

Научная статья
УДК 681.5
<https://doi.org/10.24143/1812-9498-2023-4-62-69>
EDN MUMQBO

Эффективность трубчатой печи в процессе стабилизации углеводородного конденсата на Астраханском газоперерабатывающем заводе

Михаил Шугеевич Арабов^{1✉}, Айша Гаджибековна Гамзатова²,
Зарема Михайловна Арабова³, Семид Михайлович Арабов⁴

^{1, 2}Астраханский государственный технический университет,
Астрахань, Россия, arabov57@mail.ru

³Институт геохимии и аналитической химии им. В. И. Вернадского Российской академии наук,
Москва, Россия

⁴Астраханский государственный архитектурно-строительный университет,
Астрахань, Россия

Аннотация. Одними из наиболее важных и перспективных направлений развития России на ближайшие десятилетия является внедрение энергоэффективных и энергосберегающих технологий, обозначенных Президентом РФ. В настоящее время в России на многих ГПЗ и НПЗ широко применяются разнообразные типы технологических трубчатых печей с естественной тягой, основная масса которых эксплуатируется персоналом без каких-либо систем автоматизации и регулирования подачи топлива или воздуха. В статье рассматриваются вопросы эффективной эксплуатации трубчатой печи при стабилизации углеводородного конденсата с кислыми компонентами на Астраханском газоперерабатывающем заводе. При проектировании трубчатой печи анализируются варианты эффективной эксплуатации с утилизацией тепловой энергии отходящих дымовых газов. Установлено, что максимальный КПД трубчатой печи получают не только, когда температура дымовых газов на выходе из дымовой трубы минимальна, а зависит от ряда факторов. Рассмотрены вопросы поддержания необходимой температуры в дымовой трубе для исключения конденсации влаги и приведены графики зависимости температуры точки росы в дымовых газах от содержания серы в мазуте и природном газе, а также графики зависимости КПД трубчатой печи при работе на природном газе в зависимости от содержания серы в исходном природном газе при различных температурах, например, при температуре стенки дымовой трубы на 15 °С выше температуры точки росы, при температурах отходящих газов выше температуры стенки на 40, 50 и 60 °С. Приведены технические характеристики трубчатых печей, недоработки и пути повышения КПД трубчатых печей в ходе стабилизации углеводородного конденсата на Астраханском ГПЗ.

Ключевые слова: эффективность, трубчатые печи, топливный газ, соединения серы, зависимость КПД, стабилизация нефти, углеводородный конденсат, нефтеперерабатывающий завод, Астраханский газоперерабатывающий завод, установка стабилизации нефти

Для цитирования: Арабов М. Ш., Гамзатова А. Г., Арабова З. М., Арабов С. М. Эффективность трубчатой печи в процессе стабилизации углеводородного конденсата на Астраханском газоперерабатывающем заводе // Нефтегазовые технологии и экологическая безопасность. 2023. № 4. С. 62–69. <https://doi.org/10.24143/1812-9498-2023-4-62-69>. EDN MUMQBO.

Original article

Tubular furnace efficiency in the process of hydrocarbon condensate stabilization at the Astrakhan Gas Processing Plant

Michael Sh. Arabov^{1✉}, Aisha H. Gamzatova², Zarema M. Arabova³, Semid M. Arabov⁴

^{1, 2}Astrakhan State Technical University,
Astrakhan, Russia, arabov57@mail.ru

³Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry of the Russia Academy of Sciences,
Moscow, Russia

⁴Astrakhan State University of Architecture and Civil Engineering,
Astrakhan, Russia

Abstract. One of the most important and promising areas of Russia's development for the coming decades is the introduction of energy-efficient and energy-saving technologies, designated by the President of the Russian Federation. Currently, in Russia, various types of technological tubular furnaces with natural thrust are widely used at many gas processing plants and refineries. The bulk of tubular furnaces are operated by personnel without any automation systems and regulation of the supply of both fuel and air. The article discusses the issues of efficient operation of a tubular furnace during stabilization of hydrocarbon condensate with acidic components at the Astrakhan Gas Processing Plant. When designing a tubular furnace, various options for efficient operation with the utilization of the thermal energy of exhaust flue gases are considered. It is established that the maximum efficiency of a tubular furnace is obtained not only when the flue gas temperature at the outlet of the chimney is minimal, but depends on a number of factors that are discussed in more detail in this article.

