

О. В. АЛТУХОВА, Г. Е. КАНЕВЕЦ

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПЛАСТИНЧАТЫХ ТЕПЛООБМЕННИКОВ: КОМПЛЕКСНЫЙ ОПТИМИЗАЦИОННЫЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ

АННОТАЦИЯ В статье изложены некоторые пути развития алгоритмов оптимизации пластинчатых теплообменников: рекомендации по выбору оптимальных скоростей теплоносителей, точности проведения отдельных частей расчётов (теплого и гидравлического), порядку и шагу перебора независимых переменных. Рекомендации получены как результат проведения ряда оптимизационных вычислительных экспериментов с помощью разработанных авторами алгоритма и программы оптимизации пластинчатых теплообменников (ОПТО).

Ключевые слова: пластинчатые теплообменники, оптимизация, алгоритмы оптимизации, алгоритмы поиска экстремума критерия эффективности.

O. ALTUKHOVA, G. KANEVETS

THE EFFICIENCY OF PLATE-TYPE HEAT EXCHANGERS: INTEGRATED COMPUTATIONAL OPTIMIZATION EXPERIMENT

ABSTRACT This scientific paper gives recommendations on the development of the algorithms for computational optimization experiments using the algorithms and OPHEX programs developed by the authors. The following key recommendations have been suggested: 1. Recommendations on the order and sorting interval of independent variables. These recommendations were worked out using the data of the ranging of independent variables in terms of their influence on optimization results. The order of influence of these variables for different types of equipment has been given. 2. Recommendations on the choice of optimal media rates. The values of optimal rates of heat carriers used at the present time for manual and automatic calculations were obtained long ago and therefore these fail to take into account changed economic factors and require more accurate definition. The data of multiple calculations were generalized and the recommendations on the selection of optimal rates for heat carriers were worked out taking into consideration current prices and their change with an increase in energy and material prices was predicted. 3. Recommendations on the possibility of simplification of the models for some calculations with no significant loss in the general computation accuracy. This section gives the conclusions on the degree of influence produced by the individual parts of computation on its general results and optimization results on the whole. We came to the conclusions based on the data of computational experiments. The recommendations given can be included in the form of heuristics into the optimization algorithms of the plate-type heat exchangers that considerably reduces the dimension of optimization problem and allows us to increase its efficiency at the same machine resource.

Key words: plate-type heat exchangers, optimization, optimization algorithms, efficiency criterion extremum search algorithms.

Введение

Пластинчатые теплообменники (ПТО) показывают высокую эффективность в сравнении с традиционными кожухотрубчатыми во многих областях в связи с компактностью, меньшей металлоемкостью, простотой обслуживания. По мере совершенствования этого вида оборудования возможна замена им кожухотрубчатых теплообменников (КТО) всё в большем числе случаев.

Для повышения эффективности как вновь проектируемого, так и заменяемого оборудования требуется его оптимизация. И если методы оптимизации КТО проработаны достаточно детально [1–3], то методы поиска экстремума критерия эффективности при оптимизации ПТО нуждаются в доработке.

Основная трудность при проведении оптимизации теплообменного оборудования – огромные объёмы вычислений. Проектный расчёт теплообменника содержит сотни вычислений, а для достаточно полной оптимизации необходимо проводить десятки, а иногда и сотни тысяч таких расчётов. Например, при проектной оптимизации

пластинчатого маслоохладителя турбины при переборе всего четырех типов пластин количество только реальных вариантов конструкций теплообменников составляет примерно 1,35 млн. Банальное сокращение количества перебираемых вариантов снижает эффективность выбранного теплообменника. Поэтому для сокращения размерности задачи оптимизации требуются обоснованные выводы, позволяющие отсекаать только заведомо неоптимальные варианты.

Цель работы

Цель работы состоит в поиске путей развития алгоритма оптимизации пластинчатых теплообменников, а именно в усовершенствовании методов поиска экстремума критерия оптимальности.

Изложение основного материала

Ниже приведены некоторые рекомендации по усовершенствованию алгоритмов поиска экстремума с целью сокращения объёма проводимых вычислений без существенного снижения эффек-

тивности выбираемого теплообменника (ТО).

