

Сравнение трубчатого и пластинчатого теплообменников в качестве первой ступени воздухоподогре- вателя котла

Рецензия эксперта на статью получена
23.12.2024 [The expert review of the article
was received on December 23, 2024]

Энергетическая эффективность является одним из ключевых аспектов современной теплоэнергетики, особенно в условиях растущего спроса на экономию топливных ресурсов. В условиях повышения цен на энергоресурсы значительное внимание уделяется модернизации устаревшего оборудования котельных, что позволяет существенно повысить эффективность теплообмена и улучшить общую производительность систем энергоснабжения. Одним из таких решений является замена трубчатых теплообменников на более современные пластинчатые установки, которые обладают рядом преимуществ. Пластинчатые теплообменники обеспечивают более высокую степень теплопередачи, благодаря чему снижаются тепловые потери и уменьшается расход топлива. Это особенно важно для повышения энергоэффективности котельных и минимизации эксплуатационных затрат. Основное назначение теплообменников заключается в эффективном использовании тепла, что позволяет повысить КПД тепловых установок. В котельных традиционно использовались трубчатые теплообменники, но современные пластинчатые теплообменники обладают рядом преимуществ. Они обеспечивают более компактное размещение, имеют большую площадь теплообмена на единицу объёма и позволяют снизить гидравлические потери, что делает их более энергоэффективными. По оценкам экспертов, модернизация котельных с использованием пластинчатых теплообменников может снизить эксплуатационные расходы на 15–20%, а экономия на топливе может составить до 10–15% от общих затрат на энергоресурсы. Эти цифры показывают, что вложения в модернизацию становятся экономически выгодными уже через несколько лет эксплуатации.

В качестве объекта исследования в настоящей работе рассматривается энергоблок ПТ-25/30-8,8-1/0,1 [1, 2], который со-

Современные пластинчатые теплообменники обладают рядом преимуществ. Они обеспечивают более компактное размещение, имеют большую площадь теплообмена на единицу объёма и позволяют снизить гидротеплопотери и более энергоэффективны

стоит из барабанного котла ПК-19, предназначенного для работы на твёрдом топливе (угле), турбины, работающей в конденсационном режиме при параметрах 9,81 МПа, 510 °С без промежуточного перегрева пара. Турбина состоит из трёх цилиндров: высокого (ЦВД), среднего (ЦСД) и низкого давления (ЦНД). Турбина имеет семь отборов пара: два из ЦВД, два из ЦСД и три из ЦНД, предназначенных для подогрева питательной воды и конденсата в двух ПВД, трёх подогревателей низкого давления (ПНД) и деаэратора. Группа подогревателей высокого давления (ПВД) включает в себя два последовательно включённых подогревателя поверхностного типа со встроенными охладителями пара и дренажа. Слив дренажа ПВД — каскадный: из ПВД-2 в ПВД-1, из ПВД-1 — в деаэратор.

Конденсат турбины подогревается в одном смешивающем (ПНД-1) и двух поверхностных (ПНД-2 и ПНД-3). Слив дренажа ПНД — каскадный: из ПНД-3 в ПНД-2, из ПНД-2 в смешивающий ПНД-1. В схеме установлены два конденсатных насоса: КН-1 и КН-2 после конденсатора. Смешивающий подогреватель (ПНД-1) включён по гравитационной схеме. Деаэратор работает при постоянном давлении 0,6 МПа, включён в собственный третий отбор. С целью восполнения потерь рабочего тела в конденсатор основной турбины подводится добавочная вода. Способ подготовки добавочной воды — химическое обессоливание.

УДК 62-97. Научная специальность: 2.4.5.

Сравнение трубчатого и пластинчатого теплообменников в качестве первой ступени воздухоподогревателя котла

А. В. Федюхин, к.т.н., доцент; Н. С. Люльченко, студент; Т. Р. Поздняков, студент; А. И. Прихожаев, студент, кафедра промышленных теплоэнергетических систем (ПТС), Национальный исследовательский университет «Московский энергетический институт» (НИУ «МЭИ»)

В работе рассмотрен вариант модернизации котельной установки с использованием современных пластинчатых теплообменников взамен трубчатых. Модернизация направлена на повышение энергоэффективности, снижение эксплуатационных затрат и углеродного следа. Экономический анализ показывает, что инвестиции в проект окупаются в течение трёх-пяти лет. Преимущества пластинчатого теплообменника заключаются в снижении гидравлических потерь, повышении коэффициента теплопередачи и уменьшении затрат на техническое обслуживание.

