

УДК 697.353.2

*А.О. Олексюк д.т.н.; И.Г. Шитикова,  
ДНАСуА, г. Макеевка.*

## **ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ РЕГУЛИРОВАНИЯ НА ВЕЛИЧИНУ ТЕРМИЧЕСКОГО И ЭКСЕРГЕТИЧЕСКОГО КПД В ТЕПЛООБМЕННИКЕ ЗМЕЕВИКОВОГО ТИПА**

### **АННОТАЦИЯ**

Наряду с классическими схемами теплообменников и расположением труб в пучках с разной геометрией — шахматной и коридорной — возможно также использование наиболее эффективной схемы, которой соответствует оптимальный шаг размещения витков и величина диаметра змеевиков по отношению к направлению потока теплоносителя с турбулентным движением. Обнаружено, что в этом случае улучшается интенсификация теплообмена, связанная с активизацией процессов переноса теплоты.

На основе предложенной модели теплообменника и аналогии процессов переноса теплоты получены зависимости для расчета теплообмена при турбулентном безградиентном обтекании змеевиков и установившемся турбулентном течении в теплообменнике.

Ключевые слова: подогревательно-аккумуляторная установка, теплообменный аппарат, трехконтурный теплообменник, система независимого теплоснабжения.

### **Формулировка проблемы**

Для исследования теплообменного аппарата необходимо знать параметры теплоносителя. Определение основных параметров греющего теплоносителя в зависимости от изменения температуры наружного воздуха через равные интервалы, что повлияло на изменение величины как термического, так и эксергетического КПД в течение всего отопительного периода и даже летом, т.к. система горячего водоснабжения работает круглогодично [2, с.5]

### **Анализ последних исследований и публикаций**

Предложенные А.Л. Ефимовым модифицированные уравнения подобия дают неплохой резуль-

тат по теплообмену для нескольких типов каналов, даже при использовании только одного параметра формы канала- $I'/d$ , но для получения аппроксимирующей зависимости по сопротивлениям в диффузорно-конфузорных каналах автору пришлось разделить обработку на две группы с постоянной длиной диффузоров и переменной длиной конфузоров и, наоборот. Это указывает на неполный учет влияния параметров геометрии каналов. [1, с.27]

### **Цель работы**

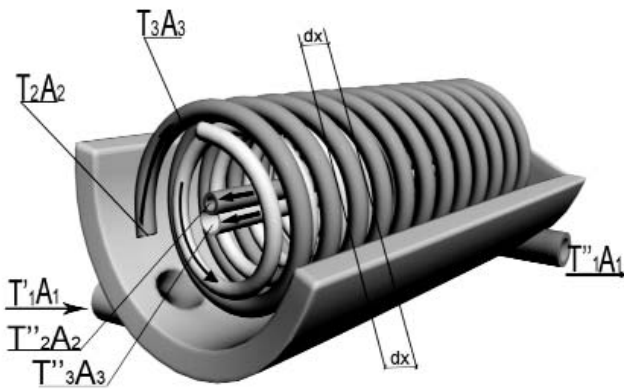
Сравнение эффективности работы теплообменников с помощью эксергетического и термодинамического анализа позволяет наглядно представить целесообразность применения трехконтурных ТО змеевикового типа для независимых систем отопления и горячего водоснабжения на ИТП с ПАУ.

### **Основной материал**

Теплотехнические исследования были выполнены для трехконтурного теплообменника змеевикового типа, обеспечивающего регулирование тепловых нагрузок для систем отопления и горячего водоснабжения. Теплообменник работает следующим образом: первичный теплоноситель поступает в межтрубное пространство теплообменника, образованное корпусом и змеевиковыми трубками. Отдав свою теплоту через поверхности змеевиков систем отопления и горячего водоснабжения, и поверхности корпуса бака-аккумулятора, возвращается к альтернативному источнику теплоты. Нагреваемая водопроводная вода поступает в змеевик системы ГВ, где нагревается до температуры 55-60°С, после чего сливается в аккумулирующую емкость, из которой расходится на нужды горячего водоснабжения. По второму змеевику постоянно циркулирует вода системы отопления при помощи бесшумного насоса. [8, с.5]

