

ЭКСЕРГЕТИЧЕСКИЙ ПИНЧ-АНАЛИЗ СИСТЕМЫ ТЕПЛООБМЕНА В ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ НЕФТИ

Е.А. Юшкова, В.А. Лебедев

Санкт-Петербургский горный университет, г. Санкт-Петербург, Россия

Статья посвящена вопросу термодинамической оптимизации установки первичной перегонки нефти одного из заводов России. Оптимизация осуществляется эксергетическим методом термодинамического анализа, который позволяет учитывать как количественные, так и качественные характеристики тепловых процессов. В исследовании используются принципы и правила пинч-анализа. Таким образом, в статье решается задача оптимизации системы теплообмена установки первичной переработки нефти с использованием метода пинч-анализа и эксергии. Целью статьи является повышение энергоэффективности за счет снижения эксергетических потерь в технологических процессах переработки нефти. Эксергетический пинч-анализ установки первичной перегонки нефти показал, что существующая система теплообмена не оптимальна. Далее предложены меры для оптимизации системы теплообмена установки. Эксергетический пинч-анализ позволяет более эффективно использовать энергию и ресурсы на НПЗ, что актуально на сегодняшний день.

Ключевые слова: энергоэффективность, эксергия, эксергетический анализ, тепловой баланс, эксергетический баланс, пинч-анализ.

Введение

В настоящее время сложился вполне разработанный подход к оценке энергетической эффективности технических систем. Этот подход базируется на известных методах термодинамического анализа – энергетическом, энтропийном и эксергетическом. Каждый из этих методов имеет известные достоинства, недостатки и ограничения.

Актуальность темы исследования

Энергетический (энтальпийный) метод оценки энергетической эффективности применялся на ранних этапах развития техники и технологий. Технологии не стоят на месте, но данный метод до сих пор используется в ЖКХ и промышленной энергетике. К тому же энтальпийный метод не отражает истинную ценность различных видов энергии и энергетических ресурсов [1, 2].

Более полную и объективную оценку различных видов энергии позволяет дать эксергетический подход, учитывающий качество энергии и ее способность к преобразованию в условиях функционирования исследуемого объекта [3, 4].

Обзор исследований авторов

Работы следующих авторов: Д.П. Гохштейн, В.М. Бродянский, Ю. Шаргут, Р. Петела, Б.С. Сажина, А.П. Булекова, А.И. Андрущенко, Ю.М. Рубинштейн, М.И. Щепетильникова и др. легли в основу теоретического эксергетического анализа [5–7].

В последнее время многие исследователи сосредоточились на анализе эксергии тепловых электростанций для оптимизации качества энергии.

А.Б. Богданов в статье [8] доказал, что применение понятий эксергии и анергии позволяет классифицировать качество тепловой и электрической энергии.

Tsatsaronis и Moung-Но [9] были первыми, кто разработал концепции предотвращаемого и неизбежного разрушения эксергии, которые были использованы для определения потенциала для улучшения термодинамических характеристик и экономической эффективности системы.

Многие современные ученые рассматривают термодинамические процессы, используя эксергетический анализ. Они получают хорошие результаты [10, 11].

При решении задач повышения энергоэффективности технических систем в первую очередь рассматриваются вопросы термодинамической оптимизации процессов, протекающих в элементах теплоэнергетического оборудования и в самих теплоэнергетических системах. Одним из наиболее эффективных методов параметрической оптимизации теплоэнергетических процессов является пинч-анализ или метод интеграции тепловых процессов [12, 13].

Теоретические основы в области интеграции тепловых процессов и пинч-анализа представлены в работах Б. Линнхоффа, Дж. Клемеша, Л.Л. Тобажнянского, Р. Смита, Л.М. Улиева, П.А. Капустенко и др.

Многие ученые проводили пинч-анализ установки первичной перегонки нефти и добивались успехов в своих исследованиях [14].

