

УДК 621-313.3

КУЛЬБЯКИНА А.В., к.т.н., доцент (СГТУ имени Гагарина Ю.А.);
МУНИН А.П., аспирант кафедры «Тепловая и атомная энергетика имени А.И.
Андрющенко» (СГТУ имени Гагарина Ю.А.);
МОРОЗОВ Н.А., магистрант кафедры «Промышленная теплотехника» (СГТУ
имени Гагарина Ю.А.)
г. Саратов

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЙ ПЕРЕРАБОТКИ НЕФТИ

Одним из актуальных направлений развития современных промышленных предприятий является переход на малоотходные и безотходные технологии [1]. Малоотходные технологии являются переходным этапом к безотходным производствам, которые подразумевают не только максимальную возможную комплексную переработку исходного сырья, но и высокую эффективность использования воды, а также топливно-энергетических ресурсов (ТЭР). Эти термины использовались еще со второй половины прошлого столетия, однако с начала XXI века приобрели дополнительный смысл, связанный не только с технико-экономической эффективностью промышленного производства, но и с сокращением негативного влияния на окружающую среду.

Внедрение данных технологий кажется особенно актуальным для предприятий нефтегазовой отрасли, — в частности, для предприятий по переработке нефти (НПЗ). Здесь следует выделить сразу два важных аспекта: во-первых, крупные НПЗ располагаются в густонаселенных промышленных районах РФ [2]; во-вторых, по уровню потребления первичных энергетических ресурсов (ЭР, среди которых — топливо, электрическая энергия, тепловая энергия) нефтепереработка занимает ведущее место среди всех отраслей промышленности. Даже наиболее современные НПЗ помимо материальных отходов, промышленных выбросов и сбросов характеризуются относительно невысоким коэффициентом использования ЭР, что приводит как к экологическому, так и к экономическому ущербу [3-4].

К основным вредным веществам, образующимся в процессе функционирования НПЗ и оказывающим негативное воздействие на атмосферу, относятся предельные углеводороды, оксиды углерода и азота, сернистые соединения, фенол, аммиак и целый ряд канцерогенов. В таблице 1 приведены основные источники вредных веществ, попадающих в атмосферу [5-8].

Таблица 1. Вещества, поступающие в атмосферу с выбросами НПЗ

Источники загрязнения атмосферы	Выбрасываемые в атмосферу вещества
Резервуарный парк	Углеводороды, сероводород
Сливно-наливные и очистные сооружения	Углеводороды, сероводород
Дымовые трубы	Оксиды углерода, азота, серы
Факельные системы	Углеводороды, оксиды углерода, азота, серы
Негерметичность оборудования	Углеводороды
Выбросы на установках:	
- Первичная переработка	Углеводороды, сероводород
- Каталитический крекинг	Углероды, оксиды углерода, серы, мелкодисперсные частицы катализатора
- Сернокислотная очистка парафинов, масел	Сернистые соединения
- Производство битумов	Углеводороды, оксиды углерода, вода, канцерогенные вещества

Большая часть выбросов приходится на углеводороды (68-72%), оксиды серы (12-16%), оксиды азота (1-2,5%) и оксиды углерода (12-18%). Именно эти вещества создают повышенный фон загрязнения атмосферы в местах расположения НПЗ.

Характер и степень негативного воздействия сточных вод на гидросферу и литосферу сточными водами зависит от степени влияния ряда технологических (перерабатываемое сырье, технологическая топология предприятия, состав и режим работы основного и вспомогательного оборудования) и экологоклиматических факторов (регион расположения объекта, суточные и годовые температурные графики). В таблице 2 приведены годовые усредненные объемы загрязненных стоков в зависимости от профиля НПЗ. Расход воды для технологических целей возрастает с повышением глубины переработки сырья.

Таблица 2. Вещества, поступающие в гидросферу со сбросами НПЗ

Усредненное удельное количество сточных вод м³ на 1 т. перерабатываемого сырья*	Профиль НПЗ		
	Топливный	Топливно-масляный	Нефтехимический
Всего	1,53/1,206	1,82/1,5	2,49/2,099
Нефтесодержащих нейтральных	0,72/0,72	0,9/0,9	1,46/1,35
Нефтесодержащих (соленых)	0,52/0,408	0,63/0,567	0,74/0,706
Сернисто-щелочных	0,008/0,05	0,008/0,005	0,008/0,005
Нефтесодержащих	0,252/-	0,252/-	0,252/-
Карбамидных	0,022/0,022	0,022/0,022	0,022/0,022
Прочие, содержащие органические вещества	0,007/0,005	0,008/0,006	0,007/0,006
Содержащих этилированный бензин	0,001/0,001	-	0,001/0,01

*Примечание – фактическое значение/нормативное значение

Значительное содержание в сточных водах продуктов переработки нефти (как товарных, так и промежуточных) также является серьезной проблемой. Безвозвратные потери нефти и нефтепродуктов в среднем могут достигать 1-2% от перерабатываемой нефти. Данная ситуация является негативной одновременно и с экологической, и с экономической точек зрения.