Рекомендации выработаны по результатам проведения ряда вычислительных экспериментов с помощью разработанного авторами инструмента – алгоритма оптимизации пластинчатых теплообменников (ОПТО) и написанной по нему программе [4–6]. ОПТО построен на основе обобщенного структурно-модульного подхода, что позволяет легко расширять его и применять для расчёта различных видов оборудования для широкого спектра задач расчёта; можно проводить оптимизацию теплообменников по конструктивным и режимным параметрам, реализована возможность формирования теплообменника как комплекса аппаратов, соединенных различными схемами тока сред.

В качестве объектов при проведении вычислительного эксперимента выбраны маслоохладители турбин и теплообменники домовых систем отопления¹.

В ходе вычислительного эксперимента сравнивались эффективности кожухотрубчатых и пластинчатых теплообменников по двум критериям: приведенные затраты, который включает как капитальные вложения в теплообменник, так и эксплуатационные расходы, и просто капитальные вложения.

Независимые переменные при проведении оптимизации: $N_{\text{канО}}$, $N_{\text{канВ}}$ – количества каналов в пластинчатом теплообменном аппарате по средам, отдающей и воспринимающей тепло (средам О и В); $U_{\text{О}}$, $U_{\text{В}}$ – числа рядов аппаратов в теплообменнике по средам О и В для заданных регулярных комплексов аппаратов; $F_{\text{пл}}$ – площадь теплопередающей поверхности пластины; $t_{\text{БК}}$ – конечная температура охлаждающей воды.

Установлено, что для выбранных объектов пластинчатые теплообменники по выбранному критерию практически в 2 раза экономичнее кожухотрубчатых.

Обсуждение результатов

На основании проведенных вычислительных экспериментов были выработаны следующие рекомендации.

1 Рекомендации относительно порядка и шага перебора независимых переменных

¹ Маслоохладители турбин. Среда О – масло. Процесс теплообмена – без изменения агрегатного состояния (охлаждение). Загрязнение – масло машинное и трансформаторное $R_0 = 0,00015 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$. Начальная температура $t_{\text{он}} = 65 \text{ }^\circ\text{C}$, конечная $t_{\text{ок}} = 50 \text{ }^\circ\text{C}$. Начальная температура охлаждающей воды $t_{\text{вн}} = 15 \text{ }^\circ\text{C}$, конечная находится в процессе оптимизации из интервала $t_{\text{вк}} = 20\text{--}60 \text{ }^\circ\text{C}$ с шагом $\Delta t_{\text{вк}} = 5 \text{ }^\circ\text{C}$.

Теплообменники системы отопления. Среда О и В – вода. Процессы теплообмена – без изменения агрегатного состояния. Загрязнения – вода жесткая. Температурный режим: $t_{\text{он}} = 150 \text{ }^\circ\text{C}$, $t_{\text{ок}} = 70 \text{ }^\circ\text{C}$, $t_{\text{вн}} = 60 \text{ }^\circ\text{C}$, $t_{\text{вк}} = 90 \text{ }^\circ\text{C}$. Оптимизация режимных параметров не проводится.

По степени влияния на результаты оптимизации вышеуказанные независимые переменные расположились в следующем порядке:

- Для маслоохладителей:
 - по критерию оптимальности приведенные затраты: $t_{\text{БК}}$; $N_{\text{канО}}$; $U_{\text{В}}$; $N_{\text{канВ}}$; $U_{\text{О}}$; $F_{\text{пл}}$;
 - по критерию оптимальности капитальные вложения: $t_{\text{БК}}$; $N_{\text{канВ}}$; $N_{\text{канО}}$; $U_{\text{О}}$; $U_{\text{В}}$; $F_{\text{пл}}$.
- Для теплообменников системы отопления по критериям оптимальности приведенные затраты и капитальные вложения результаты ранжирования совпадают: $F_{\text{пл}}$; $N_{\text{канВ}}$; $U_{\text{О}}$; $N_{\text{канО}}$; $U_{\text{В}}$.

Полученные результаты позволяют определить очерёдность и шаг перебора независимых переменных при реализации методов поиска экстремума. Чем существеннее влияние независимой переменной на результаты оптимизации, тем больше шагов по ней необходимо сделать при поиске оптимума, и наоборот, если влияние переменной незначительно, можно ограничиться перебором небольшого количества её значений на завершающих этапах поиска экстремума целевой функции.