Но одним из основных ограничений пинч-метода является его ориентация на энтальпийный подход к анализу и оптимизации тепловых потоков в рассматриваемой системе.

Научная новизна

В связи с выше изложенным возникает необходимость разработки такого метода термодинамического анализа и совершенствования технических систем, который бы сочетал достоинства эксергетического метода и метода структурной и параметрической оптимизации тепловых процессов на основе пинч-анализа.

Жуан Рашиди и Д.С. Агапов исследовали системы с помощью эксергетического и пинч-анализа [15, 16]. Но никто еще не пытался объединить эти два метода в один.

Постановка задачи исследования

В данной статье проводится пинч-анализ установки при помощи эксергии (вместо энтальпии), которая может оценить потенциал тепловых потоков и показывает зависимость энергии тепловых потоков от температуры окружающей среды [17, 18].

Теоретическая часть.

Основные расчетные зависимости

Для определения эксергии можно воспользоваться формулой [19]:

$$\Delta Ex = C_p \cdot M \cdot \left[T_1 - T_2 - T_0 \cdot \ln \frac{T_1}{T_2} \right], \quad (1)$$

где C_p – удельная теплоемкость вещества потока при постоянном давлении, Дж/(кг·К); M – массовый расход

вещества потока, кг/с; T_1, T_2 – температуры теплоносителя соответственно в подающем и обратном трубопроводах, К; T_0 – температура окружающей среды, К.

Анализ системы теплообмена установки

Для первичной переработки нефти используется установка ЭЛОУ–АТ–6. В установке производится комбинирование блоков подготовки нефти к переработке (ЭЛОУ), первичной перегонки нефти (АТ) [20].

Установка состоит:

- 1) из ректификационной колонны;
- 2) печи для подогрева нефти;
- 3) теплообменного ряда, который необходим для подогрева сырой нефти за счет тепла отходящих продуктовых фракций;
- 4) концевых аппаратов воздушного охлаждения (АВО);
- 5) блока ЭЛОУ; насосного оборудования.

На установке вырабатываются следующие нефтепродукты: углеводородный (жирный) газ, сжиженный газ, фракция НК – 62 °С, фракция бензиновая прямогонная 105–180 °С, фракция 180–240 °С, фракция 240–350 °С, мазут прямогонный. Дизельные фракции с атмосферного блока установок АТ–6 после их гидроочистки могут быть широко использованы в качестве компонентов товарных дизельных и судовых топлив, в том числе дистиллятных [21] и остаточных марок [22].

Методология проведения исследований

В первом этапе оптимизации необходимо определить эффективность существующей системы теплообмена. Данные тепловых потоков представлены в табл. 1.

Таблица 1

Данные тепловых потоков установки переработки нефти

Поток	Начальная температура, °С	Конечная температура, °С	Массовый расход, кг/с	Удельная теплоемкость, кДж/кг·°С	Эксергия, МВт	Энтальпия, МВт
Нефть до ЭЛОУ (Холодный поток 1)	14	119	257,06	1,8	–9,2	–48,58
Нефть после ЭЛОУ (Холодный поток 2)	119	243,8	242,84	2,23	–26,72	–67,58
ДТ из К-7 (Горячий поток 1)	257	62,5	57,56	2,77	11,108	31,01
Керосин из К-6 (Горячий поток 2)	137	57,8	27,21	2,52	1,413	5,43
Мазут (Горячий поток 3)	355	81	136,38	3,15	50,48	117,71
2 ЦО К-2 (Горячий поток 4)	261	72,6	83,56	2,79	16,229	43,92
1 ЦО К-2 (Горячий поток 5)	109	74	161,44	2,26	3,198	12,77
Мазут из топливного кольца (Холодный поток 4)	100	121	1,87	2,25	–0,025	–0,088

