

Г. Е. КАНЕВЕЦ, О. В. АЛТУХОВА, Е. А. МАВРИЧ

СРАВНЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОЖУХОТРУБЧАТЫХ И ПЛАСТИНЧАТЫХ ПОДОГРЕВАТЕЛЕЙ КОНДЕНСАТА

В статье приведены результаты оптимизационных вычислительных экспериментов, оценивающих эффективность применения пластинчатых и кожухотрубчатых теплообменников в качестве подогревателей конденсата паротурбинной установки. Нагрев конденсата производится водой, циркулирующей в контуре охлаждения колосниковой решетки парового котла, работающего на лузге подсолнечника. Также проанализированы оптимальные скорости сред для обоих типов теплообменников. Рассмотрены ограничения, накладываемые конструкцией аппаратов.

Ключевые слова: пластинчатые теплообменники, кожухотрубчатые теплообменники, оптимизация, алгоритмы оптимизации, подогреватель конденсата.

Г. Є. КАНІВЕЦЬ, О. В. АЛТУХОВА, Є. А. МАВРІЧ

ПОРІВНЯННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ КОЖУХОТРУБЧАСТИХ ТА ПЛАСТИНЧАСТИХ ПІДГРІВАЧІВ КОНДЕНСАТУ

У статті наведено результати оптимізаційних розрахункових експериментів, що оцінюють ефективність використання пластинчастих та кожухотрубчастих теплообмінників як підгрівачів конденсату паротурбінної установки. Нагрів конденсату здійснюється водою, що циркулює у контурі охолодження колосникової решітки парового котла, що працює на лушпинні соняшника. Також проаналізовано оптимальні швидкості середовищ для обох типів теплообмінників. Розглянуто обмеження, що накладаються конструкцією апаратів.

Ключові слова: кожухотрубчасті теплообмінники, пластинчасті теплообмінники, оптимізація, алгоритми оптимізації, підгрівач конденсату.

G. KANEVETS, O. ALTUKHOVA, E. MAVRICH

SHELL AND TUBE AND PLATE FEEDWATER HEATERS EFFECTIVENESS COMPARISON

The article presents the results of optimization computational experiments, which evaluated the effectiveness of the use of plate and shell and tube heat exchangers as feedwater heaters. The condensate is heated by water flowing through E35-3.9-440 steam boiler fire-grate cooling circuit. This boiler operates on sunflower husk. The capacity of bioelectric power stations, for which the computational experiment was done, varies from 2 to 27 MW. The steam pressure of the turbine inlet is 40 bar, the temperature is 440 °C. The heater in question is located on the main condensate line before the deaerator. It was done the comparison of the effectiveness of shell and tube and plate apparatus for this application. The optimal fluid velocities for both types of heat exchangers were also analyzed. The limitations of apparatuses design are considered. The computational experiment was done according to the "total costs" optimality criterion, only the design parameters of the heat exchangers were optimized. The experiment shows that the effectiveness of plate heat exchangers is higher in this case. An interesting dependence has also been recovered that relates the water temperature in the plate heat exchanger channels and its optimal velocity. The higher the water temperature, the higher its optimal velocity, which is associated with a decrease of viscosity when increasing the water temperature. This dependence is quite significant, and this fact makes it possible to consider that it is necessary to do optimization when designing this type of heat exchangers.

Key words: plate heat exchangers, shell and tube heat exchangers, optimization, algorithms of optimization, feedwater heater.

Введение

Пластинчатые теплообменники (ПТО) всё чаще заменяют традиционные кожухотрубчатые (КТО) во многих областях. Они компактны, менее металлоёмки, просты в обслуживании, часто являются более эффективными [1, 2]. В том числе, ПТО могут применяться в качестве подогревателей конденсата в паротурбинных установках.

Однако выбор типа теплообменника и его параметров необходимо делать обоснованно. Требуется анализ эффективности применения того или иного вида оборудования, а также учёт ограничений, накладываемых конструкцией аппаратов. Для повышения эффективности оборудования требуется его оптимизация.

