЗ приводит к увеличению удельного и абсолютного потребления всех видов ЭР, это в совокупности с изначальным завышенным энергопотреблением и увеличением нагрузки на окружающую среду, ставит предприятия отрасли в сложное положение [5].

В то же время большая часть нефтеперерабатывающих предприятий располагают широким спектром возможностей повышения энерго- и ресурсоэффективности основных и вспомогательных процессов. Общепринятые направления (обновление основного и вспомогательного оборудования, оптимизация технологических процессов) должны сочетаться с внедрением инновационных подходов и схем, направленных на организацию максимально замкнутых технологических циклов, с комплексной утилизацией всех видов производственных вторичных ресурсов (ВЭР). Большой потенциал повышения эффективности заключен в оптимизации энергетического комплекса (ЭК) НПЗ, подсистемы которого служат для надежного и непрерывного снабжения технологических процессов, требуемых ЭР: топливо, тепловая энергия, электрическая, энергия, вода, сжатый воздух и др. Из перечисленных видов ЭР для НПЗ первичными являются: топливо, тепловая и электрическая энергия.

В результате проведенного анализа с использованием информации доступной в открытой печати, нормативной и эксплуатационной документации [6, 7], были посчитаны средние годовые энергобалансы для НПЗ и предприятий переработки газа (ГПП) по всем первичным ЭР, приведенные в таблице 1.

Таблица 1 – Доля ЭР в общем потреблении на НПЗ и ГПП

Объект	Топливо, %	Тепловая энергия, %	Электрическая энергия, %
НПЗ	64	20	16
ГПП	46	37	17

Приведенные в таблице данные демонстрируют распределение потребления первичных ЭР энергетическим комплексом (ЭК), технологической системой (ТС) и другими вспомогательными системами предприятия. В структуре общего потребления ЭР большая часть приходится на углеводородное топливо (40–70 %). Высоким процентом характеризуется и потребление тепловой энергии. В отличие от предыдущих первичных ЭР, потребление электроэнергии в процентном соотношении относительно невелико (не более 20 %), однако именно этот вид ЭР является, как правило, полностью внешним ЭР.

Для выработки, распределения и надежного снабжения производств НПЗ всеми требуемыми ЭР заданного качества, используются соответствующие подсистемы ЭК – теплоснабжения, топливной и электроснабжения. Для объектов переработки углеводородного сырья – нефти, газа, газового конденсата, в настоящее время наиболее значимо обеспечение высокого уровня надежности и бесперебойности снабжения технологических производств, требуемых ЭР в заданных объемах. Поэтому проекты по строительству или модернизации внутрипроизводственных источников энергоснабжения являются весьма востребованными [8].

