

DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-12-47-55

***Елистратова Ю.В., Семиненко А.С., Минко В.А., Рамазанов Р.С.:**
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова
E-mail: yulis3790@mail.ru

ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОТОКОВ ЖИДКОСТИ В ПЛАСТИНЧАТЫХ ТЕПЛООБМЕННИКАХ

Аннотация. Рассмотрена актуальность работы информационно-диагностических систем в сфере мониторинга теплообменного оборудования пластинчатого типа. Надежность контролируемых устройств, требует точного математического описания теплогидродинамических процессов в каналах теплообмена. Классическое описание данных процессов, подразумевает равномерное распределение расходов рабочей среды по длине пакета пластин, что в свою очередь предполагает равные условия формирования продуктов солеотложения на поверхностях нагрева пластинчатого теплообменника. Применение зависимостей, учитывающих равенство расходов по пакету пластин, снижает достоверность диагностики эффективности работы водогрейных аппаратов пластинчатого типа. Так как геометрическое пространство, образованное пластинами представляет собой параллельные каналы, соединенные участками транзитных коллекторов, то в качестве метода гидравлического расчета особенностей распределения потоков жидкости по каналам теплообмена предложен метод характеристик сопротивления. Выявлена зависимость конструктивных особенностей расположения межпластинных каналов относительно входа теплоносителя в распределительный коллектор. Установлено, что в каналах, наиболее удаленных от входного патрубка, расход циркулирующего теплоносителя меньше по сравнению с ближайшими каналами. Гипотеза о влиянии взаимного расположения каналов по отношению к входному патрубку подтверждается численными исследованиями гидродинамического режима пластинчатого теплообменного аппарата.

Ключевые слова: энергоемкость, энергоэффективность, пластинчатые теплообменные аппараты, тепловой режим, гидравлические условия, поверхность нагрева, накипеобразование, каналы теплообмена, потокораспределение, диагностика работы оборудования, сопротивление каналов, характеристика сопротивления.

Введение. В Российской Федерации на долю теплоты приходится около 70 % от всей генерируемой энергии. Высокая энергоемкость систем потребления тепла определяется не только масштабами страны, но и показателями неэффективности конкретной области теплоснабжения [1,2]. Сфера теплоснабжения является самым крупным сегментом, на который расходуются первичные топливно-энергетические ресурсы [2].

Тепловые потери при транспортировке теплоносителя, отсутствие автоматизированного отпуска тепла в тепловых пунктах с учетом погодных условий, эксплуатация устаревшего оборудования, разбалансировка систем отопления и др. требуют дополнительного перерасхода энергии, что повышает показатель энергоемкости систем теплоснабжения в целом [4].

Введение закона о переходе на закрытые системы горячего водоснабжения [5], является одной из мер по снижению расходов на топливных ресурсов и повышению качества теплоснабжения. Данное решение в области модернизации коммунальной энергетики, характеризуется оснащением тепловых пунктов современными высокоэффективными теплообменными аппаратами [6, 7]. Кроме того, наблюдается активная замена, уже эксплуатирующихся кожухотрубных

теплообменников, на более компактные пластинчатые теплообменные устройства [6].

Повсеместно низкое качество водопроводной воды в городах России [8, 9] и относительно малые проходные сечения каналов теплообмена, формируют благоприятные условия для накопления различного рода загрязнений на поверхности нагрева [9, 10]. При этом формирование толщины накипи в пределах 0,3 мм снижает коэффициент теплопередачи примерно в 2,5 раза, в зависимости от конструктивных особенностей аппарата [11]. В результате чего, эффективность работы теплообменного оборудования снижается, а поддержание заданных режимных параметров требует дополнительного перерасхода энергии [9, 11].

Диагностика работы теплообменного оборудования является эффективным инструментом в комплексе мер [2, 12–14] по обеспечению бесперебойной работы аппаратов. Так как своевременное устранение продуктов накипи с поверхностей нагрева не только снижает дополнительные расходы на топливо, но и предупреждает полный выход из строя (прогорание пластин) водогрейного оборудования.

Для проведения конструкторских и поверочных расчетов существуют несколько методик [15–17], в основе которых заложены допущения:

стационарность процесса теплообмена, пренебрежение потерями в окружающую среду; физические свойства жидкости считаются постоянными; распределение расходов теплоносителя по отдельным каналам принимается равномерным; гидравлические условия в пределах отдельных групп каналов одинаковы. Введение подобных упрощений объясняется сложностью геометрической конструкции пластинчатого теплообменного оборудования, которая усложняет принцип описания тепло- гидравлического режима аппарата.