Keywords: efficiency, tubular furnaces, fuel gas, sulfur compounds, efficiency dependence, oil stabilization, hydrocarbon condensate, oil refinery, Astrakhan gas processing plant, oil stabilization unit

For citation: Arabov M. Sh., Gamzatova A. H., Arabova Z. M., Arabov S. M. Tubular furnace efficiency in the process of hydrocarbon condensate stabilization at the Astrakhan Gas Processing Plant. *Oil and gas technologies and environmental safety*. 2023;4:62-69. (In Russ.). <https://doi.org/10.24143/1812-9498-2023-4-62-69>. EDN MUMQBO.

Введение

На установках стабилизации углеводородного конденсата с кислыми компонентами (установка 20) Астраханского газоперерабатывающего завода (ГПЗ), как и на многочисленных предприятиях нефтегазовой отрасли СССР, были спроектированы трубчатые печи радиационно-конвективного типа для прогрева исходного сырья.

Первые трубчатые печи в нефтяной отрасли появились в начале XX в. и по сравнению с кубовыми устройствами были значительно эффективнее [1, 2], что и способствовало их широкому внедрению. Трубчатые печи, спроектированные на Астраханском ГПЗ (рис. 1), – это проекты 50-х гг. XX в., которым свойственен низкий КПД из-за высоких эксплуатационных затрат большого расхода топлива.

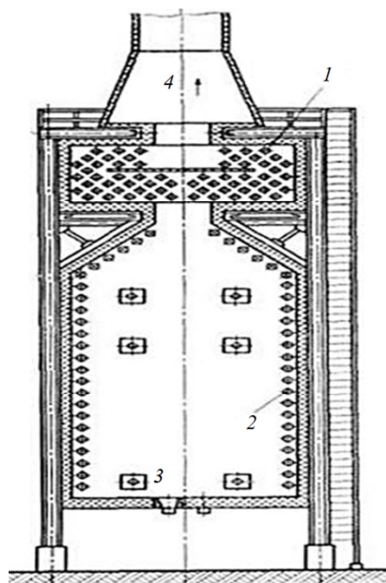


Рис. 1. Схема вертикальной трубчатой печи на установке стабилизации углеводородного конденсата на Астраханском ГПЗ: 1 – змеевик конвекционных труб; 2 – змеевик радиантных труб; 3 – горелка; 4 – дымовая труба

Fig. 1. Diagram of a vertical tubular furnace at the hydrocarbon condensate stabilization plant at the Astrakhan Gas Processing Plant: 1 – a coil of convection pipes; 2 – a coil of radiant pipes; 3 – a burner; 4 – a chimney

Топливом на трубчатых печах установки стабилизации углеводородного конденсата на Астраханском ГПЗ служат природный газ, согласно ГОСТ 5542–2014 «Газы горючие природные про-

мышленного и коммунально-бытового назначения. Технические условия» с нижней теплотой сгорания не менее 31,8 МДж/м³ [3].

Энергоэффективность трубчатой печи зависит от количества топлива, расходуемого в печи на единицу нагреваемого продукта, а также затрат по эксплуатации и поддержания блока печи в рабочем состоянии с выдачей проектных технологических параметров в период межремонтного пробега печи [4].

На КПД трубчатой печи, прежде всего, влияют следующие факторы:

- расход природного газа для нагрева нефти (углеводородного конденсата), циркулирующего в змеевиках печи;
- выбросы в окружающую среду через дымовую трубу таких парниковых газов, как: CH_4 , O_2 , CO , NO_x , SO_2 ;
- затраты по выводу трубной печи в ремонт, с ремонта, а также связанные с ее ремонтом;
- затраты, связанные с эксплуатацией и поддержанием трубной печи в рабочем состоянии.

Преимущества трубчатой печи [5, 6]:

- большая производительность;
- компактные массогабаритные характеристики, т. к. камера конвекции установлена над камерой радиации.