2 Рекомендации по выбору оптимальных скоростей сред

Проектирование любого теплообменника начинается с задания скоростей теплоносителей, которые выбираются в определенных диапазонах. Это же касается и изначального выбора диапазона перебираемых скоростей при проведении оптимизации. Такие диапазоны рекомендованы многочисленной литературой и устанавливаются в пределах до 1 м/с для невязких жидкостей (например, воды) и несколько меньшей – до 0,4 м/с – для вязких (например, масел) [7, 8], некоторые источники рекомендуют формулы расчёта оптимальной скорости для каждого конкретного случая [9]. Однако не ясно, насколько актуальны такие оптимальные скорости с учётом изменившихся цен на материалы и энергоносители. Со времени, когда были сформулированы эти рекомендации, соотношения цен металла и энергии на перекачку теплоносителей поменялись, поэтому существует необходимость уточнения оптимальных скоростей теплоносителей.

В ходе проведения вычислительного эксперимента для маслоохладителей турбин и теплофикационных теплообменников установлено, что оптимальная скорость воды при нынешнем уровне цен примерно 0,2 м/с и изменяется в диапазоне 0,01–0,5 м/с, масла – 0,35 м/с (0,1–0,65 м/с).

Из полученных результатов можно сделать вывод, что оптимальная скорость теплоносителей при нынешних уровнях цен несколько ниже, чем рекомендованная литературой.

Интересен также тот факт, что оптимальная скорость масла выходит большей, чем оптимальная скорость воды. В литературе она устанавлива-

ется меньшей в связи с тем, что вязкость масла значительно больше вязкости воды, поэтому на его перекачку требуются большие энергозатраты. Изменившиеся соотношения капитальных и эксплуатационных расходов при нынешних ценах требует снижения скорости теплоносителей, что видно на примере воды. Но, как показывает эксперимент, снижения оптимальной скорости масла пропорционально снижению скорости воды не происходит.

Это обусловлено всё той же повышенной вязкостью этой среды. Для рассматриваемых условий критические скорости, ниже которых происходит переход к ламинарному течению жидкости, для воды – 0,006 м/с, а для масла – 0,67 м/с. Таким образом, маслоохладитель работает в турбулентном режиме по стороне воды и в ламинарном – по стороне масла. Поэтому при пропорциональном снижении скоростей теплоносителей коэффициент теплоотдачи по стороне масла падает быстрее, чем по стороне воды.

Это влияет также и на температуру стенки – при снижении скоростей она приближается ближе к температуре охлаждающей воды. Угол наклона линейно аппроксимированной зависимости критерия Прандтля от температуры в исследуемом интервале работы теплоносителей примерно в 1,8 тыс. раз больше для масла, чем для воды. Следовательно, изменение температуры стенки влияет на поправку на неизотермичность пограничного слоя для масла в 6,5 раз сильнее, чем для воды.

Физически это означает следующее. При снижении скоростей теплоносителей снижение коэффициента теплопередачи вызывает по стороне масла возникновение слоя с преобладанием переноса теплоты теплопроводностью, масло около стенок становится как бы «изолятором». Поэтому для поддержания оптимального коэффициента теплопередачи необходимы достаточно большие скорости масла, тогда как скорость воды можно снижать значительно.

На рис. 1 приведены зависимости оптимальных скоростей теплоносителей при изменении цен на электроэнергию и металл.

При росте цены электроэнергии оптимальные скорости теплоносителей уменьшаются, причем для масла быстрее, при увеличении цены в 5 раз оптимальные скорости масла и воды примерно равны. При росте цены в 10 раз оптимальные скорости немного больше 0,1 м/с. При росте цены металла оптимальные скорости теплоносителей возрастают, при росте цены в 10 раз оптимальные скорости воды находятся на уровне 0,3 м/с, масла – 0,6 м/с. Обобщив полученные данные для воды можно получить следующую зависимость оптимальной скорости её (в м/с) от цен на металл и электроэнергию