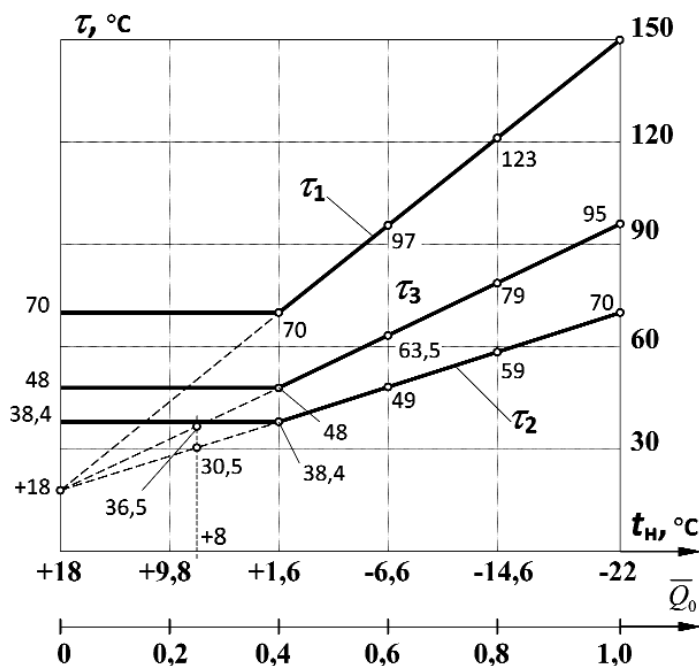
При этом был использован температурный график регулирования отпуска теплоты по совместной нагрузке отопления и горячего водоснабжения, представленный на рис. 2 [9, с.7; 10, с.4].

Согласно этому графику были определены основные параметры греющего теплоносителя в зависимости от изменения температуры наружного воздуха через равные интервалы, что повлияло на изменение величины как термического, так и эксергетического КПД в течение всего отопительного периода и даже летом, т.к. система горячего водоснабжения работает круглогодично. [3, с.16].



**Рис.1.** Сечения многоконтурного ТА змеевикового типа для независимых систем отопления и горячего водоснабжения

Основными расчетными данными послужили температуры первичного теплоносителя  $\tau_1, \tau_2$ , вторичных теплоносителей для систем отопления  $t_{10}$  и  $t_{20}$  и горячего водоснабжения  $t_r$  и  $t_x$ , которые находились в прямой зависимости от температуры наружного воздуха  $t_n$ . Пропорционально изменению температурных напоров, как первичного, так и вторичных теплоносителей, происходило изменение расходов первичного теплоносителя  $G^I_O, G^I_{ГВ}$  и  $\Sigma G$  на отопление и горячее водоснабжение при постоянных расходах вторичных (нагреваемых) теплоносителей  $G^{II}_O, G^{II}_{ГВ}$  для этих же систем [8, с.3].



**Рис. 2.** Температурный график регулирования отпуска теплоты по совместной нагрузке отопления и горячего водоснабжения в г. Донецке

Оценка эффективности работы трехконтурного ТО осуществлялась путем сопоставления значений термического  $\eta_t$  и эксергетического  $\eta_e$  КПД со значениями  $\eta_t^I, \eta_e^I$  для системы отопления, а также для системы горячего водоснабжения  $\eta_t^{II}, \eta_e^{II}$ , с помощью двух скоростных водоподогревателей, выполняющих такую же задачу, как один трехконтурный змеевикового типа. [4,с.23;5,с34].

При этом, рассматриваются две равновеликие системы, с помощью которых достигается поставленная цель. Для равнозначных тепловых нагрузок на отопление и горячее водоснабжение определяются параметры теплоносителя в узловых точках системы, согласно температурного графика регулирования в ПАУ с трехконтурным ТО змеевикового типа и двух скоростных ТО, работающих в том же режиме.

Основные расчетные параметры для определения термического и эксергетического КПД, приведены в табл. 1.