Основные недостатки трубчатой печи:

- отсутствие возможности отключения аварийного участка змеевика в случае негерметичности какого-либо участка;
- образование отложений на внутренней поверхности змеевика из нефти (углеводородного конденсата) в ходе циркуляции нефти по змеевику, приводящих к повышенному расходу топлива, а также к аварийному выходу печи из строя;
- относительно низкий КПД (0,6–0,7) [7];
- необходимость установки трубчатой печи на отдельном тяжелом фундаменте.

Факторы, влияющие на расход топливного газа в трубчатой печи [6]:

- КПД блока трубчатой печи;
- потери тепловой энергии через наружные стенки трубчатой печи;

– рабочее состояние форсунок, горелочных устройств;

– наличие различных отложений на внутренней и внешней поверхностях змеевика в зоне радиационного и конвекционного теплообменов.

Целью исследования является улучшение факторов, определяющих энергоэффективность трубчатой печи в процессе стабилизации углеводородного конденсата на Астраханском ГПЗ. Для достижения поставленной цели рассмотрим расход природного газа как топливный КПД трубчатой печи установки 20 на Астраханском ГПЗ, т. е. процент применения тепловой энергии, выделяемой в ходе сгорания природного газа для подогрева углеводородного конденсата в змеевиках печи, а также варианты утилизации тепловой энергии из дымовых (отходящих) газов, например, на подогрев воды систем отопления, производство пара, подогрев воздуха и т. п. Принимая во внимание то, что чем ниже температура дымовых (отходящих) газов, тем выше КПД, наиболее высокий КПД можно получить в случае, когда температура дымовых (отходящих) газов наиболее ближе к температуре окружающей среды [8].

Результаты исследования

Для определения эффективности трубчатой печи в процессе стабилизации углеводородного конденсата на Астраханском ГПЗ проведем анализ результатов исследований и технической литературы.

На максимальное снижение температуры отходящих газов оказывают внимание ряд факторов, один из которых большая температура конденсации паров воды в зависимости от концентрации кислых компонентов (соединений серы) в дымовой трубе трубчатой печи [9]. На рис. 2 представлена зависимость температуры точки росы в дымовых газах от концентрации серы в жидком топливе (мазуте).

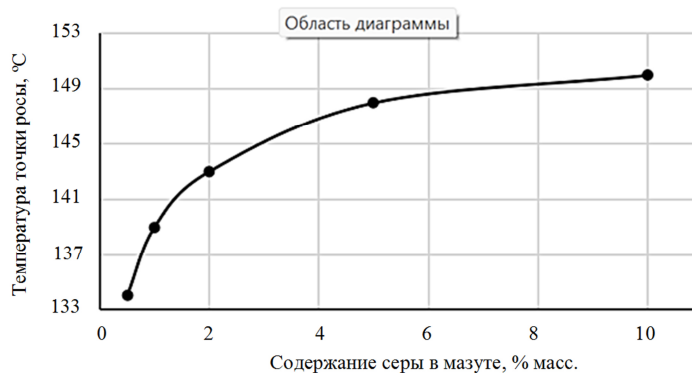


Рис. 2. Зависимость температуры точки росы отходящих дымовых газов от концентрации серы в мазуте

Fig. 2. Dependence of the dew point temperature of exhaust flue gases on the concentration of sulfur in fuel oil

Таким образом, для исключения конденсации влаги из отходящих дымовых газов в дымовой трубе необходимо поддерживать температуру выше точки росы (на 10–20 °С) или температуры наиболее холодной стенки дымовой трубы (на 40–60 °С) [10, 11]. По регламенту на трубчатой печи установки 20 Астраханского ГПЗ температуру отходящих дымовых газов поддерживают 250–260 °С, в некоторых случаях более 275 °С.

Кроме этого, в ходе исследований было установлено, что на трубчатых печах нефте- и газоперерабатывающих заводах (НПЗ, ГПЗ) Российской Федерации, как и на установке 20 Астраханского

ГПЗ, за счет неуправляемого подсоса воздуха через негерметичные окна и разные неплотности иногда избыток кислорода в дымовых газах превышает 18–19 %. Более того, нередки случаи, когда в высокотемпературных дымовых газах содержится 1–2 % углеводородов.