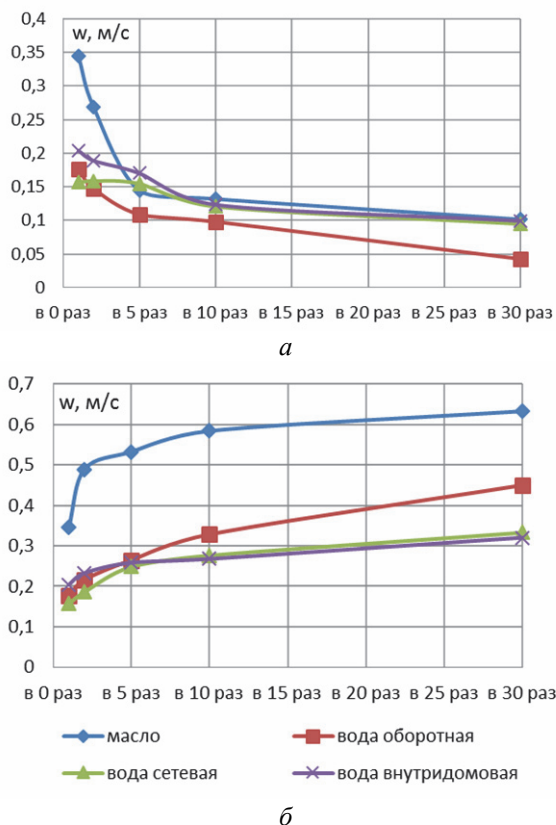


Рис. 1 – Зависимость усреднённых оптимальных скоростей теплоносителей от роста цен: а – электроэнергии; б – металла

$$w_{\text{опт}} = 8,19 \cdot 10^{-2} \cdot \left(\frac{C_{\text{мет}}}{C_{\text{эз}}} \right)^{0,2}$$

где $C_{\text{мет}}$ – цена материала пластин, у.е./кг; $C_{\text{эз}}$ – цена электроэнергии, у.е./(кВт·ч).

Полученную зависимость можно также использовать для оценки оптимальных скоростей сред при использовании для производства теплообменников дорогостоящих металлов.

3 Рекомендации по возможности упрощения моделей отдельных расчётов без существенного изменения общей точности расчёта

Исследовалось влияние погрешностей расчёта, допущенных на этапе расчёта коэффициента теплопередачи k (тепловой расчёт) и падений давления в теплообменнике по обеим средам ΔP_0 и ΔP_B (гидравлический расчёт), на конечные результаты расчёта теплообменника и его оптимизации. В табл. 1 приведены степени зависимости конечной погрешности расчёта от изначально допущенной погрешности. Фактически эти значения представляют собой процент погрешности расчёта указанной величины при допущении погрешности в 1 % при расчёте k , ΔP_0 или ΔP_B .

Таблица 1 – Влияние погрешности отдельных расчётов на итоговые результаты расчёта и оптимизации теплообменника

Итоговые результаты расчёта и оптимизации	Степень влияния при корректировке					
	для маслоохладителя			для теплообменника системы отопления		
	k	ΔP_O	ΔP_B	k	ΔP_O	ΔP_B
Приведенные затраты, З	-2,25	0,14	0,01	-1,35	$1,2 \cdot 10^{-3}$	$6,8 \cdot 10^{-3}$
Капитальные вложения, К	-3,03	$8,3 \cdot 10^{-2}$	$5,6 \cdot 10^{-3}$	-1,90	$7 \cdot 10^{-4}$	$3,7 \cdot 10^{-3}$
Эксплуатационные расходы, Э	-1,59	0,18	$1,3 \cdot 10^{-2}$	-0,88	$1,8 \cdot 10^{-3}$	$9,7 \cdot 10^{-3}$
Поверхность теплообмена, F	-1,89	0	0	-1,75	0	0
Скорость среды O, w_O	-0,49	-0,81	$-2,6 \cdot 10^{-2}$	-0,32	-0,25	0,25
Скорость среды B, w_B	$1,7 \cdot 10^{-2}$	-0,35	-0,56	-0,16	0,13	-0,13
Конечная температура охлаждающей воды, t_{BK}	0,22	$1,7 \cdot 10^{-2}$	0	-	-	-