Цель работы

Цель работы заключается в анализе эффективности применения пластинчатых и кожухотрубчатых теплообменников в качестве подогревателей основного конденсата в паротурбинном цикле биоэлектростанции.

Изложение основного материала

На биоэлектростанциях, использующих в качестве топлива лузгу подсолнечника, горение в топках паровых котлов происходит на водоохлаждаемых колосниковых решетках. Теплота, подведенная к охлаждающей решетки воде, может в дальнейшем использоваться в цикле для подогрева основного конденсата перед деаэратором.

В работе представлены результаты оптимизации подогревателя на примере биоэлектростанции

© Г. Е. Каневец, О. В. Алтухова, Е. А. Маврич, 2019

мощностью 9 МВт, работающей с парогенератором E-35-3,9-440. Тепловая схема паротурбинной установки, рассчитанная в программе *AxCYCLE™* (*SoftInWay*), приведена на рис. 1.

Давление на входе в паровую турбину 40 бар, температура пара 440 °С. Расход острого пара 35 т/ч. Пар производится паровым котлом E35-3,9-440, работающим на лузге подсолнечника. Давление в конденсаторе 0,035 бар. Охлаждающая вода охлаждается в испарительной градирне. Нагрев основного конденсата осуществляется паром из отбора в подогревателе питательной воды, после чего он поступает в теплообменник, где догревается до температуры 91,7 °С водой, циркулирующей в контуре охлаждения решетки котла. После он направляется в деаэратор (6 бар). После деаэратора питательная вода нагревается в подогревателе высокого давления до 170 °С паром из отбора.

Тепловая нагрузка подогревателя в приведенной схеме составляет 1763 кВт. Анализ эффективности проводился для более широкого диапазона мощностей подогревателей от 350 кВт до 5300 кВт, что эквивалентно мощностям электростанций от 2 МВт до 27 МВт. Температуры греющего теплоносителя (охлаждающая вода решетки котла) 123,3–115 °С, нагреваемого (основной конденсат турбоустановки) – 44–91,7 °С, процессы теплообмена без фазового перехода.

Была проанализирована эффективность пластинчатых и кожухотрубчатых теплообменников,

устанавливаемых в качестве такого подогревателя. Выбор оптимальных теплообменников проводилась с помощью разработанного авторами инструмента – алгоритмов ОКТО и ОПТО и написанной по ним программе [3– 9] – по критерию эффективности приведенные затраты. Этот критерий включает в себя как капитальные вложения в теплообменник, так и эксплуатационные расходы. Оптимизировалась только конструкция теплообменников, параметры схемы оставались неизменными.

Обсуждение результатов

На основании проведенных вычислительных экспериментов были выработаны следующие рекомендации.

Сравнение оптимальных кожухотрубчатых и пластинчатых теплообменников по критерию эффективности приведенные затраты представлено на рис. 2. Здесь видно, что на всём диапазоне нагрузок пластинчатые теплообменники показывают более высокую эффективность по сравнению с кожухотрубными.

В ходе проведения вычислительного эксперимента было установлено, что оптимальная скорость воды в трубках кожухотрубчатого теплообменника (греющий теплоноситель) составляет примерно 2,3 м/с, в межтрубном пространстве – примерно 0,43 м/с.