На рис. 3 представлены графики зависимости КПД трубчатой печи при работе на природном газе в зависимости от содержания серы в топливном газе при различных температурах стенки дымовой трубы (варианты, когда температура выше на 15 °С точки росы и когда температура отходящих дымовых газов выше температуры стенки на 40, 50 и 60 °С).

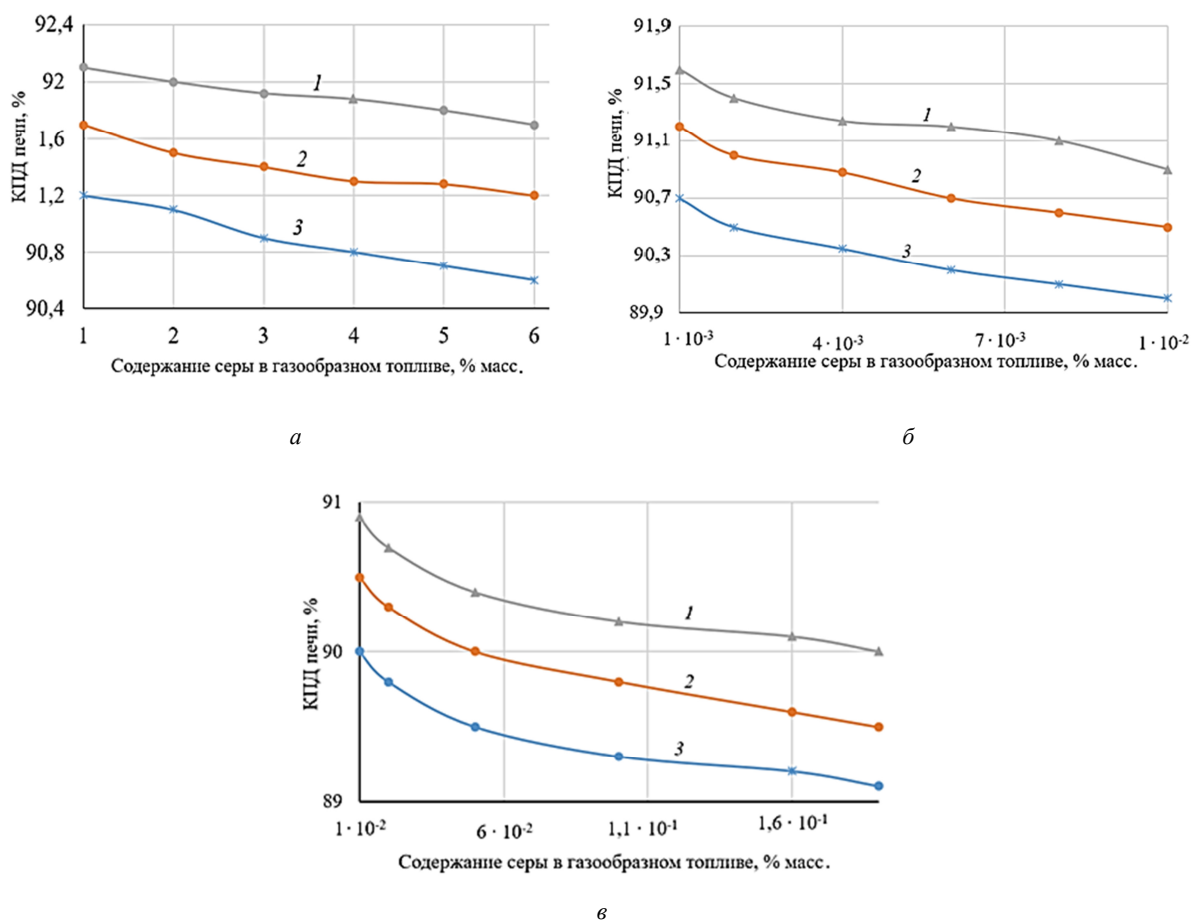


Рис. 3. Зависимость КПД печи при работе в «сухой» зоне на газовом топливе при различной разнице температуры уходящих дымовых газов и минимальной температуры стенки труб: 40 (1), 50 (2) и 60 (3) °С: а – 0–0,001 % масс.; б – 0,001–0,1 % масс.; в – 0,1–0,2 % масс.