Окончание табл. 1

Поток	Начальная температура, °С	Конечная температура, °С	Массовый расход, кг/с	Удельная теплоемкость, кДж/кг·°С	Эксергия, МВт	Энтальпия, МВт
Бензин из Е-1А (Холодный поток 5)	26,6	108	29,77	2,17	-1,019	-5,25
Фракция НК-62 (Горячий поток 6)	79	33	5,68	1,94	0,08	0,507
Фракция 62-105 (Горячий поток 7)	119	40	5,87	2,04	0,21	0,94
Фракция 105-180 (Горячий поток 8)	166	43	6,26	2,2	0,458	1,69

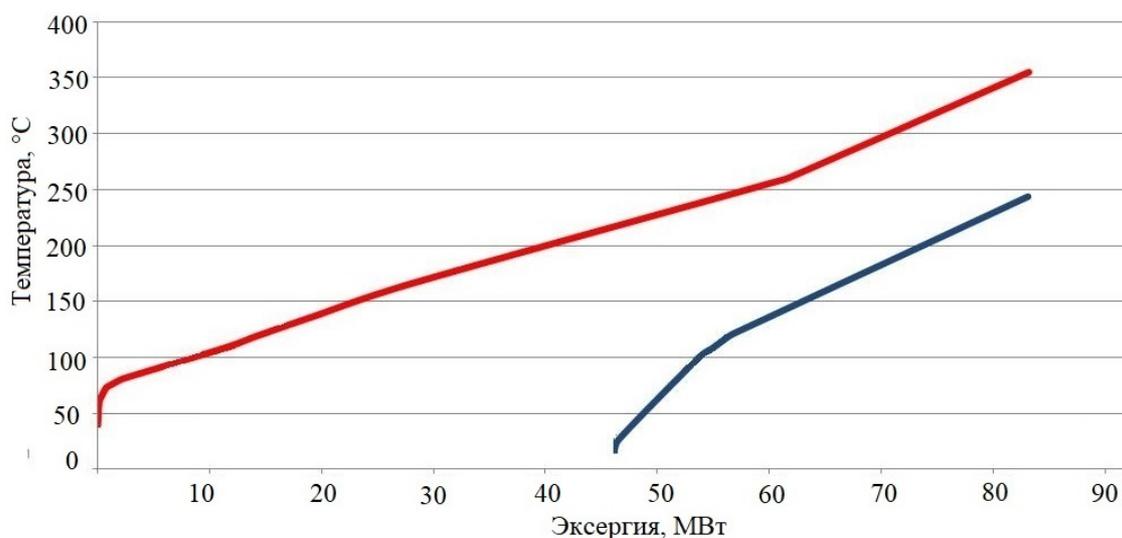


Рис. 1. Составные кривые существующей установки на графике «температура – эксергия»

Проанализировав рис. 1, можно сделать следующие утверждения.

1. $\Delta T_{\min} = 111,2$ °С, следовательно, есть возможность уменьшать ΔT_{\min} .

2. Из нижней части графика видно, что 46,22 МВт эксергии теряется.

Итак, эксергетический пинч-анализ выявил, что существующая схема теплообмена установки не оптимальна.

Система теплообмена имеет большие потери эксергии, которые можно уменьшить. Есть возможность данными горячими потоками нагреть еще один холодный поток (табл. 2). В качестве дополнительного холодного потока возьмем отбензиненную нефть с низа колонны 1. Нефть с низа колонны будет донагреваться горячими потоками перед печами Т-1А и Т-1Б, тем самым сни-

зив нагрузку на печи и уменьшив потери эксергии в системе.

Эксергия потоков системе теплообмена установки уже рассчитана по формуле (1) и представлена в табл. 1 и 2.

Далее необходимо графически представить составные кривые методом пинч-анализа (рис. 2).