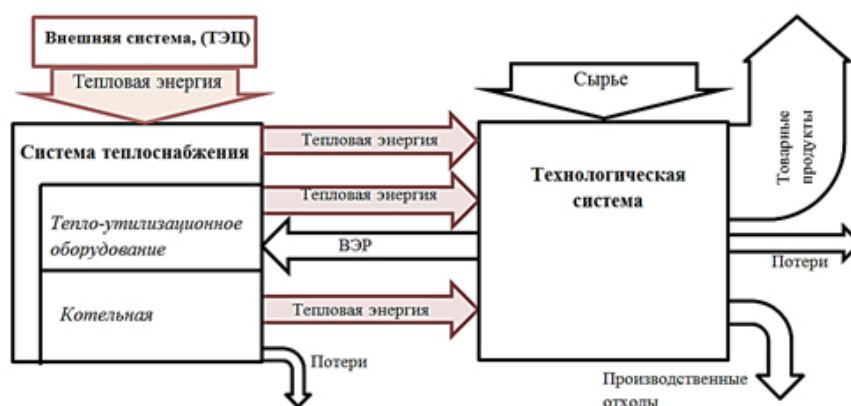


Рисунок 1 – Схема взаимосвязи системы теплоснабжения с ТС НПЗ

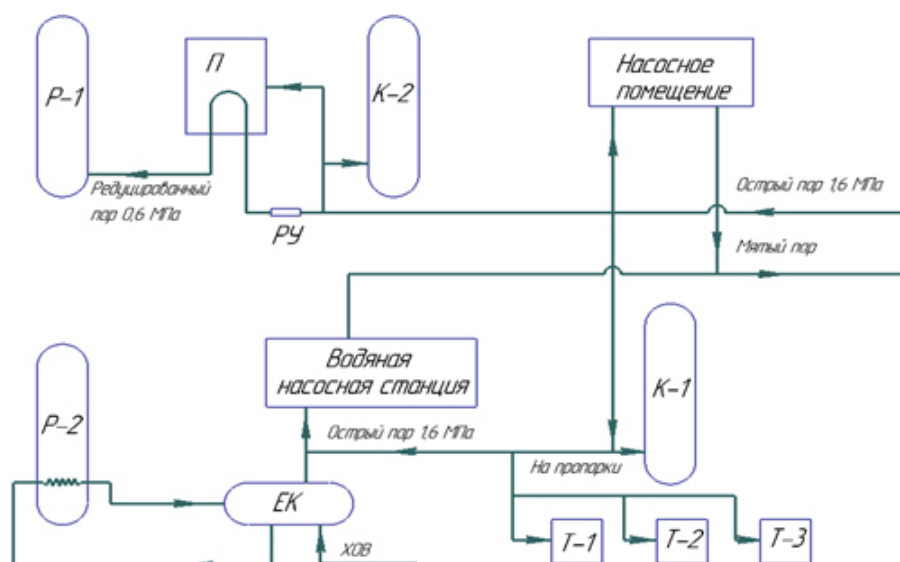


Рисунок 2 – Тепловая схема установки каталитического крекинга:
P – реактор, *П* – печь, *K* – колонна, *T* – теплообменник, *ЕК* – конденсатная емкость,
PV – редуцирующее устройство, *ХОВ* – вода после системы химочистки

Система теплоснабжения НПЗ может включать в себя производственную котельную и теплоутилизационное оборудование, сюда же направляется тепловая энергия от внешней системы. На рисунке 1 приведена схема ее взаимосвязей с ТС.

Приведенная схема иллюстрирует структуру связей теплоэнергетической системы с ТС за счет потоков, как тепловой энергии, так и потоков ВЭР с производства. Кроме того, большим потенциалом использования обладают производственные отходы, многие из которых после необходимой подготовки, могут быть полезно использованы.

Рассмотрим пример тепловой схемы процесса каталитического крекинга, приведенной на рисунке 2.

К тепловым ЭР в приведенной схеме относятся: острый пар (1,6 МПа), редуцированный пар (0,6 МПа), отработанный (мятый) пар. Острый пар подается для обеспечения технологического

процесса в колонны К-1, К-2, он же используется в качестве греющего теплоносителя в теплообменниках Т-1, Т-2, Т-3, подается в емкость конденсата ЕК и используется в насосном оборудовании. При необходимости острый пар может быть редуцирован в РУ до более низких параметров, с целью использования в технологических процессах, протекающих в реакторах Р-1, Р-2. Кроме того, что установка является потребителем тепловой энергии на собственной нужды, здесь же может происходить выработка пара за счет полезного использования теплоты реакции в реакторе Р-2. Вырабатываемый на установке пар может быть использован как непосредственно на месте, так и сброшен в заводской коллектор пара подходящего давления.

Таким образом, обеспечение НПЗ, ГПЗ тепловой энергии осуществляется не только посредством закупки тепловых ЭР от сторонних источников, чаще всего ТЭЦ, но и за счет внутренней генерации в энерготехнологическом, теплоутилизационном оборудовании, производственных котельных.