Fig. 3. The dependence of the efficiency of the furnace when operating in the “dry” zone on gas fuel at different temperature differences of the outgoing flue gases and the minimum temperature of the pipe wall: 40 (1), 50 (2) and 60 (3) °С: а – 0–0.001% wt.; б – 0.001–0.1% wt.; в – 0.1–0.2% by weight

Из графиков видно, что при исключении конденсации наиболее оптимальный топливный КПД трубчатой печи составляет 91–92 % [12–14].

Было установлено, что повышение на 0,01–0,02 % содержания серосодержащих соединений в исходном топливе снижает КПД печи, в случае приме-

нения в качестве жидкого топлива мазут (с высоким содержанием соединений серы) наиболее рациональным вариантом с максимальным КПД можно считать диапазон 87–89 % (рис. 4). При

этом исключается конденсация влаги из дымовых газов на поверхностях теплообмена по тракту дымовых газов и, как следствие, коррозия на этих поверхностях.

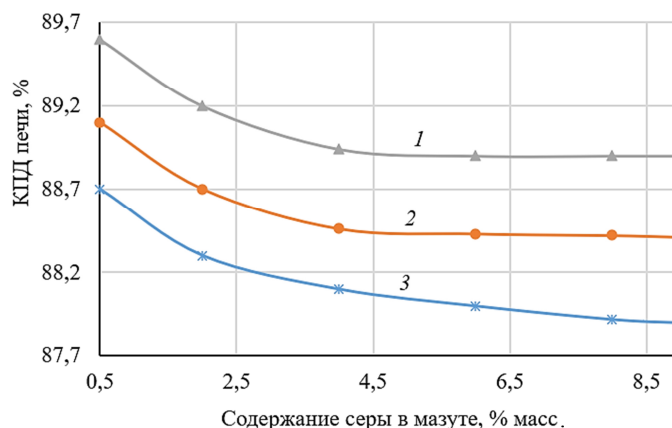


Рис. 4. Зависимость КПД печи от наличия соединений серы в топливе (мазуте)

Fig. 4. Dependence of furnace efficiency on the presence of sulfur compounds in fuel (fuel oil)

В технической отечественной литературе описаны варианты повышения КПД трубчатой печи до 96 %, однако все они связаны с автоматизацией пуска, останова печи, системы регулирования подачи воздуха и топлива в печь и контролем за содержанием O_2 , углеводородов, CO в отходящих дымовых газах, системой утилизации тепловой энергии из коррозионностойких материалов.

Тепловые потери на трубчатых печах

Оптимальными считаются: температура наружной поверхности футеровки печи – не выше 60 °С, тепловые потери – не выше 1,5–2,5 % [14]. Однако при эксплуатации трубчатой печи часто имеет место, когда температура наружной поверхности корпуса печи значительно превышает 100 °С.

Обычно для снижения (устранения) теплотеря трубучатой печи производят тепловизионную съемку наружной поверхности печи.

Одной из значительных причин теплотери являются потери, связанные с избыточным количеством воздуха, т. к. в этом случае в печь подается избыточное количество воздуха, нагревается и сбрасывается вновь в атмосферу. На трубчатых печах нет организованной подачи воздуха, и эксплуатационному персоналу достаточно сложно отрегулировать стехиометрическое соотношение «топливо – воздух» за счет неорганизованных подсосов. Когда содержание кислорода в дымовых газах 18–19 %, а тем более углеводородов, говорить об энергоэффективности печей на установках 20 Астраханского ГПЗ некорректно.

С другой стороны, дает возможность повысить

энергоэффективность трубчатых печей за счет контроля и организации герметичности футеровки и теплоизоляции печей с подачей избыточного воздуха 1,05–1,1 [11] от стехиометрического соотношения, автоматизации пуска и останова печи, в т. ч. системы регулирования количества подаваемого воздуха в печи, контроля концентрации CH_4 , O_2 , CO , NO_x , SO_2 на выходе из дымовой трубы печи.