Таким образом, перед отраслью в данный момент стоит комплексная задача, связанная со снижением нагрузки на экологию посредством повышения эффективности использования ЭР. Наиболее актуальным направлением развития современной нефтепереработки, связанным с решением вопросов экологической безопасности, бережного использования сырьевых и энергетических ресурсов, а также глубокой утилизации вторичных энергетических ресурсов (ВЭР), является создание безотходных или малоотходных схем на основе замкнутых технологических производственных циклов.

Отечественные и зарубежные авторы выделяют следующие подходы для достижения этой цели [9-14]: комплексное использование и глубокая переработка сырья с применением ресурсосберегающих технологий, а также снижением удельного потребления сырья, ЭР и реагентов на единицу продукции; оптимизация использования ТЭР за счет увеличения мощностей, энерго-технологическое комбинирование, переход на непрерывные технологии; проектирование и внедрение малоотходных технологических процессов; проектирование и внедрение замкнутых систем водопользования; обеспечение высокой эксплуатационной надежности; обеспечение высокого качества товарных продуктов; использование альтернативных источников сырья и энергии.

На основании отраслевой проблематики, а также данных, полученных авторами в ходе аналитических исследований [15, 16], была предложена и запатентована установка энергообеспечения с комплексной утилизацией отходов [17] (см. рис. 1).

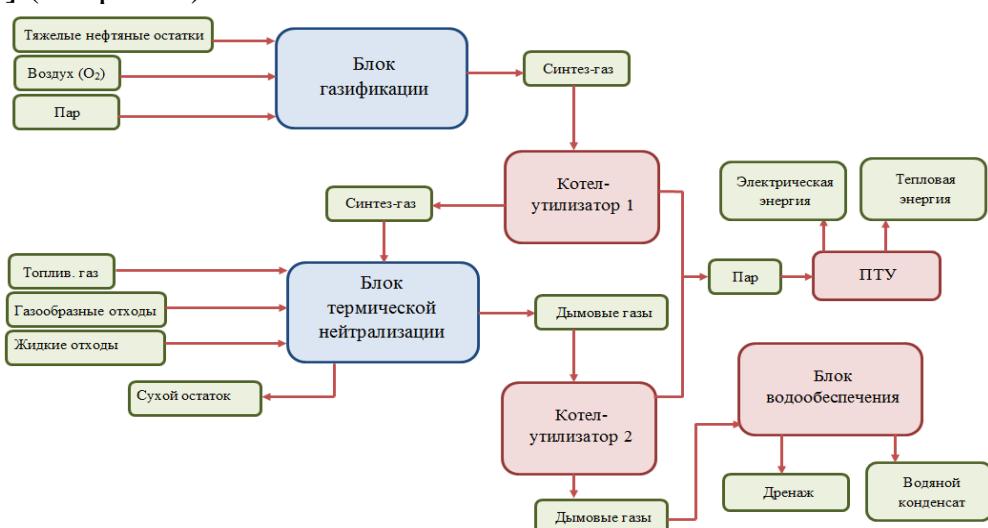


Рисунок 1. Принципиальная схема установки энергообеспечения предприятий нефтегазовой отрасли

Предложенная схема осуществляет комплексную выработку тепловой и электрической энергии, водоснабжения, утилизации промышленных отходов и стоков. Блочный принцип позволяет адаптировать предложенную схему к конкретной технологической топологии объекта и режимам его функционирования. Так, при необходимости может быть добавлен блок выработки холода, а также скорректированы параметры вырабатываемой тепловой энергии.

На основании предложенной авторами системы показателей эффективности [18] была проведена сравнительная оценка эффективности интеграции схемы [17] с установкой первичной переработки нефти действующего отечественного НПЗ топливного профиля. Для установки первичной переработки нефти производительностью 3000 тыс. т/год в качестве базового варианта энергообеспечения рассмотрена газовая турбина ГТЭ-6у, котел-utiлизатор КУ-42 ТКЗ и турбина паровая с противодавлением Р-2,7-4,5/0,6 КТЗ:

Мощность, МВт:

– электрическая	9,2
– тепловая	14,2
Расход топлива, т у. т./ч	2,844
Индекс доходности доллар/доллар	1,286
Интегральный эффект (за 10 лет), млн. долларов.	12,74
Срок окупаемости, лет	Не более 5

Помимо приведённых данных, по укрупненным предварительным расчетам удалось установить сокращение удельного потребления топливного газа на 27-42 % по отдельным производствам, а также минимизацию потребления воды на технологические нужды.