Ключевые слова: модернизация котельной, пластинчатый теплообменник, энергоэффективность, снижение затрат, углеродный след.

UDC 62-97. Scientific specialty: 2.4.5.

Comparison of tubular and plate heat exchangers as the first stage of the boiler air heater

A. V. Fedyukhin, PhD, Associate Professor; N. S. Lyulchenko, student; T. R. Pozdnyakov, student; A. I. Prikhozhaev, student, the Department of Industrial Thermal Power Systems (PTS), National Research University "Moscow Power Engineering Institute" (NRU "MEI")

The paper considers a variant of modernization of the boiler plant using modern plate heat exchangers instead of tubular ones. The modernization is aimed at improving energy efficiency, reducing operating costs and carbon footprint. Economic analysis shows that investments in the project pay off within three to five years. The main advantages of using a plate heat exchanger are to reduce hydraulic losses, increase the heat transfer coefficient and reduce maintenance costs.

Keywords: boiler room modernization, plate heat exchanger, energy efficiency, cost reduction, carbon footprint.

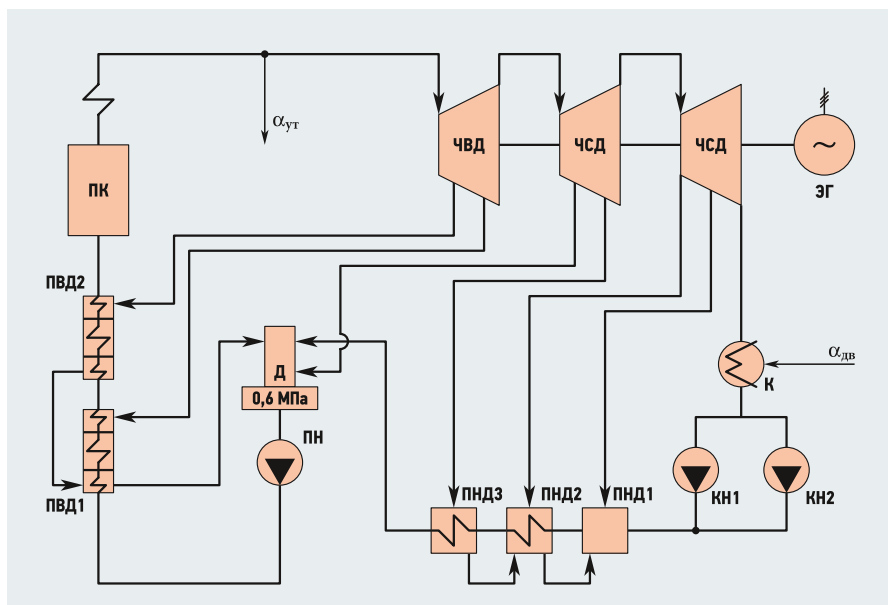


Рис. 1. Принципиальная тепловая схема

В условиях текущей энергетической политики, когда особое внимание уделяется снижению углеродного следа и повышению экономической эффективности энергетических систем, модернизация котельных агрегатов с использованием современных пластинчатых теплообменников является возможным шагом для достижения этих целей. Переход на более эффективные теплообменные устройства не только способствует улучшению показателей работы оборудования, но и снижает затраты на топливо и техническое обслуживание, что является важным аспектом в долгосрочной перспективе развития теплоэнергетики.

При расчёте рассматривался вариант модернизации котельной установки, включая замену теплообменников, с переводом газомазутного котла на местное твёрдое топливо (уголь) и использованием пластинчатого теплоутилизатора вместо первой ступени воздухоподогревателя. Эти меры позволяют значительно улучшить параметры теплового оборудования,

что особенно актуально для энергоблоков малой мощности. Сравнение результатов расчёта термодинамических параметров трубчатого и пластинчатого теплообменников приведены в табл. 1 [3, 4].