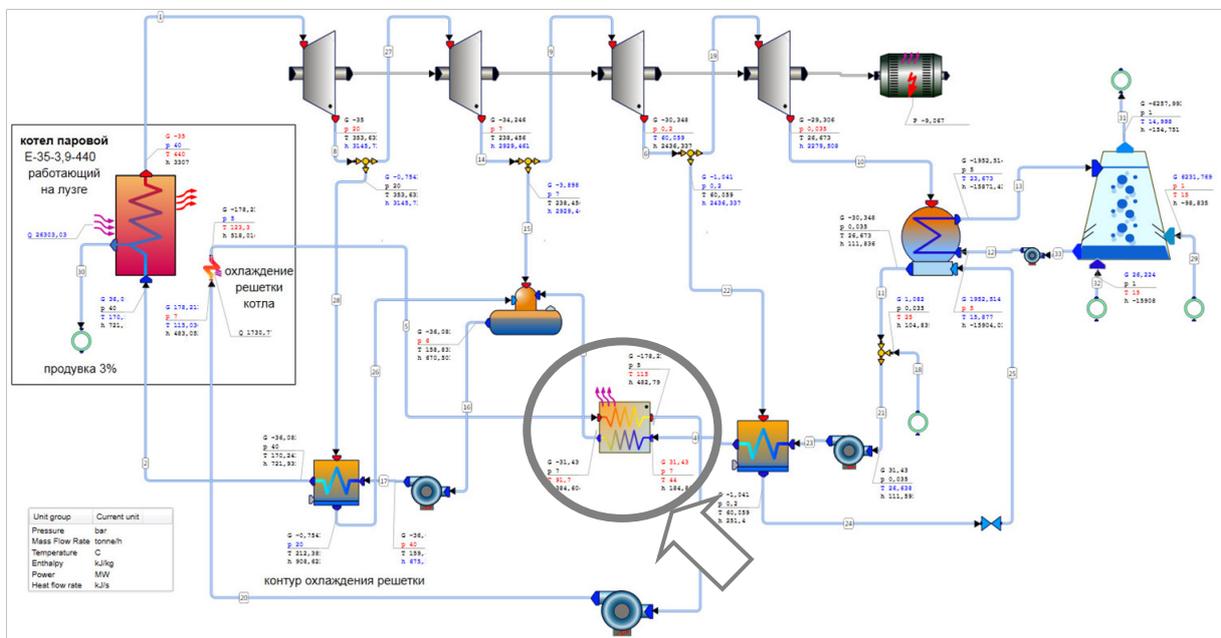


Рис. 1 – Место рассматриваемого теплообменника в схеме паротурбинной установки мощностью 9 МВт