Таким образом, при погрешности расчёта коэффициента теплопередачи в 1 % погрешность определения поверхности теплообмена составляет примерно 2 %. При определении экономических величин эта погрешность больше влияет при расчёте маслоохладителя, чем теплообменника системы отопления. Здесь соответственно влияние следующее: при определении приведенных затрат 2,2 %/1,4 % соответственно на каждый процент погрешности; капитальных вложений 3 %/1,9 %; эксплуатационных расходов 1,6 %/0,9 %. Зависимость погрешности расчёта экономических величин от погрешности расчёта гидравлических сопротивлений значительно меньше: около 1 % на каждые 10 % погрешности ΔP для масла, и меньше 1 % на каждые 100 % погрешности ΔP для воды. Зависимости поверхности теплообмена от коэффициента коррекции к гидравлическим сопротивлениям по обеим средам не просматривается, т.к. при расчёте этой поверхности гидравлические сопротивления не учитываются (гидравлический расчёт производится после теплового). Погрешность нахождения оптимальной скорости теплоносителей примерно 1–8 % на каждые 10 % погрешности расчёта коэффициента теплопередачи или гидравлического сопротивления. Погрешность расчёта коэффициента теплопередачи в 1 % приводит к погрешности определения оптимальной конечной температуры охлаждающей среды в маслоохладителе в 0,2 %.

Из перечисленных особенностей расчёта можно сделать вывод, что точность гидравлического расчёта влияет на точность основных его результатов в значительно меньшей степени, чем

точность теплового расчёта. Следовательно, при уточнении модели расчёта теплообменника следует уделить основное внимание именно тепловым расчётам. Кроме того, конечная погрешность расчёта значительно больше для маслоохладителей, что, вероятно, связано со значительным влиянием изменения температуры на теплофизические характеристики масла. Поэтому для расчёта этого оборудования стоит применять более точные модели.

Выводы

Приведенные выше рекомендации могут быть включены в виде эвристик в алгоритмы оптимизации пластинчатых теплообменников. При этом существенно уменьшается размерность задачи оптимизации, что позволяет повысить её эффективность при том же машинном ресурсе.

Список литературы

- 1 **Каневец, Г. Е.** Обобщённые методы расчета теплообменников / **Г. Е. Каневец** – Киев : Наукова думка, 1979. – 352 с.
- 2 **Каневец, Г. Е.** Теплообменники и теплообменные системы / **Г. Е. Каневец** – Киев : Наукова думка, 1981. – 272 с.
- 3 **Каневец, Г. Е.** Оптимизация теплообменного оборудования пищевых производств / **Г. Е. Каневец, И. И. Сагань, Н. В. Иванова** и др. – Киев : Техніка, 1981. – 192 с.
- 4 **Каневец, Г. Е.** Пилотный синтезатор средств оптимизации промышленных пластинчатых теплообменников / **Г. Е. Каневец, О. В. Алтухова, С. Д. Суима** // Математические методы в технике и технологиях, – ММТТ-25 : сб. трудов XXV Международ. науч. конф.: в 10 т. Т. 10. Секция 12 / под общ. ред. **А. А. Большакова**. – Волгоград : Волгogr. гос. техн. ун-т, 2012 ; Харьков : Национ. техн. ун-т «ХПИ», 2012. – 224 с. – С. 50–53. – ISBN 978-5-7433-2386-9.
- 5 **Каневец, Г. Е.** Синтезатор средств оптимизационного вычислительного эксперимента с теплообменным оборудованием различных конструкций и назначения как инструмент повышения эффективности теплообменников муниципальной энергетики / **Г. Е. Каневец, О. В. Алтухова** // 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.
- 6 **Каневец, Г. Е.** Синтезатор алгоритмов и программ ОКПТО-2014. Структура, область применения, дальнейшие пути совершенствования / **Г. Е. Каневец, О. В. Алтухова** // Интегровані технології та енергозбереження. – Харків : НТУ «ХПІ», 2014. – № 4. – 148 с. – С. 130–133. – ISSN 2078-5364.
- 7 **Барановский, Н. В.** Пластинчатые и спиральные теплообменники / **Н. В. Барановский, Л. М. Коваленко, А. Р. Ястребенецкий**. – Москва : Машиностроение, 1973.
- 8 **Тарадай, А. М.** Пластинчатые теплообменные аппараты / **А. М. Тарадай, О. И. Гуров, Л. М. Коваленко**, под. ред. **Н. М. Зингера**. – Харь-

ков : Прапор, 1995.