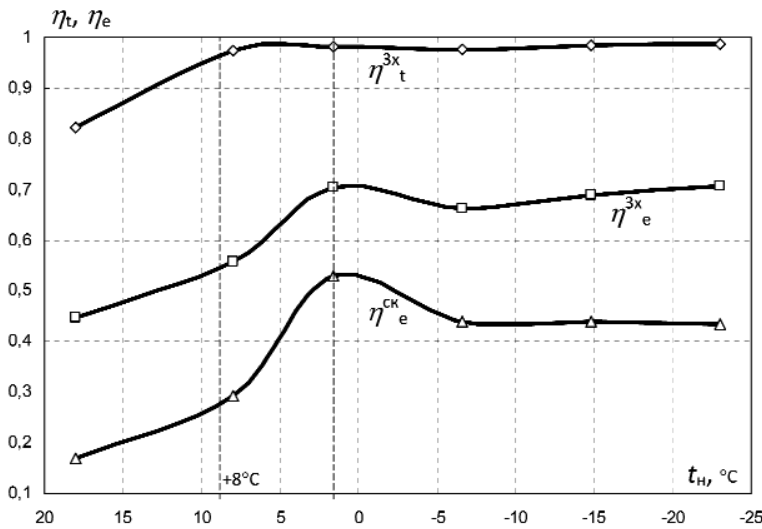
В табл. 1 использовались данные, зависящие от температуры наружного воздуха и принятого графика регулирования, где  $\tau=f(t_n)$  и  $\Sigma G=f(t_n)$ . В диапазоне температур наружного воздуха от  $t_{HO} = -23^\circ\text{C}$  до  $t_{HO}^I = 1,6^\circ\text{C}$  осуществляется качественное регулирование отпуска теплоты на отопление и местное количественное для нагрузки горячего водоснабжения на источнике теплоты. Это соответствует принятому режиму регулирования по совместной нагрузке отопления и горячего водоснабжения. Что касается расходов нагреваемых теплоносителей  $G^{II}_O, G^{II}_{ГВ}$ , то они остались постоянными (см. табл. 1).

Для наглядности был произведен сопоставительный анализ эффективности теплообмена в трехконтурном теплообменнике змеевикового типа по сравнению со скоростными, при одинаковых расходах теплоносителя в местных системах отопления и горячего водоснабжения. [6, с.235].

На рис. 3 показаны значения термических и эксергетических КПД для трехконтурных ТО и суммарные для обычных скоростных, выпускаемых нашей промышленностью. Характер поведения кривых, как для термического, так и эксергетического КПД в этих теплообменных аппаратах примерно одинаков, но отличается по абсолютной величине в пользу трехконтурных. Кри-

Таблиця 1. Сравнение термического и эксергетического КПД трехконтурного теплообменника змеевикowego типа при качественном регулировании по совместной нагрузке отопления и горячего водоснабжения, со скоростными ТО

$t_{in}, ^\circ\text{C}/^\circ\text{K}$	Расходы теплоносителей, кг/с				Температуры теплоносителей, $^\circ\text{C}$						Значения КПД змеевикowego типа		Значения КПД для скоростных теплообменников					
	Первичного		Вторичного		Теплосеть		Отопление		ГВ		$\eta_i$	$\eta_e$	На отоплен.		На ГВ			
	$\sum G$	$G'_{GO}$	$G'_{ГВ}$	$G''_{GO}$	$G''_{ГВ}$	$t_1$	$t_2$	$t_{10}$	$t_{20}$	$t_k$			$t_r$	$\eta'_i$	$\eta'_e$	$\eta''_i$	$\eta''_e$	
$\frac{-23}{250}$	4,08	2,34	1,74	7,48	2,53	150	70	95	70	5	60	0,9871	0,7058	0,9882	0,85	0,9736	0,5119	0,4352
$\frac{-14,8}{258,2}$	4,515	2,34	2,175	7,48	2,53	123	59	79	59	5	60	0,9851	0,6878	0,9820	0,8414	0,9831	0,5226	0,4397
$\frac{-6,6}{266,4}$	5,24	2,34	2,90	7,48	2,53	97	49	63,5	49	5	60	0,9781	0,6621	0,9627	0,8048	0,9868	0,5473	0,4404
$\frac{1,6}{271,4}$	6,74	2,34	4,4	7,48	2,53	70	38,4	48	38,4	5	60	0,9809	0,7049	0,9602	0,8339	0,9920	0,6363	0,5306
$\frac{8}{281}$	5,826	1,426	4,40	7,48	2,53	70	38,4	36,5	30,5	5	60	0,9883	0,5587	0,9965	0,5371	0,9920	0,5439	0,2921
$\frac{18}{291}$	4,40	-	4,40	-	2,53	70	38,4	-	-	15	60	0,8215	0,4480	-	-	0,8215	0,4480	0,4480