Сравнение трубчатых и пластинчатых теплообменников показывает, что последние имеют меньшее гидравлическое сопротивление, что снижает нагрузку на насосное оборудование и уменьшает общие энергозатраты. Более высокая степень турбулентности в пластинчатых теплообменниках также способствует снижению образования отложений, что увеличивает срок службы оборудования и уменьшает потребность в его очистке [5].

Результаты проектного расчёта пластинчатого теплообменника для энергоблока ПТ-25/30-8,8-1/0,1 приведены в табл. 2 [6, 7]. Отличие коэффициентов теплоотдачи горячего теплоносителя обусловлено наличием оребрения пластинчатого теплообменника. Со стороны холодного теплоносителя оребрение отсутствует, поэтому значения параметров близки.

Сравнение параметров теплообменников

табл. 1

Параметр / теплообменник	Трубчатый	Пластинчатый
Температура газов на входе / на выходе, °C	284 / 140	284 / 140
Температура воздуха на входе / на выходе, °C	40 / 234	40 / 234
Скорость газов / воздуха, м/с	6,8 / 3,83	15 / 12
Коэффициент теплоотдачи горячего / холодного теплоносителя, Вт/(м²·K)	26,2 / 46,7	53,0 / 45,9
Коэффициент теплопередачи, Вт/(м²·K)	11,2	23,5
Поверхность нагрева, м²	2036	947,1

Основные характеристики теплообменника

табл. 2

Параметр	Значение	Параметр	Значение
Толщина ребра, мм	1,5	Высота теплообменной матрицы, м	3,22
Высота канала, мм	15	Объём аппарата с учётом 20 % запаса по площади, м³	6,6
Шаг оребрения, мм	15	Требуемое количество каналов	24
Толщина пластины, мм	1,5	Мощность для прокачки холодного / горячего теплоносителя, кВт	1,3 / 1,1
Глубина × ширина теплообменной матрицы, м	2,67 × 0,77		

С экономической точки зрения, модернизация котельной с использованием пластинчатых теплообменников может снизить эксплуатационные расходы на 15–20%, а экономия на топливе составит до 10–15% от общих затрат на энергоресурсы. Эти показатели свидетельствуют о том, что инвестиции в проект могут окупиться в течение трёх-пяти лет в зависимости от установленной мощности котельной установки и текущих цен на энергоресурсы.

Стоимость теплообменника зависит от его характеристик и производителя. Для данного объекта стоимость пластинчатого теплообменника оценивается в 2–3 млн руб., включая затраты на закупку и установку. Дополнительные затраты, связанные с модернизацией вспомогательного оборудования (насосные системы и системы управления), составляют около 1,2 млн руб. Таким образом, общая стоимость модернизации котельной, включающей замену теплообменника и связанных с этим вспомогательных систем, оценивается в 3–4 млн руб.

Кроме того, наблюдается снижение гидравлических потерь и повышение коэффициента теплопередачи за счёт применения пластинчатых теплообменников при обеспечении более стабильной работы системы и уменьшении затрат на техническое обслуживание. Пластинчатые теплообменники также отличаются большей устойчивостью к образованию отложений, что снижает необходимость в частой чистке и увеличивает срок службы оборудования. Таким образом, использование современных пластинчатых теплообменников вместо трубчатых является экономически целесообразным решением, обеспечивающим значительное повышение энергоэффективности и снижение эксплуатационных расходов. ●

1. Рыжкин В.Я. Тепловые электрические станции: учебник для вузов. Изд. 3-е, перераб. и доп. — М.: Энергоатомиздат, 1987. 328 с.
2. Клименко А.В., Зорин В.М. Тепловые и атомные электростанции: справ. Изд. 4-е, стер. — М.: Изд-во МЭИ, 2007. 648 с.
3. Кузнецов Н.В., Дубровский И.Е., Митров В.В., Карасина Э.С. Тепловой расчёт котлов (нормативный метод). Репр. 1973 г. — М.: ООО «Эколит», 2020. 296 с.
4. Семёнов В.С. Тепловой расчёт реконструкции парогенератора: учеб. пособие для курсового проектирования по курсу «Парогенераторные установки промышленных предприятий». — М.: Изд-во МЭИ, 1979. 76 с.
5. Прун О.Е., Гаряев А.Б., Яковлев И.В. Расчёт пластинчатых теплообменников с газообразными теплоносителями: учеб. пособие по курсу «Тепломассообменное оборудование предприятий» направления 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника». — М.: Изд-во МЭИ, 2022. 88 с.
6. Цветков Ф.Ф., Григорьев Б.А. Тепломассообмен: учеб. пособие для студентов вузов, обуч. по энергетическим спец. — М.: Изд-во МЭИ, 2005. 550 с.
7. Бородин А.А., Портнов В.Д., Сасин В.Я., Фёдоров В.Н. Расчёт тепломассообменных аппаратов: учеб. пособие по курсу «Тепломассообменные аппараты». — М.: Изд-во МЭИ, 1997. 54 с.