- 9 Пластинчатые теплообменные аппараты : Каталог УкрНИИХиммаш / Сост. **Л. М. Коваленко, С. Л. Рудь**. – Москва : Цинтихимнефтемаш, 1983. – 51 с.

Bibliography (transliterated)

- Kanevets, G. E.** (1979), *Obobshchennyye metody rascheta teploobmennikov [Generalized methods of calculation of heat exchangers]*, Naukova dumka, Kiev, Ukraine.
- 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.** (1981), *Optimizatsiya teploobmennogo oborudovaniya pishchevyykh proizvodstv [Optimization of heat exchange equipment for food production]*, Tekhnika, Kiev, Ukraine.
- Kanevets, G. E., Altukhova, O. V. and Suima, S. D.** (2012), "Pilotnyy sintezator sredstv optimizatsii promyshlennykh plastinchatyykh 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 konstruksiy 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 OKPTO-2014. Struktura, oblast' primeneniya, dal'neyshiyeh puti sovershenstvovaniya [Synthesizer algorithms and programs OKPTO-2014. The structure, scope, further ways of improving]", *Integrovani tekhnologii ta yenergozberzhennya*, NTU "KhPI", Kharkov, pp. 130–133, ISSN 2078-5364.
- Baranovsky, N. V., Kovalenko, L. M. and Yastrebenetsky, A. R.** (1973), *Plastinchatyye i spiral'nyye teploobmenniki [The plate and spiral heat exchangers]*, Mashinostroyeniye, Moscow, Russia.
- Taraday, A. M., Gurov, O. I., Kovalenko, L. M. and Zinger, N. M.** (1995), *Plastinchatyye teploobmennyye apparaty [Plate heat exchangers]*, Prapor, Kharkov, Ukraine.
- Kovalenko, L. M. and Rud, S. L.** (1983), *Plate heat exchangers: Catalog UkrNIHimMash*, Tsintikhimneftemash, Moscow, Russia.

Сведения об авторах (About authors)

Алтухова Ольга Васильевна – ассистент кафедры теплотехники и энергоэффективных технологий, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»; г. Харьков, Украина; e-mail: ovaolga@gmail.com, ORCID 0000-0003-0575-3047.

Altukhova Olga – Assistant, Department of power engineering, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv, Ukraine.

Каневец Георгий Евдокимович – доктор технических наук, профессор; e-mail: gekan37@gmail.com.

Kanevets George – Doctor of Technical Sciences, Professor.

Пожалуйста ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Алтухова, О. В. Эффективность пластинчатых теплообменников: комплексный оптимизационный вычислительный эксперимент / **О. В. Алтухова, Г. Е. Каневец** // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – № 9(1231). – С. 52–56. – Бібліогр.: 9 назв. – ISSN 2078-774X. – doi: 10.20998/2078-774X.2017.09.08.

Please cite this article as:

Altukhova, O. and Kanevets, G. (2017), "The Efficiency of Plate-Type Heat Exchangers: Integrated Computational Optimization Experiment", *Bulletin of NTU "KhPI". Series: Power and heat engineering processes and equipment*, No. 9(1231), pp. 52–56, ISSN 2078-774X, doi: 10.20998/2078-774X.2017.09.08.

Будь ласка посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Алтухова, О. В. Ефективність пластинчастих теплообмінників: комплексний оптимізаційний розрахунковий експеримент / **О. В. Алтухова, Г. Є. Канівець** // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – № 9(1231). – С. 52–56. – Бібліогр.: 9 назв. – ISSN 2078-774X. – doi: 10.20998/2078-774X.2017.09.08.

АНОТАЦІЯ У статті наводяться деякі шляхи розвитку алгоритмів оптимізації пластинчастих теплообмінників: рекомендації щодо вибору оптимальних швидкостей току теплоносіїв, точності проведення окремих частин розрахунків (теплового та гідравлічного), порядку та шагу перебору незалежних змінних. Рекомендації отримано як результат проведення ряду оптимізаційних розрахункових експериментів за допомогою розроблених авторами алгоритму та програми ОПТО (оптимізація пластинчастих теплообмінників).

Ключові слова: пластинчасті теплообмінники, оптимізація, алгоритми оптимізації, алгоритми пошуку екстремуму критерію ефективності.

Поступила (received) 08.02.2017