Составные кривые приводятся к минимальной температуре $T_{\min} = 10$ °С. Точка пинча: $t_{\text{гор}} = 257$ °С, $t_{\text{хол}} = 247$ °С

В теории пинч-анализа утверждается, что у составных кривых есть участок, проекция которого на ось энтальпии не перекрывается проекцией второй кривой. То есть холодная составная нуждается во внешнем источнике тепла, а горячая составная кривая требует дополнительного внешнего охлаждения [23].

Таблица 2

Данные дополнительного холодного потока

Наименование	Начальная температура, °С	Конечная температура, °С	Массовый расход, кг/с	Удельная теплоемкость, кДж/кг·°С	Эксергия, МВт	Энтальпия, МВт
Холодный поток 3 Нефть перед К-2	243,8	364	239	2,23	-34,18	-65,09

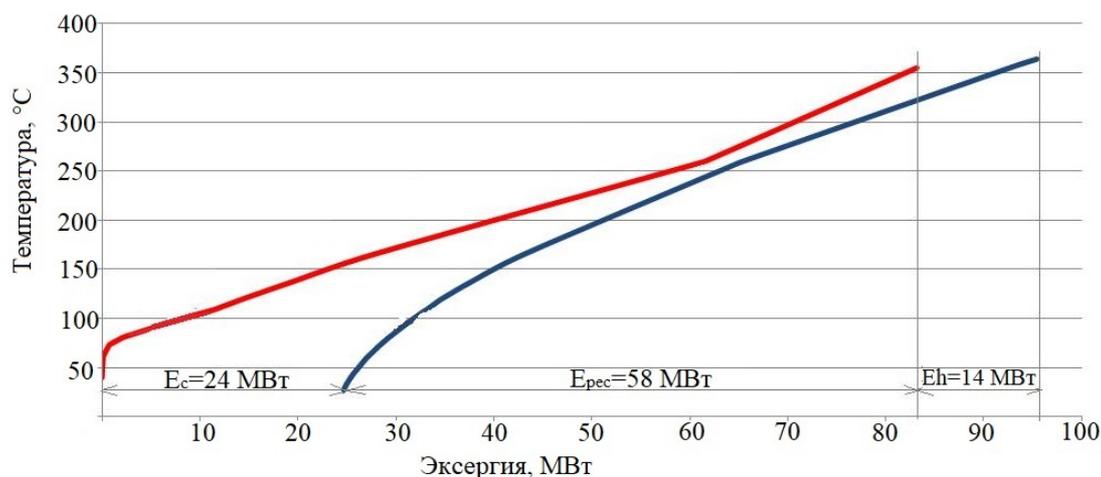


Рис. 2. Преобразованные тепловые потоки в системе координат «температура – эксергия»

Таблица 3

Изменения эксергии с помощью потоковых данных

Наименование		Эксергия, МВт
Нефть до ЭЛОУ	Холодный поток 1	-9,20
Нефть после ЭЛОУ	Холодный поток 2	-26,72
Нефть после К-1	Холодный поток 3	-34,18
ДТ из К-7	Горячий поток 1	11,11
Керосин из К-6	Горячий поток 2	1,41
Мазут	Горячий поток 3	50,48
2 ЦО К-2	Горячий поток 4	16,23
1 ЦО К-2	Горячий поток 5	3,20
Мазут из топливного кольца	Холодный поток 4	-0,03
Бензин из Е-1А	Холодный поток 5	-1,02
Фракция НК-62	Горячий поток 6	0,09
Фракция 62-105	Горячий поток 7	0,21
Фракция 105-180	Горячий поток 8	0,46
Печи	Внешний горячий источник тепла	14
Вода	Внешний холодный источник тепла	-24
Потери эксергии:		0,04

Данные эксергетического пинч-анализа представлены в табл. 3.

Данный метод позволяет использовать практически всю эксергию в системе.

Сравнение полученных расчетных (аналитических) данных и результатов, полученных другими методами

Проанализировав график составных кривых (см. рис. 2), можно определить особенности тепловых процессов в установке.