References — see page 80.

[Comparison of tubular and plate heat exchangers as the first stage of the boiler air heater. Pp. 32–33.](#)

Alexander V. Fedyukhin, PhD, Associate Professor; Nikita S. Lyulchenko, student; Tikhon R. Pozdnyakov, student; Artem I. Prikhodzhaev, student, the Department of Industrial Thermal Power Systems (PTS), National Research University "Moscow Power Engineering Institute" (NRU "MEI")

1. V.Ya. Ryzhkin. *Teplovye jelektricheskie stantsii: uchebnik dlja vuzov* [Thermal power plants: A textbook for universities]. 3rd edition, rev. and exp. Moscow. *Jenergoatomizdat* [Publishing House of Energy and Nuclear Industry of the USSR ("Energoatomizdat" Publishers)]. 1987. 328 p. [In Russian]
2. A.V. Klimenko, V.M. Zorin. *Teplovye i atomnye elektrostantsii: spravochnik* [Thermal and nuclear power plants: A reference book]. 4th edition, stereotyped. Moscow. *Izd-vo MJeI* [Publishing House of the National Research University "Moscow Power Engineering Institute" (MPEI)]. 2007. 648 p. [In Russian]
3. N.V. Kuznetsov, I.E. Dubrovsky, V.V. Mitov, E.S. Karasina. *Teplovoj raschet kotlov (normativnyj metod)* [Thermal calculation of boilers (normative method)]. Reprinted edition of 1973. Moscow. *OOO "Jekolit"* ["Ecolit", LLC]. 2020. 296 p. [In Russian]
4. V.S. Semenov. *Teplovoj raschet rekonstruktsii parogeneratora: uchebnoe posobie dlja kursovogo proektirovaniya po kursu "Parogeneratornye ustanovki promyshlennykh predpriyatij"* [Thermal calculation of the reconstruction of a steam generator: A tutorial for course design on the "Steam generator installations of industrial enterprises" course]. Moscow. *Izd-vo MJeI* [Publishing House of the MPEI]. 1979. 76 p. [In Russian]
5. O.E. Prun, A.B. Gariaev, I.V. Yakovlev. *Raschet plastinchatykh teploobmennikov s gazoobraznyimi teplosnositeljami: uchebnoe posobie po kursu "Teplomassoobmennoe oborudovanie predpriyatij" napravleniya 13.03.01 "Teplojenergetika i teplotekhnika"* [Calculation of plate heat exchangers with gaseous coolants: A tutorial on the course "Heat and mass transfer equipment of enterprises" of the specialty No. 13.03.01 "Heat power engineering and heat engineering"]. Moscow. *Izd-vo MJeI* [Publishing House of the MPEI]. 2022. 88 p. [In Russian]
6. F.F. Tsvetkov, B.A. Grigoriev. *Teplomassoobmen: uchebno posobie dlja studentov vuzov, obuchajushihhsja po jenergeticheskim spetsial'nostjam* [Heat and mass transfer: A tutorial for university students studying in energy specialties]. Moscow. *Izd-vo MJeI* [Publishing House of the MPEI]. 2005. 550 p. [In Russian]
7. A.A. Borodkin, V.D. Portnov, V.Ya. Sasin, V.N. Fedorov. *Raschet teplomassobmennyykh apparatov: uchebnoe posobie po kursu "Teplomassoobmennyye apparaty"* [Calculation of heat and mass exchange apparatuses: A tutorial on the "Heat and mass exchange apparatuses" course]. Moscow. *Izd-vo MJeI* [Publishing House of the MPEI]. 1997. 54 p. [In Russian]