**Рис. 3.** Сравнение термических и эксергетических КПД трехконтурного ТО змеевикового типа со скоростными в зависимости от режимов регулирования отпуска теплоты

вые эксергетических КПД имеют некоторый всплеск на увеличение, что объясняется увеличением расхода греющего теплоносителя в точке излома температурного графика  $t_n = 1,6^\circ\text{C}$ , при переходе от качественного регулирования к местному количественному, а затем постепенное снижение до  $t_n = +8^\circ\text{C}$ , соответствующей началу отопительного периода.

В летний период имеет место только одна нагрузка горячего водоснабжения, но эксергетический КПД продолжает снижаться из-за увеличения потерь эксергии в контуре системы горячего водоснабжения, так как температурный перепад греющего теплоносителя остается постоянным, а нагреваемой воды — уменьшается за счет повышения температуры холодной водопроводной воды  $t_{х.л.}$  в летний период на входе в ТА.

Сравнение эффективности работы теплообменников с помощью эксергетического и термодинамического анализа позволяет наглядно представить целесообразность применения трехконтурных ТО змеевикового типа для независимых систем отопления и горячего водоснабжения на ИТП с ПАУ.

Полученные результаты могут быть использованы при разработке рекомендаций по повышению эксергетической эффективности трехконтурных теплообменников, змеевикового типа для ПАУ, устанавливаемых на ИТП серийного производства. Методика расчета эксергетического КПД позволит дать качественную оценку для вновь

проектируемых теплообменных аппаратов змеевикового типа, в которых эксергетический КПД выше в пределах от 22,7% до 38,67%.

Используя методику эксергетического расчета системы, можно более точно определить эксергетический КПД любого теплообменного аппарата. Изменяя основные управляемые параметры и факторы, можно добиться значительного повышения эффективности эксплуатации и оптимизации как самого ТА, так и системы теплоснабжения в целом.

Обработка результатов исследований трехконтурных теплообменников змеевикового типа проводилась на ЭВМ. В качестве целевой функции при термодинамической оптимизации служит эксергетический КПД,  $\eta_e = \Sigma E^{II} / \Sigma E^I$  поскольку он непосредственно отражает термодинамическое совершенство технической системы. Правильный расчет целевой функции возможен только при составлении эксергетического баланса, на основе которого определяется единый эксергетический показатель —  $\eta_e$ . Изменение КПД системы зависит в большей степени от режима ее работы, где в качестве основных параметров выступают: температура наружного воздуха, расходы и расчетные температуры первичного и вторичных теплоносителей для систем отопления и горячего водоснабжения.

По данным табл. 1, используя статистическую оценку результатов расчета коэффициентов уравнений регрессии и коэффициентов корреляции, термической КПД  $\eta_t$  описывается уравнением:

$$\eta_t = -856 + 12,9T_n - 0,072T_n^2 + 0,00018T_n^3 - 1,69 \cdot 10^{-7} \cdot T_n^4 \quad (1)$$

где:  $T_n$  — температура наружного воздуха, К.

Оценка статистической значимости уравнений регрессии и коэффициентов уравнений на адекватность проверяется по критерию Фишера [156]:

$$F = S^2 / S_{\text{ост}}^2 \quad (2)$$

где:

$$S^2 = \frac{\sum y^2 - \left(\frac{1}{n}\right)(\sum y)^2}{n - 1} \quad \text{— среднее квадратичное отклонение, составило } 0,028;$$

$$S_{ост}^2 = \frac{\sum (y - \hat{y})^2}{n - 2} - \text{остаточное среднее квадратичное отклонение.}$$

Адекватность уравнений проверим по критерию Фишера.