1. Холодная составная кривая нуждается во внешнем источнике тепла, который дает 14 МВт эксергии. Таким образом, задействовав 46,22 МВт эксергии, которые теряет система теплообменников (см. рис. 1), можно уменьшить нагрузку печей. Рекомендации по источнику теплоты: использовать менее мощные печи или внести в них конструктивные изменения.

2. Горячая составная кривая теряет низкопотенциальное тепло с эксергией 24 МВт. Для повышения эффективности установки можно использовать это тепло для технологических нужд.

Эксергетический пинч-анализ, в отличие от эксергетического метода, позволяет проводить структурную и параметрическую оптимизацию системы теплообмена.

Эксергетический пинч-анализ, в отличие от традиционного пинч-метода, учитывает потенциал тепловой энергии.

Практическая значимость

На основании эксергетического пинч-анализа установки первичной перегонки нефти в статью предложены меры для оптимизации проекта. Данный анализ позволил уменьшить эксергетические потери, не сближая составные кривые (не уменьшая ΔT_{\min}).

Заключение

В данной статье:

1) рассчитаны потери эксергии установки первичной перегонки нефти;

2) проведен эксергетический пинч-анализ системы теплообмена установки первичной перегонки нефти;

3) проведена оптимизация системы теплообмена установки, с целью уменьшения потерь эксергии.

Таким образом, эксергетический пинч-анализ позволяет более эффективно использовать энергию и ресурсы на НПЗ, что актуально на сегодняшний день [24].

Литература

1. Лебедев, В.А. Эксергетический метод оценки энергоэффективности оборудования систем энергообеспечения предприятий минерально-сырьевого комплекса / В.А. Лебедев // *Записки Горного института*. – 2016. – Т. 219. – С. 435–443. DOI: 10.18454/PMI.2016.3.435

2. Яновский, Ф.Б. Энергетическая стратегия и развитие теплоснабжения России. / Ф.Б. Яновский, С.А. Михайлова // *Энергосбережение*. – 2003. – № 6. – С. 26–32.

3. Юшкова, Е.А. Поток энергии и эксергии / Е.А. Юшкова, В.А. Лебедев // *Молодой ученый*. – 2017. – № 12 (146). – С. 17–19.

4. Полканов, А.С. Эксергия и ее основные виды / А.С. Полканов, С.В. Лавров // *Студенческая научная конференция за 2016 год*. – Воронеж: Воронежский государственный университет инженерных технологий, 2016. – С. 321.

5. Шаргут, Я. Эксергия / Я. Шаргут, Р. Пемела. – М.: Энергия. – 1968. – 280 с.

6. Dincer, I. Energy, entropy and exergy concepts and their roles in thermal engineering / I. Dincer, Y. Cengel // *Entropy*. – 2001. – no. 3 (3). – P. 116–149. DOI: 10.3390/e3030116

7. Гохштейн, Д.П. Современные методы термодинамического анализа энергетических установок / Д.П. Гохштейн. – М.: Энергия, – 1969. – 368 с.

8. Богданов, А.Б. Экономика энергетики ТЭЦ с применением эксергии и энергии / А.Б. Богданов. – <http://exergy.narod.ru/Nigre2015-11.PDF> (дата обращения: 31.03.2019).

9. Tsatsaronis, G. On avoidable and unavoidable exergy destructions and investment costs in thermal systems / G. Tsatsaronis, P. Moungh-Ho // *Energy Conversion Management*. – 2002. – Vol. 43. – P. 1259–1270. DOI: 10.1016/S0196-8904(02)00012-2

10. Trinklein, E.H. Modeling, optimization, and control of ship energy systems using exergy methods / E.H. Trinklein, G.G. Parker, T.J. McCoy // *Energy*. – 2019. – P. 116–118. DOI: 10.1016/J.ENERGY.2019.116542

11. Chehade, G. Exergy analysis and assessment of a new integrated industrial based energy system for

power, steam and ammonia production / G. Chehade, I. Dincer // *Energy*. – 2019. – P. 110–120. DOI: 10.1016/J.ENERGY.2019.116277.