Потребление тепловой энергии на НПЗ достигает значительных величин – в течение часа расходуется более 500 т водяного пара. Доля собственной генерации тепловой энергии рознится в зависимости от технологической схемы предприятия, однако достигает достаточно высоких показателей. Для Астраханского ГПП доля покрытия теплового потребления за счет собственной генерации доходит до 80 % [9]. Большие значения внутрипроизводственной выработки тепловой энергии характерны и для производств первичной переработки нефти, так для ЭЛОУ-АВТ 48 кг пара (1 МПа) из 49,1 (на 1 т исходного сырья) генерируется за счет внутренних источников. Максимальное использование располагаемых тепловых ВЭР, позволило бы обеспечить 70–80 % от требуемого объема потребления тепловой энергии.

Целесообразность генерации тепловых ЭР за счет использования производственных ВЭР подтверждается как экономическими показателями, так и показателями надежности энергообеспечения. В то же время увеличение собственной генерации тепловых ЭР может быть достигнуто не только путем пуска новых мощностей теплоутилизационного оборудования и строительства котельных, но и устранением потерь, выбором оптимальной схемы системы теплоснабжения.

Для НПЗ характерно наличие большого количества тепловых ВЭР. Высокотемпературные уходящие газы технологических печей производств переработки нефти, а также получения серной кислоты методом «мокрого» катализа имеют температурный уровень 300–400 °С, и практически полностью используются в котлах утилизаторах. На ГПП перерабатывающих высокосернистое сырье, большой энергетический потенциал сосредоточен в тепловых потоках экзотермической реакции получения серы [9]. К ВЭР относится также физическая теплота потоков продукции, за исключением тех, что возвращаются в установку-источник ВЭР.

В количественном соотношении наибольший потенциал характерен для низкотемпературных ВЭР (тепловые технологические потоки), которые до настоящего времени используются в меньшей степени, их распределение приведено в таблице 2.

Усредненная мощность ВЭР, в зависимости от температурного диапазона для предприятий нефтеперерабатывающей и нефтехимической отрасли, приведены на рисунке 3 [6, 7, 10].

Одним из факторов ограниченного использования низкотемпературных ВЭР является то, что многие из них представляют собой химически агрессивные технологические потоки. Однако при должном подходе их можно успешно использовать в системах комбинированной выработки холода, теплофикации и горячего водоснабжения, подготовки питьевой воды.

Структура потребления тепловой энергии на НПЗ весьма разнообразна и связана не только с сопровождением технологических процессов переработки нефти, но используется также для обеспечения функционирования системы пароспутников, теплофикационных целях. Основные направления использования тепловой энергии (в виде пара), ее параметры и источники приведены в таблице 3.

Таблица 2 – Тепловая мощность ВЭР

	Тепловая мощность, МВт
Высокотемпературные ВЭР (400–900 °С)	До 2300 МВт
Низкотемпературные ВЭР (80–150 °С)	До 1600 МВт



Рисунок 3 – Распределение неиспользуемых ВЭР на предприятиях нефтехимической и нефтеперерабатывающей отраслей

Таблица 3 – Параметры пара используемого на НПЗ

Тепловая энергия	Источник	Потребители
Пар высокого давления 220–235 °С 2,0–4,0 МПа	ТЭЦ, котельная (производственная котельная), котлы-утилизаторы	Технологические цели; нагрев нефтепродуктов выше 160 °С; турбинный привод компрессоров
Пар среднего давления 190–300 °С 1,0–1,6 МПа	ТЭЦ, котельная (производственная котельная), котлы-утилизаторы, расширители конденсата	Технологические цели; нагрев нефтепродуктов выше 80 °С; привод насосов вязких нефтепродуктов; обогрев трубопроводов с высоковязкими нефтепродуктами; пароушение
Пар низкого давления 190–300 °С 1,0–1,6 МПа	ТЭЦ, котельная (производственная котельная), котлы-утилизаторы, расширители конденсата, редуцированный пар среднего давления	Технологические цели; горячее водоснабжение; пароушение

На рисунках 4 и 5 приведены годовые графики потребления тепловой энергии основными наиболее энергоемкими производствами НПЗ по уровню удельного и абсолютного энергопотребления. Наибольшие показатели абсолютного потребления тепловой энергии, как правило, характерны для установок с большой производительностью, высокие удельные показатели характерны для сложных вторичных процессов переработки сырья. Годовые графики носят неравномерный характер, что определяется и эколого-климатическими условиями и характерными показателями ведения технологических процессов, которые могут варьироваться в зависимости от качества исходного сырья.