Табличные значения критерия Фишера для трехконтурного теплообменника змеевикового типа составляет:

$$\Phi_{3 \text{ конт.}} = 0,695, \text{ для скоростных} - \Phi_{\text{скор.}} = 4,77.$$

Эксергетический КПД  $\eta_e^{3x}$  для трехконтурного ТО змеевикового типа описывается эмпирическим уравнением третьей степени:

$$\eta_e^{3x} = 428 - 4,89T_n + 0,019T_n^2 - 2,36 \cdot 10^{-5}T_n^3, \quad (3)$$

а эксергетический КПД для обычных скоростных теплообменников:

$$\eta_e^{\text{скор.}} = 869 - 9,95T_n + 0,0379T_n^2 - 4,819 \cdot 10^{-6}T_n^3, \quad (4)$$

Табличные значения критерия Фишера [7] свидетельствуют о том, что полученные нами уравнения регрессии при 0,05% процентном уровне (99,95% доверительной вероятности).

Эти эмпирические формулы дают возможность оптимизировать значения термического и эксергетического КПФ, что позволит повысить эффективность теплообмена в трехконтурных теплообменниках змеевикового типа для независимых систем отопления и горячего водоснабжения об ИТП с ПАУ и трехконтурными ТО змеевикового типа.

### Выводы

1. На основании термического и эксергетического анализа была разработана методика расчета по определению термического и эксергетического КПД для оценки эффективности теплообмена в трехконтурных ТО змеевикового типа

2. Определено влияние графика регулирования, отпуска теплоты на эффективность работы местных систем отопления горячего водоснабжения от ИТП с ПАУ и трехконтурными ТО змеевикового типа, в которых эксергетический КПД выше на 20...35% по сравнению со скоростными.

3. Получены эмпирические формулы при обработке статистических данных хорошо аппроксимируют значения кривых, описывающих термические и эксергетический КПД для трехконтурных ТО змеевикового типа.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Усадский Д.Г. Совершенствование схем автономных источников теплоты в системах отопления и горячего водоснабжения Автореф. дис. канд. техн. наук. – Волгоград., 2012. – 18с.

2. Бодрова Е.В. Совершенствование схем альтернативного использования геотермальных источников в системах теплоснабжения Автореф. дис. канд. техн. наук. – Волгоград, 2012. – 16с.

3. Y.A. Sadawarte, T. Hiware. Non Conventional Sources of Energy [Text]/ International Conference on Emerging Frontiers Technology. Proceedings published in International Journal of Computer Applications (IJCA), 2012. – Pg. no 8 – ISSN 2278–0181.

5. L. Wang, B. Sunden, R. M. Manglik G. Plate heat exchangers: design, applications and performance [Text]/ Printed in Great Britain by Athenaeum Press Ltd, 2007. – Pg. no 75 – 5 000 in – ISBN 978-1-85312-737-3.

6. Richard Greene – Process Energy Conservation McGraw Hill. [Text]/ Publisher: McGraw-Hill Companies, Pg. 323 – ISBN-10: 0076068196

7. Манюк В. И. Справочник по наладке и эксплуатации водяных тепловых сетей [Текст] / В. И. Манюк, Я. И. Каплинский, Э. Б. Хиж. – М.: Стройиздат, 1987. – 215 с.

8. Олексюк А. О. Штикова И.Г. Горделюк А.А. Конструктивный расчет теплообменника змеевикового типа для систем отопления и горячего водоснабжения [Текст] / Олексюк А. О. Штикова И.Г. Горделюк А.А. // Журнал "Сучасне промислове та цивільне будівництво". – Макіївка: Вид – во ДонНАБА, 2012. – Т.8. – №1. – С. 37–44. ISSN 1993-3495

9. Ефимов А.Л. Исследование теплообмена и гидродинамики в каналах теплообменных аппаратов сложной геометрии [Текст]. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. – М.: 1980. – 20 с.