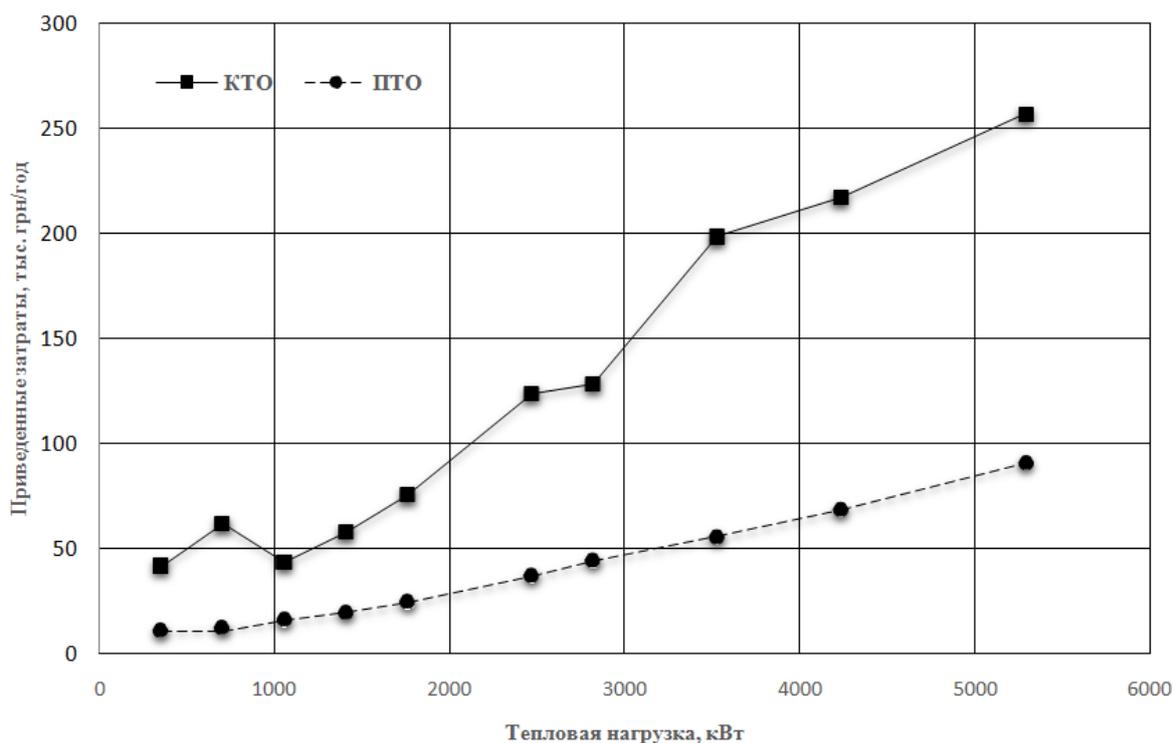


Рис. 2 – Зависимость приведенных затрат от тепловой нагрузки для кожухотрубчатых и пластинчатых теплообменников

Интересно, что несмотря на то, что каналы пластинчатого теплообменника одинаковы геометрически, и в них течёт один теплоноситель (вода), присутствует небольшая разница в оптимальных скоростях теплоносителей: для греющего теплоносителя она составляет примерно 0,55 м/с, для нагреваемого – 0,1 м/с. Это различие может быть связано с различием вязкостей более нагретой воды и менее нагретой. Перекачка более вязкой холодной воды требует больших эксплуатационных расходов на привод нагнетателей. То, что этот фактор существенно влияет на конечную оптимальную скорость теплоносителей, показывает важность учёта эксплуатационных расходов при проведении оптимизации.

Возможные проблемы в применении пластинчатых теплообменников в качестве подогревателей конденсата могут быть связаны с ограничением применимости этого вида аппаратов при высоких давлениях. Подобные проблемы могут возникнуть в подогревателях высокого давления, в рассматриваем же теплообменнике давления невысокие (5 и 7 бар). Кроме того, по мере совершенствования пластинчатых теплообменников они становятся способны работать всё с большими перепадами давлений. Остается однако проблема, связанная с возможностью прогорания пластин теплообменника в поле электрогенератора.

Выводы

Проведенные вычислительные эксперименты позволяют утверждать, что применение пластинчатых теплообменников в качестве подогревателей конденсата в паротурбинных установках, в частности для контура охлаждения решетки котла, является целесообразным. Однако перед принятием решения о применении этого вида оборудования необходимо проанализировать ограничения по его применению. Также требуется проведение оптимизации конструктивных и режимных параметров, т.к. этот вид теплообменников чувствителен к параметрам рабочих сред.

Список литературы

1. Барановский Н. В., Коваленко Л. М., Ястребенецкий А. Р. *Пластинчатые и спиральные теплообменники*. Москва: Машиностроение, 1973.
2. Тарадай А. М., Гуров О. И., Коваленко Л. М. *Пластинчатые теплообменные аппараты*. Под ред. Н. М. Зингера. Харьков: Прапор, 1995.
3. Каневец Г. Е. *Обобщённые методы расчета теплообменников*. Киев: Наукова думка, 1979. 352 с.
4. Каневец Г. Е. *Теплообменники и теплообменные системы*. Киев: Наукова думка, 1981. 272 с.
5. Каневец Г. Е., Сагань И. И., Иванова Н. В., Поржезинский Ю. Г., Разладин Ю.С. *Оптимизация теплообменного оборудования пищевых производств*. Киев: Техніка, 1981. 192 с.
6. Каневец Г. Е., Алтухова О. В., Суима С. Д. Пилотный синтезатор средств оптимизации промышленных пластинчатых теплообменников.