Характер графиков на рисунках 4 и 5 (максимальные и минимальные значения потребления тепловой энергии) обусловлен проведением капитального ремонта на предприятии и снижением мощностей переработки сырья до минимальных значений. Резкий спад мощности переработки приводит к соответствующему снижению показателей абсолютного энергопотребления (потребления тепла

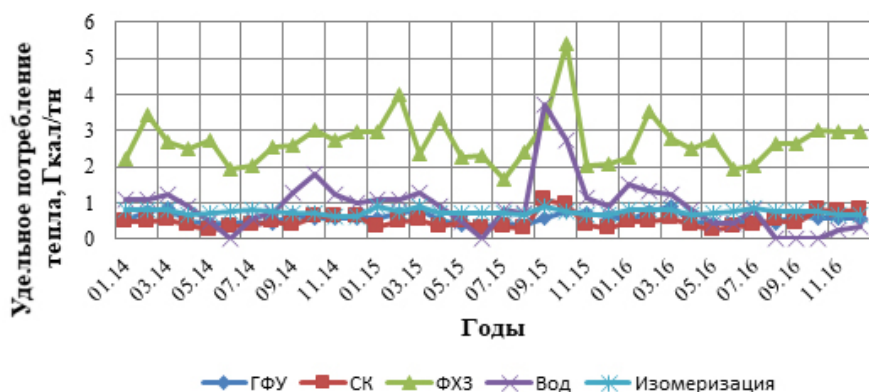


Рисунок 4 – Удельное потребление тепла на производствах НПЗ:
 ГФУ – газофракционирующая установка; СК – производство серной кислоты;
 ФХЗ – факельное хозяйство завода; Вод – водородная; *–*– изомеризация

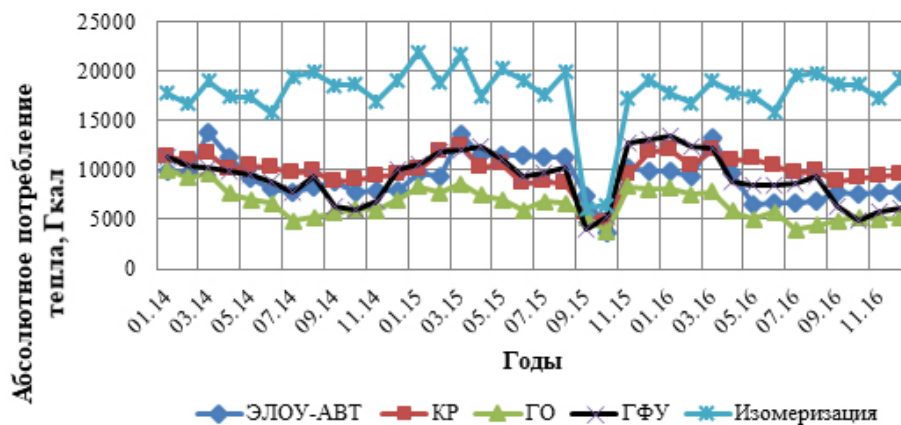


Рисунок 5 – Абсолютное потребление тепла на производствах НПЗ:
 ЭЛОУ-АВТ – первичная (атмосферно-вакуумная) переработка нефти;
 КР – каталитический риформинг; ГО – гидроочистка;
 ГФУ – газофракционирующая установка; *–*– изомеризация

на технологические нужды), однако вспомогательные системы (система пароспутников, теплофикационная система и др.) продолжают функционировать, вызывая резкий скачок удельного потребления тепловой энергии.