10. Патент на полезную модель №81831 Многоконтурный теплообменный аппарат змеевикового типа для независимых систем отопления и горячего водоснабжения. 2013.

### АНОТАЦІЯ

Поряд з класичними схемами теплообмінників і розташуванням труб в пучках з різною геометрією – шаховою та коридорною – можливо також використання найбільш ефективної схеми

який відповідає оптимальний крок розміщення витків і величина діаметра змійовиків стосовно напрямку потоку теплоносія з турбулентним рухом. Виявлено, що в цьому випадку поліпшуються інтенсифікація теплообміну, пов'язана з активізацією процесів переносу.

На основі запропонованої моделі теплообмінника і аналогії процесів перенесення теплоти отримано залежності для розрахунку теплообміну при турбулентному безградієнтному обтіканні змійовиків і сталому турбулентному плинні в теплообміннику.

Ключові слова: підігрівальна-акумуляторна установка, теплообмінний апарат, триконтурний теплообмінник, система незалежного теплопостачання.

#### ANNOTATION

Using of a more effective scheme, which the optimal step of the circuits arrangement and the size of the diameter of the coils in regard to the direction of the heat-carrier flow with the vortical movement complies with, is possible together with classical schemes of the heat exchangers and pipes arrangement in the clusters with various geometry – chess and corridor. It is ascertained that in this case the heat exchange intensifications connected with the activation of the transfer processes improve.

Dependences for the calculation of the heat exchange under the conditions of the vortical non-gradient streamlining of the coils and the stationary vortical flow in the heat exchanger are obtained on basis of the proposed pattern of the heat exchanger and the analogy of the heat transfer processes.

Keywords: reheating battery-driven unit, heat-exchanging apparatus, three-circuit heat exchanger, independent heat supply system.

*УДК 621.86;69:338.26*

*О.В. Федусенко, к.т.н.;*

*І.М. Доманецька, к.т.н.;*

*В.М. Хроленко, к.т.н.; А.О. Федусенко,  
КНУБіА, м. Київ*

### **ВИКОРИСТАННЯ ГЕНЕТИЧНИХ АЛГОРИТМІВ ДО ВИРІШЕННЯ КОМПЛЕКСНОЇ ЗАДАЧІ ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛІННЯ ЛОГІСТИКОЮ ВАНТОЖЕПЕРЕВЕЗЕНЬ У БУДІВНИЦТВІ**

#### АНОТАЦІЯ

Робота присвячена питанням використання генетичних алгоритмів для вирішення однієї з підзадач комплексної задачі оперативного управління логістикою вантажоперевезень у будівництві, а саме до підзадачі маршрутизації. Використання комплексного підходу до задачі оперативного управління логістикою вантажоперевезень дозволить підвищити якість прийняття управлінських рішень в діяльності транспортного управління підприємства великого будівельного холдингу.

Ключові слова: логістика вантажоперевезень, оперативне управління, інформаційна система, системний аналіз, генетичні алгоритми, мутація, ініціалізація, схрещення.

#### **Постановка проблеми та аналіз досліджень**

Велика кількість забудовників на будівельному ринку, який зараз переживає не найкращий час, призводить до загострення конкурентної боротьби і вимагає від учасників даного ринку шукати нові конкурентні переваги. Однією з таких переваг є зниження фінансових витрат від неефективного управління логістикою вантажоперевезень в будівництві. При цьому слід враховувати, що частка транспортних витрат у формуванні ціни на готову будівельну продукцію сягає, 50%[1]. Великі будівельні холдинги, з метою зниження транспортних витрат, створюють спеціалізовані транспортні підприємства, що обслуговують їх будівельні організації. Тому одним з важливих напрямків підвищення ефективності діяльності будівельного холдингу є застосування сучасних засобів інформаційних технологій оперативного управління логістикою вантажоперевезень в транспортному підприємстві [2].

Теоретико-методологічні основи управління логістикою викладені в працях багатьох вітчизня-