Работа горелочных устройств также является одной из важных составляющих энергоэффективности любой печи или котлоагрегата. Известно, например, что на котлах типа ДКВр-6,5/13 за счет рациональной организации работы горелок можно увеличить паропроизводительность котлов на 50 %. Полнота сгорания топлива и соответствующее выделение тепловой энергии зависит от степени смешения воздуха и топлива и исходной температуры реагирующих веществ (топлива и воздуха). Высокий КПД современных теплогенерирующих установок, прежде всего, связан с использованием горелок с соответствующим узлом смешения топлива с воздухом, что означает пересмотр проекта трубчатых печей по степени смешения воздуха и топлива с широким диапазоном регулирования мощности горелки, а также по их герметичности. Установлено, что при правильной наладке работы горелок позволяет снизить расход топливного газа не менее 5 % на каждую печь.

Отложения как на внутренней, так и на наружной поверхности змеевиков трубчатой печи тоже являются очень важными факторами, снижающими процесс теплопередачи и КПД печи. В процессе эксплуатации трубчатой печи со временем на

наружной поверхности змеевика появляются различные отложения (сажа, сернистые соединения железа, окалина, окислы железа и других элементов). Более всего они образуются в зоне конвекции, в зоне радиации такие, как окисные отложения, – в верхней части труб, с горизонтальным их расположением.

Проведенные исследования показали, что в случае, когда трубчатая печь в эксплуатации более 8–10 месяцев, и топливом служит жидкое топливо (мазут М-100), то на наружной поверхности змеевиков обнаруживается слой отложений, которые приводят к повышению температуры отходящих дымовых газов на 50–80 °С и снижению КПД на 10 % и более.

Существующие варианты чистки наружных поверхностей змеевиков трубчатой печи более подробно описаны в работе [15].

Проектирование современных НПЗ и ГПЗ

При проектировании современных НПЗ и ГПЗ минимизируют использование на их территории технологического оборудования с открытым источником огня (паровых котлов, печей, котлов утилизаторов), для случаев, например, стабилизации нефти (углеводородного конденсата) в качестве высокотемпературного теплоносителя используют перегретый пар от центральной котельной (ТЭЦ). Для стабилизации нефти в ректификационной колонне прогрев нефти (углеводородного конденсата) происходит в вертикальном циркуляционном термосифоне (рис. 5), где теплоносителем служит перегретый пар или какой-либо высокотемпературный теплоноситель.

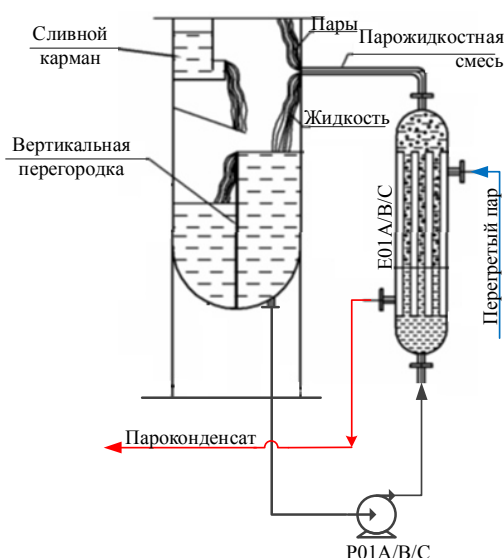


Рис. 5. Нижняя часть колонны стабилизации с вертикальным термосифоном для стабилизации нефти: P01A/B/C – центробежные циркуляционные насосы; E01A/B/C – вертикальный термосифон

Fig. 5. The lower part of the stabilization column with a vertical thermosiphon for oil stabilization: P01A/V/S – centrifugal circulation pumps; E01A/V/S – vertical thermosiphon

Преимуществами установки являются:

- низкие капитальные, эксплуатационные затраты;
- исключение рисков пожаров, аварий на НПЗ (или ГПЗ);
- снижение расхода топливного газа не менее, чем на 20 %.