- тых теплообменников. *Математические методы в технике и технологиях*, – ММТТ-25 сб. трудов XXV Междунар. науч. конф.: в 10 т. Т. 10. Секция 12 / под общ. ред. А. А. Большакова. Волгоград: Волгогр. гос. техн. ун-т, 2012; Харьков. Нац. техн. ун-т «ХПИ», 2012. 224 с. С. 50–53. ISBN 978-5-7433-2386-9.
- Каневец Г. Е., Алтухова О. В. Синтезатор средств оптимизационного вычислительного эксперимента с теплообменным оборудованием различных конструкций и назначения как инструмент повышения эффективности теплообменников муниципальной энергетики. *Наукове видання. Муніципальна енергетика: Проблеми, рішення. П'ята міжнародна науково-технічна конференція*. Миколаїв: НУК, 2013. 288 с. С. 103–106. ISBN 978-966-321-288-3.
 - Каневец Г. Е., Алтухова О. В. Синтезатор алгоритмов и программ ОКПТО-2014. Структура, область применения, дальнейшие пути совершенствования. *Інтегровані технології та енергозбереження*. Харків: НТУ «ХПІ», 2014. № 4. 148 с. С. 130–133. ISSN 2078-5364.
 - Коваленко Л. М., Рудь С. Л. *Пластинчатые теплообменные аппараты: каталог УкрНИИХиммаш*. Москва: Цинтихимнефтемаш, 1983. 51 с.
 - Kanevets, G. E. (1981), *Teploobmenniki i teploobmennyye sistemy* [Heat exchangers and heat exchange system], Naukova dumka, Kiev, Ukraine.
 - Kanevets, G. E., Sagan, I. I. and Ivanova, N. V. Porzhezinsky Y. G., Razladin Y. S. (1981), *Optimizatsiya teploobmennogo oborudovaniya pishchevykh proizvodstv* [Optimization of heat exchange equipment for food production], Tekhnika, Kiev, Ukraine.
 - Kanevets, G. E., Altukhova, O. V. and Suima, S. D. (2012), “Pilotsnyy sintezator sredstv optimizatsii promyshlennykh plastinchatykh teploobmennikov [The pilot synthesizer of means optimization of industrial heat exchangers]”, *Matematicheskiye metody v tekhnike i tekhnologiyakh*, NTU “KhPI”, Kharkov, pp. 50–53, ISBN 978-5-7433-2386-9.
 - Kanevets, G. E. and Altukhova O. V. (2013), “Sintezator sredstv optimizatsionnogo vychislitel'nogo eksperimenta s teploobmennym oborudovaniyem razlichnykh konstruktsiy i naznacheniya kak instrument povysheniya effektivnosti teploobmennikov munitsipal'noy energetiki [Synthesizer optimization means of computer simulation of heat exchange equipment of various designs and purpose as a tool to improve the efficiency of heat exchangers municipal energy]”, *Munitsipal'na yenergetika: Problemi, rishennya*, NUK, Nikolaev, pp. 103–106, ISBN 978-966-321-288-3.
 - Kanevets, G. E. and Altukhova O. V. (2014), “Sintezator algoritmov i programm OKPТО-2014. Struktura, oblast' primeneniya, dal'neyshiyе puti sovershenstvovaniya [Synthesizer algorithms and programs OKPТО-2014. The structure, scope, further ways of improving]”, *Integrovani tekhnologii ta yenergozberzhennya*, NTU “KhPI”, Kharkov, pp. 130–133. ISSN 2078-5364.
 - Kovalenko, L. M. and Rud, S. L. (1983), *Plate heat exchangers: Catalog UkrNIHimMash*, Tsintikhimneftemash, Moscow, Russia.

References (transliterated)

Поступила (received) 12.03.2019

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Алтухова Ольга Василівна (Алтухова Ольга Васильевна, Olga Altukhova) – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», асистент кафедри теплотехніки та енергоефективних технологій; м. Харків, Україна; e-mail: ovaolga@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0575-3047>

Канівець Георгій Євдокимович (Каневець Георгий Евдокимович, George Kanevets) – доктор технічних наук, професор; e-mail: gekan37@gmail.com.

Мавріч Євген Олександрович (Маврич Евгений Александрович, Evgen Mavritch) – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», студент кафедри теплотехніки та енергоефективних технологій; м. Харків, Україна.