Таким образом, на основании проведенного анализа вредных веществ, попадающих в окружающую среду со сбросами и выбросами НПЗ, а также обзора перспективных направлений и подходов к повышению экологической и энергетической эффективности, в работе предложена схема с комплексной выработкой ЭР и утилизацией стоков, эффективность которой подтверждается технико-экономическими расчетами.

Список литературы:

- Глаголева О.Ф., Пискунов И.В. Энергосбережение - приоритетная задача современной нефтегазопереработки // Деловой журнал Neftegaz.ru. - 2021. - №1. - С.32-35.
- Васильев, А. В. Анализ и оценка загрязнения биосфера при воздействии нефтесодержащих отходов / А. В. Васильев. – Самара : Издательство Самарского федерального исследовательского центра РАН, 2022. – 106 с. – ISBN 978-5-93424-886-5. – EDN IRKIWC.
- Федюхин А.В., Звончевский А.Г. Перспективные направления использования теплоты низкопотенциальных источников химических

- производств. Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2022;24(3):15-27.
4. Таймаров М.А., Ильин В.К., Осипов А.Л., Долгова А.Н., Ахмеров А.В. Теплонасосный комплекс для утилизации вторичных энергоресурсов нефтехимических заводов. Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2019;21(3-4):7-14.
5. Филиппов В.Н., Хлесткин Р.Н. Нефтепереработка и нефтехимия Башкортостана в экологическом разрезе // Электронный научный журнал Нефтегазовое дело. 2005. № 2. С. 22.
6. Air quality assessment in a highly industrialized area of Mexico: Concentrations and sources of volatile organic compounds / E. Vega, G. Sánchez-Reyna, V. Mora-Perdomo et al. // Fuel. – 2011. – Vol. 90. – P. 3509–3520.
7. Increased incidence of allergic rhinitis, bronchitis and asthma, in children living near a petrochemical complex with SO₂ pollution / T. Y. Chiang, T. H. Yuan, R. H. Shie et al. // Environment International. – 2016. – Vol. 96. – P. 1–7.
8. Linking sources to early effects by profiling urine metabolome of residents living near oil refineries and coal-fired power plants / C. S. Chen, T. H. Yuan, R. H. Shie et al. // Environment International. – 2017. – Vol. 102. – P. 87–96.
9. White, D.C. Advanced automation technology reduces refinery energy costs // Oil and Gas Journal. – 2005. – Oct. 3. – Pp. 45-53.
10. Hampf, B. Cost and environmental efficiency of U.S. electricity generation: accounting for heterogeneous inputs and transportation costs // Energy. – 2018. – T. 163. – Pp. 932-941.
11. Yang, C. Y. Increased risk of preterm delivery among people living near the three oil refineries in Taiwan / C. Y. Yang, C. C. Chang, H. Y. Chuang et al. // Environment International. – 2004. – Vol. 30 (3). – P. 337–342.
12. Современное состояние и перспективы развития технологий ресурсосбережения ПАО «Газпром» Гадельшина А.Р., Китаев С.В., Галикеев А.Р. // Территория Нефтегаз. 2016. № 5. С. 88-91.
13. Год экологии в ООО «Газпром ПХГ»: это только начало. //Территория Нефтегаз. 2017. № 12. С. 78-80.
14. Gossen L.P., Velichkina L.M. Environmental problems of sustainable management of oil and gas resources and production of high-quality petroleum products. Petroleum Chemistry. 2012. Т. 52. № 2. С. 154-158.
15. A.V. Kulbjakina and I.V. Dolotowsky, Methodological aspects of fuel performance system analysis at raw hydrocarbon processing plants. IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series 944 (2017) 012068
16. Пат. №134993 РФ, МПК F01K 17/02. Установка электро-тепло-водоснабжения / Долотовский И.В., Ленькова А.В., Долотовская Н.В. – № 2013130457/06; заявл. 02.07.2013; опубл. 27.11.2013, Бюл. №33
17. Пат. №2713936 РФ, Патент об изобретении. Установка энергообеспечения с комплексной утилизацией отходов предприятий нефтегазового сектора / Кульбякина А.В., Озеров Н.А.; заявл. 06.12.2018; опубликован 11.02.2020.

18. A V Kulbyakina, N A Ozerov, P A Batrakov. Efficiency Evaluation of Oil and Gas Processing Plants Internal Power Supply Sources // AIP Conference Proceedings 2019 (Scopus <https://aip.scitation.org/doi/10.1063/1.5122066>)