12. Смит, Р. Основы интеграции тепловых процессов / Р. Смит, Й. Клемеш, Л.Л. Товажнянский. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2000. – 458 с.

13. Kemp, Ian C. Pinch Analysis and Process Integration – A User Guide on Process Integration for the Efficient Use of Energy / Ian C. Kemp. – 2nd ed. – Elsevier Ltd, 2007. – 415 p.

14. Rashidi, J. Exergy, exergo-economic, and exergy-pinch analyses (EXPA) of the kalina power-cooling cycle with an ejector / J. Rashidi, C. Yoo // *Energy*. – 2018. – No. 155. – P. 504–520. DOI: 10.1016/J.ENERGY.2018.04.178

15. Агапов, Д.С. Концепция термодинамического совершенствования энергоустановок / Д.С. Агапов // *Известия СПбГАУ*. – 2011. – № 23. – С. 367–371.

16. Энергоресурсоэффективная реконструкция установки нефтепереработки на основе пинч-анализа с учётом внешних тепловых потерь / В.П. Мешалкин, Л.Л. Товажнянский, Л.М. Ульев и др. // *Теоретические основы химической технологии*. – 2012. – Т. 46, № 5. – С. 491–500.

17. Morosuk, T. Splitting physical exergy: Theory and application / T. Morosuk, G. Tsatsaronis // *Energy*. – 2019. – no. 167. – P. 698–707. DOI: 10.1016/J.ENERGY.2018.10.090

18. Morosuk, T. Advanced exergy-based methods used to understand and improve energy-conversion systems / T. Morosuk, G. Tsatsaronis // *Energy*. – 2019. – no. 169. – P. 238–246. DOI: 10.1016/J.ENERGY.2018.11.123

19. Yushkova, E.A. Exergetic method of analysis of thermal power systems. *International University of Resources* / E.A. Yushkova // *Scientific Reports on Resource Issues*. – 2017. – Vol. 1. – P. 457–461.

20. Леффер, У.Л. Переработка нефти / У.Л. Леффер. – 2-е изд. – М.: Олимп-Бизнес, 2019. – 224 с.

21. Functional influence of depressor and depressor-dispersant additives on marine fuels and their distillates components / N.K. Kondrasheva, V.A. Rudko, D.O. Kondrashev et al. // *Petroleum Science and Technology*. – 2018. – Vol. 36, iss. 24. – P. 2099–2105. DOI: 10.1080/10916466.2018.1533858

22. Influence of dispersing additives and blend composition on stability of marine high-viscosity fuels / T.N. Mitsova, N.K. Kondrasheva, M.M. Lobashova et al. // *Journal of Mining Institute*. – 2017. – Vol. 228. – P. 722–725. DOI: 10.25515/PMI.2017.6.722

23. The Role of Pinch Analysis for Industrial ORC Integration / D. Olsen, Y. Abdelouadoud, P. Liem, B. Wellig // *Energy Procedia*. – 2017. – no. 129. – P. 74–81. DOI: 10.1016/J.EGYPRO.2017.09.193

24. Энергосбережение на НПЗ / А.З. Миркин, Г.С. Яуцких, А.В. Краснов, В.Г. Яуцких // *Oil&Gas Journal Russia*. – 2013. – № 11 (77). – С. 72–75.

Юшкова Екатерина Александровна, аспирант кафедры «Теплотехника и теплоэнергетика», Санкт-Петербургский горный университет, г. Санкт-Петербург; atenoks@mail.ru.

Лебедев Владимир Александрович, канд. техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Теплотехника и теплоэнергетика», Санкт-Петербургский горный университет, г. Санкт-Петербург; lebedev_va@spmi.ru.

Поступила в редакцию 28 ноября 2019 г.