Заключение

1. Для повышения КПД по ресурсо- или энергосбережению на трубчатых печах Астраханского ГПЗ необходимо внедрить ряд технических решений:

1) автоматизировать процессы пуска и останова печи, вести контроль соотношения «воздух – топ-

ливо», подаваемого в печь, автоматическое регулирование подачи воздуха и топлива и т. д.;

2) организовать прогрев топливного газа и воздуха, подаваемого в топку печи;

3) минимизировать содержание воды в исходном углеводородном конденсате (ниже 0,5 мг/л);

4) проводить периодическую ревизию существующих горелочных устройств;

5) проводить периодическую чистку наружной и внутренней поверхностей змеевиков;

6) проводить оребрение труб змеевика в конвективной зоне печи;

7) периодически организовывать тепловизионную съемку наружной поверхности печи и соот-

ветственно исключить повышение внешней температуры кожуха теплоизоляции (печи, дымовой трубы) выше 40–50 °С.

2. Рассмотреть вариант монтажа в центральной

части печи стены из огнеупорного материала, которые более востребованы, как высокоэффективные трубчатые печи.

Список источников

1. Ентус Н. Р. Трубчатые печи. М.: Химия, 1977. 222 с.
2. Трубчатые печи: Каталог / сост.: В. Е. Бакшалов, В. Ф. Дребенцов, Т. Г. Калинина, Н. И. Сметанкина, Е. И. Ширман. М.: ЦИНТИхимнефтемаш, 1985. 34 с.
3. ГОСТ Р 53682–2009. Установки нагревательные для нефтеперерабатывающих заводов. Общие технические требования. М.: Стандартинформ, 2011. 69 с.
4. Алексеев Г. Н. Общая теплотехника: учеб. пособие. М.: Высш. шк., 1980. 552 с.
5. Адельсон С. В. Технологический расчет и конструктивное оформление нефтезаводских печей. М.; Л.: Гостоптехиздат, 1952. 240 с.
6. Адельсон С. В. Процессы и аппараты нефтепереработки и нефтехимии. М.: Гостоптехиздат, 1963. 310 с.
7. Исламов М. Ш. Печи химической промышленности. М.: Химия, 1975. 432 с.
8. Арабов М. Ш., Арабов С. М. Энергоэффективность технологических процессов на Астраханском ГПЗ // Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса. 2023. № 3. С. 10–17.
9. Ентус Н. Р., Шарихин В. В. Трубчатые печи в нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности. М.: Химия, 1987. 304 с.
10. Казанцев Е. И. Промышленные печи. М.: Металлургия, 1964. 451 с.
11. Танатаров М. А., Ахметшина М. Н., Фасхутдинов Р. А. и др. Технологические расчеты установок переработки нефти: учеб. пособие для вузов. М.: Химия, 1987. 350 с.
12. Глинков М. А. Основы общей теории печей. М.: Metallurgizdat, 1962. 575 с.
13. Трубчатые печи: Каталог. М.: ЦИНТИхимнефтемаш, 1990. 30 с.
14. Шарихин В. В., Коновалов А. А., Скороход А. А. Трубчатые печи. Самара: Офорт, 2005. 442 с.
15. Жидков А. Б., Логинов И. А., Козлов П. В. Методы очистки наружной поверхности змеевиков трубчатых печей // Химическая техника. 2012. № 12. С. 32–34.