Таким образом, можно сделать вывод, что структура потребления тепловой энергии на нефтеперерабатывающих, нефтехимических, газоперерабатывающих предприятиях является сложнструктурированной, обусловленной как разными источниками генерации, так и различными направлениями использования тепловой энергии. Также определена структура системы теплоснабжения и характер ее связей с внешними источниками энергообеспечения, ТС, ЭК предприятия. Рассмотрена структура производства и потребления тепловой энергии, в зависимости от ее параметров.

Проведенный анализ позволил сделать вывод о том, что одними из наиболее перспективных направлений повышения эффективности НПЗ действующих на территории НПЗ являются:

1. Создание и модернизация внутрипроизводственных источников энергообеспечения НПЗ, позволяющих максимально сократить долю потребления ЭР от внешних систем энергообеспечения.

2. Полное использование производственных ВЭР, где особое внимание стоит уделить тем ВЭР, которые до настоящего времени практически не используются.

3. Разработка и внедрение инновационных энерготехнологических схем с возможностью комплексного использования ВЭР и производственных отходов с выработкой собственных ЭР.

Экономическая целесообразность инвестиционных проектов создания внутрипроизводственных источников энергообеспечения подтверждается рассчитанными технико-экономическими показателями подобных схем. В качестве таких показателей были приняты интегральные показатели эффективности (чистый дисконтированный доход, индекс доходности, срок окупаемости).

Технико-экономические показатели собственных источников энергообеспечения для установки первичной переработки нефти (мощность 3 млн т/год) и установки термического крекинга приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Технико-экономические показатели собственных источников энергообеспечения

Показатель	Производство	
	Первичная переработка	Термический крекинг
Мощность	3 млн т/год	1 млн т/год
Состав энергооборудования	Газовая турбина ГТЭ-6у; котел-утилизатор КУ-42 ТКЗ; паровая турбина Р-2, 7-4, 5/0,6 КТЗ	Газотурбинная энергосиловая установка ГТЭС-2,5; котел-утилизатор Г-250; турбина приводная конденсационная К-2,5-3
Интегральный эффект (за 10 лет)	12,8 млн долл.	5,039 млн долл.
Индекс доходности	1,286 долл./долл.	1,191 долл./долл.
Срок окупаемости	Не более 5 лет	Не более 4 лет

Приведенные данные подтверждают целесообразность предложенных схем энергообеспечения с комплексным использованием ВЭР.

Литература

1. Levinbuk M.I. Strategic priorities of the Russian oil and gas complex / M.I. Levinbuk, S.D. Netesanov, A.A. Lebedev, A.V. Borodacheva, E.V. Sizova // Petroleum Chemistry. 2007. Т. 47. № 4. С. 230–244.
2. Миркин А.З. Энергосбережение на НПЗ / А.З. Миркин, Г.С. Яицких, А.В. Краснов, В.Г. Яицких // Oil&Gas Journal Russia. № 11 (77). 2013. С. 72–75.
3. Федеральный закон от 23.11. 2009 г. № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».
4. Государственная программа Российской Федерации от 27.12. 2010 г. № 2446-р «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности на период до 2020 года».
5. 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.
6. Официальный сайт «Роснефть». Годовой отчет – 2017. URL: https://www.rosneft.ru/upload/site1/document_file/a_report_2019.pdf (дата обращения: 05.12.2020).
7. Официальный сайт «Газпром нефть». URL: <http://ir.gazprom-neft.ru/novosti-i-otchety/godovye-otchety/> (дата обращения: 05.12.2020).
8. Kulbjakina A.V. Methodological aspects of fuel performance system analysis at raw hydrocarbon processing plants. IOP Conf. Series / A.V. Kulbjakina and I.V. Dolotowsky // Journal of Physics: Conf. Series 944 (2017) 012068.
9. Ларин Е.А. Энергетический комплекс газоперерабатывающих предприятий. Системный анализ, моделирование, нормирование / Е.А. Ларин, И.В. Долотовский, Н.В. Долотовская. М.: Энергоатомиздат, 2008. 440 с.
10. Энергосбережение в химических производствах: сборник научных трудов / под ред. С.С. Кутателадзе, Б.И. Псахиса. Новосибирск, 1996. 140 с.