DOI: 10.14529/power200101

HEAT EXCHANGE SYSTEM ANALYSIS IN THE REFINING PROCESS

E.A. Yushkova, atenoks@mail.ru,

V.A. Lebedev, lebedev_va@spmi.ru

Saint-Petersburg Mining University, Saint-Petersburg, Russian Federation

The article covers thermodynamic optimization of the primary oil distillation unit at a Russian plant. The optimization is carried out based on the exergy method of thermodynamic analysis, which allows accounting for both quantitative and qualitative characteristics of thermal processes. The study uses the principles and rules of pinch analysis. Thus, the article solves the problem of optimizing the heat exchange system of a primary oil refining unit using the method of pinch analysis and exergy. The aim of the article is to increase energy efficiency by reducing exergy losses in oil refining processes. The exergy pinch analysis of the primary oil distillation unit shows that the existing heat exchange system is not optimal. The paper proposes measures to optimize the installation heat exchange system. Exergy pinch analysis allows for a more efficient use of energy and resources at refineries, which is a relevant issue.

Keywords: energy efficiency, exergy, exergy analysis, heat balance, exergy balance, pinch analysis.

References

1. Lebedev V.A. [Exergetic method for assessing the energy efficiency of equipment of energy supply systems of enterprises of the mineral resource complex]. *Journal of Mining Institute*, 2016, vol. 219, pp. 435–443. (in Russ.) DOI: 10.18454 / PMI.2016.3.435
2. Yanovskiy F.B., Mikhaylova S.A. [Energy Strategy and Development of Heat Supply in Russia]. *Energoberezhenie* [Energy Saving], 2003, no. 6, pp. 26–32 (in Russ.)
3. Yushkova E.A., Lebedev V.A. [Streams of energy and exergy]. *Molodoy uchenyy* [Young Scientist], 2017, no. 12 (146), pp. 17–19 (in Russ.)
4. Polkanov A.S., Lavrov S.V. [Exergy and its main types]. *Studencheskaya nauchnaya konferenciya za 2016 god* [Student Scientific Conference 2016]. Voronezh, Voronezh State University of Engineering Technologies, 2016, pp. 321–322. (in Russ.)
5. Shargut Ja., Petela R. *Eksergiya* [Exergy]. Moscow, Energy Publ., 1968. 280 p.
6. Dincer I., Cengel Y.A. Energy, entropy and exergy concepts and their roles in thermal engineering. *Entropy*, 2001, no. 3 (3), pp. 116–149. DOI: 10.3390/e3030116
7. Gohshteyn D.P. *Sovremennye metody termodinamicheskogo analiza energeticheskikh ustanovok* [Modern methods of thermodynamic analysis of power plants]. Moscow, Energy Publ., 1969. 368 p.
8. Bogdanov A.B. *Ekonomika energetiki TJeC s primeneniem eksergii i anergii* [Economics of power plants with the use of exergy and anergy]. Available at: <http://exergy.narod.ru/Nigre2015-11.PDF>. RU (accessed 03.31.2019)
9. Tsatsaronis G., Moungh-Ho P. On avoidable and unavoidable exergy destructions and investment costs in thermal systems. *Energy Conversion Management*, 2002, vol. 43, pp. 1259–1270. DOI: 10.1016/s0196-8904(02)00012-2
10. Trinklein E.H., Parker G.G., McCoy T.J. Modeling, optimization, and control of ship energy systems using exergy methods. *Energy*, 2019, pp. 116–118. DOI: 10.1016/J.ENERGY.2019.116542
11. Chehade G., Dincer I. Exergy analysis and assessment of a new integrated industrial based energy system for power, steam and ammonia production. *Energy*, 2019, pp. 110–120. DOI: 10.1016/J.ENERGY.2019.116277