References

1. Entus N. R. *Trubchatye pechi* [Tubular furnaces]. Moscow, Khimiia Publ., 1977. 222 p.
2. *Trubchatye pechi: Katalog* [Tubular furnaces: Catalog] / sostaviteli: V. E. Bakshalov, V. F. Drebentsov, T. G. Kalinina, N. I. Smetankina, E. I. Shirman. Moscow, TsINTIkhimneftemash Publ., 1985. 34 p.
3. GOST R 53682–2009. *Ustanovki nagrevatel'nye dlia neftepererabatyvaiushchikh zavodov. Obshchie tekhnicheskie trebovaniia* [Heating installations for oil refineries. General technical requirements]. Moscow, Standartinform Publ., 2011. 69 p.
4. Alekseev G. N. *Obshchaia teplotekhnika: uchebnoe posobie* [General heat engineering: textbook]. Moscow, Vysshiaia shkola Publ., 1980. 552 p.
5. Adel'son S. V. *Tekhnologicheskii raschet i konstruktivnoe oformlenie neftezavodskikh pechei* [Technological calculation and design of oil refinery furnaces]. Moscow, Leningrad, Gostoptekhizdat Publ., 1952. 240 p.
6. Adel'son S. V. *Protsessy i apparaty neftepererabotki i neftekhimii* [Processes and devices of oil refining and petrochemistry]. Moscow, Gostoptekhizdat Publ., 1963. 310 p.
7. Islamov M. Sh. *Pechi khimicheskoi promyshlennosti* [Chemical Industry Furnaces]. Moscow, Khimiia Publ., 1975. 432 p.
8. Arabov M. Sh., Arabov S. M. *Energoeffektivnost' tekhnologicheskikh protsessov na Astrakhanskom GPZ* [Energy efficiency of technological processes at the Astrakhan GPP]. *Oborudovanie i tekhnologii dlia neftegazovogo kompleksa*, 2023, no. 3, pp. 10–17.
9. Entus N. R., Sharikhin V. V. *Trubchatye pechi v neftepererabatyvaiushchei i neftekhimicheskoi promyshlennosti* [Tubular furnaces in the oil refining and petrochemical industry]. Moscow, Khimiia Publ., 1987. 304 p.
10. Kazantsev E. I. *Promyshlennye pechi* [Industrial furnaces]. Moscow, Metallurgii Publ., 1964. 451 p.
11. Tanatarov M. A., Akhmetshina M. N., Faskhutdinov R. A. i dr. *Tekhnologicheskie raschety ustanovok pererabotki nefii: uchebnoe posobie dlia vuzov* [Technological calculations of oil refining plants: a textbook for universities]. Moscow, Khimiia Publ., 1987. 350 p.
12. Glinkov M. A. *Osnovy obshchei teorii pechei* [Fundamentals of the general theory of furnaces]. Moscow, Metallurgii Publ., 1962. 575 p.
13. *Trubchatye pechi: Katalog* [Tubular furnaces: Catalog]. Moscow, TsINTIkhimneftemash Publ., 1990. 30 p.
14. Sharikhin V. V., Kononov A. A., Skorokhod A. A. *Trubchatye pechi* [Tubular furnaces]. Samara, Ofort Publ., 2005. 442 s.
15. Zhidkov A. B., Loginov I. A., Kozlov P. V. *Metody oчитki naruzhnoi poverkhnosti zmeevikov trubchatykh pechei* [Methods of cleaning the outer surface of the coils of tubular furnaces]. *Khimicheskaiia tekhnika*, 2012, no. 12, pp. 32–34.

Статья поступила в редакцию 09.10.2023; одобрена после рецензирования 18.10.2023; принята к публикации 15.11.2023
The article is submitted 09.10.2023; approved after reviewing 18.10.2023; accepted for publication 15.11.2023

Информация об авторах / Information about the authors

Михаил Шугеевич Арабов – кандидат химических наук, доцент; доцент кафедры технологических машин и оборудования; Астраханский государственный технический университет; arabov57@mail.ru

Айша Гаджибековна Гамзатова – кандидат экономических наук, доцент; доцент кафедры высшей и прикладной математики; Астраханский государственный технический университет; gamzatova.astu@mail.ru

Зарема Михайловна Арабова – кандидат технических наук; младший научный сотрудник лаборатории инструментальных методов и органических реагентов; Институт геохимии и аналитической химии им. В. И. Вернадского Российской академии наук; zarema.polymer@gmail.com

Семид Михайлович Арабов – аспирант кафедры инженерных систем и экологии; Астраханский государственный архитектурно-строительный университет; ms.arabov@mail.ru

Michael Sh. Arabov – Candidate of Chemical Sciences, Assistant Professor; Assistant Professor of the Department of Technological Machines and Equipment; Astrakhan State Technical University; arabov57@mail.ru

Aisha H. Gamzatova – Candidate of Economic Sciences, Assistant Professor; Assistant Professor of the Department of Higher and Applied Mathematics; Astrakhan State Technical University; gamzatova.astu@mail.ru

Zarema M. Arabova – Candidate of Technical Sciences; Junior Researcher of the Laboratory of Instrumental Methods and Organic Reagents; Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry of the Russia Academy of Sciences; zarema.polymer@gmail.com

Semid M. Arabov – Postgraduate Student of the Department of Engineering Systems and Ecology; Astrakhan State University of Architecture and Civil Engineering; ms.arabov@mail.ru