12. Smith R., Klemesh J., Tovazhnyansky L.L., Kapustenko P.A., Uliev L.M. *Osnovy integratsii teplovykh protsessov* [Basics of the integration of thermal processes]. Kharkov, NTU “KhPI” Publ., 2000. 458 p.
13. Kemp Ian C. *Pinch analysis and process integration – A user guide on process integration for the efficient use of energy*. 2nd ed. Elsevier Ltd, 2007. 415 p.
14. Rashidi J., Yoo C. Exergy, exergo-economic, and exergy-pinch analyses (EXPA) of the kalina power-cooling cycle with an ejector. *Energy*, 2018, no. 155, pp. 504–520. DOI: 10.1016/J.ENERGY.2018.04.178
15. Agapov D.S. [Exergetic method for assessing the energy efficiency of equipment of energy supply systems of enterprises of the mineral resource complex]. *Izvestiya SPbGAU* [News of SPbGAU], 2011, vol. 23, pp. 367–371. (in Russ.)
16. Meshalkin V.P., Tovazhnyansky L.L., Uliev L.M., Melnikovskaya L.A., Khodchenko S.M. [Energy-efficient reconstruction of an oil refinery based on pinch analysis taking into account external heat losses]. *Teoreticheskie osnovy khimicheskoy tekhnologii* [Theoretical Foundations of Chemical Technology], 2012, vol. 46, no. 5, pp. 491–500.
17. Morosuk T., Tsatsaronis G. Splitting physical exergy: Theory and application. *Energy*, 2019, no. 167, pp. 698–707. DOI: 10.1016/J.ENERGY.2018.10.090
18. Morosuk T., Tsatsaronis G. Advanced exergy-based methods used to understand and improve energy-conversion systems. *Energy*, 2019, no. 169, pp. 238–246. DOI: 10.1016/J.ENERGY.2018.11.123
19. Yushkova E.A. Exergetic method of analysis of thermal power systems. International University of Resources. *Scientific Reports on Resource Issues 2017*, 2017, vol. 1, pp. 457–461.
20. Leffer W.L. *Pererabotka nefi* [Oil refining]. 2nd ed. Moscow, Olympus Business Publ., 2019. 224 p.
21. Kondrasheva N.K., Rudko V.A., Kondrashev D.O., Konoplin R.R., Smyshlyaeva K.I., Shakleina V.S. Functional influence of depressor and depressor-dispersant additives on marine fuels and their distillates components. *Petroleum Science and Technology*, 2018, vol. 36, iss. 24, pp. 2099–2105. DOI: 10.1080/10916466.2018.1533858
22. Mitusova T.N., Kondrasheva N.K., Lobashova M.M., Ershov M.A., Rudko V.A. Influence of dispersing additives and blend composition on stability of marine high-viscosity fuels. *Journal of Mining Institute*, 2017, vol. 228, pp. 722–725. DOI: 10.25515/PMI.2017.6.722
23. Olsen D., Abdelouadoud Y., Liem P., Wellig B. The Role of Pinch Analysis for Industrial ORC Integration. *Energy Procedia*, 2017, no. 129, pp. 74–81. DOI: 10.1016/J.EGYPRO.2017.09.193
24. Mirkin A.Z., Yaitskikh G.S., Krasnov A.V., Yaitskikh V.G. [Energy Saving at Oil Refineries]. *Oil & Gas Journal Russia*, 2013, no. 11 (77), pp. 72–75. (in Russ.)

Received 28 November 2019

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Юшкова, Е.А. Эксергетический пинч-анализ системы теплообмена в технологии переработки нефти / Е.А. Юшкова, В.А. Лебедев // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». – 2020. – Т. 20, № 1. – С. 5–11. DOI: 10.14529/power200101

FOR CITATION

Yushkova E.A., Lebedev V.A. Heat Exchange System Analysis in the Refining Process. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Power Engineering*, 2020, vol. 20, no. 1, pp. 5–11. (in Russ.) DOI: 10.14529/power200101