Интеллектуальная составляющая систем информационного контроля работы теплообменных агрегатов базируется на решении математических моделей, описывающих течение конкретного процесса, а определение стабильности работы устройства на сопоставлении текущих рабочих параметров с номинальными значениями в условиях заданного режима [12]. В таком случае теоретическое описание теплогидродинамических процессов в каналах теплообмена должно обладать высокой точностью, учитывать влияние загрязняющих слоев на характер теплообмена, а также иметь минимальные и незначительные погрешности расчета.

В классическом подходе описания теплового режима пластинчатых водонагревателей [15] заложено важное допущение – равенство расходов по всем каналам и равномерный нагрев теплоносителя по длине пакета пластин. При этом через определенное время работы теплообменника следует ожидать формирование одинаковой толщины слоя накипи в каждом канале. Согласно теоретическим и экспериментальным исследованиям [10, 18–20] характер распределения слоев накипи является неравномерным как по поверхности пластины, так и по длине пакета пластин. Поэтому, математическое описание процессов нагрева жидкости в пластинчатых теплообменниках, основанное на равномерном распределении расходов между каналами ведет к снижению точности диагностической системы.

Таким образом, приравнивание гидравлических условий между каналами теплообмена в описании теплогидродинамических процессов теплообменных аппаратов пластинчатого типа, является существенным недостатком.

Цель работы: определить зависимость распределения расходов по каналам теплообмена, учитывая их расположение относительно входа теплоносителя в распределительный коллектор с учетом фактора загрязнения.

Гипотеза. Неравномерность потокораспределения возможно определить методом характеристик сопротивления.

Задачи:

- произвести аналитический расчет потоко-распределения пластинчатого теплообменного аппарата методом характеристик сопротивления;
- проверить справедливость предлагаемой методики расчета, с помощью численного исследования;

- исследовать влияние толщины накипи в каналах теплообмена на распределение объемов жидкости по длине пакета пластин;

Методы исследования. Так как, геометрическое пространство пластинчатого теплообменного аппарата (рис. 1), образованное пластинами представляет собой параллельные каналы теплообмена, соединенные участками транзитных коллекторов, то для описания теплогидродинамических процессов в каналах теплообмена воспользуемся методикой гидравлического расчета с учетом характеристик сопротивления отдельных участков движения рабочих сред [21, 22].

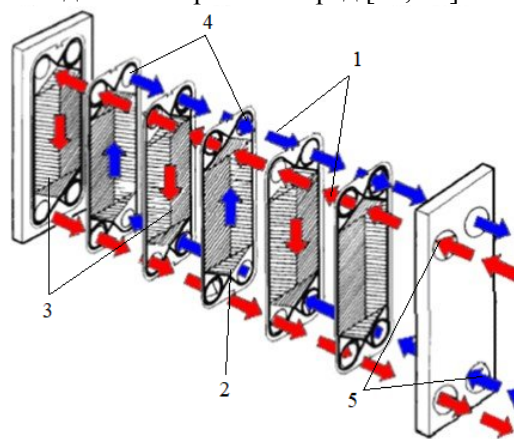


Рис. 1 Принципиальная схема движения рабочих сред в пластинчатом теплообменном аппарате.

1 – участки транзитных коллекторов;
2 – рабочий канал, нагреваемой жидкости; 3 – рабочий канал, греющей жидкости; 4 – угловые отверстия в пластинах; 5 – входные патрубки

Принцип действия пластинчатого теплообменника заключается в том, что жидкость поступает по распределительному коллектору в теплообменные каналы, образованные пластинами. При этом длина коллектора зависит от числа каналов и пластин. Определяя гидравлическое распределение потоков в пластинчатом аппарате, принимаем расчетную схему, представленную на рисунке 2.

Рассмотрим, разборный пластинчатый теплообменник фирмы «Ридан» типа НН-14 ТЛ, с общим количеством пластин 50 штук, при этом сформировано 25 греющих и 23 нагреваемых канала и 2 крайних пластины. Каналы, по которым теплоноситель движется в одном направлении, являются параллельными и заполняются жидко-

стью через продольные коллекторы, образованные чередующимися угловыми отверстиями в пластинах. Нагреваемая и греющая жидкости всегда отделены друг от друга. Общий расход «горячего» теплоносителя на входе в аппарат равен $G_2 = 5,1$ кг/с, а «холодного» $G_x = 1,45$ кг/с.

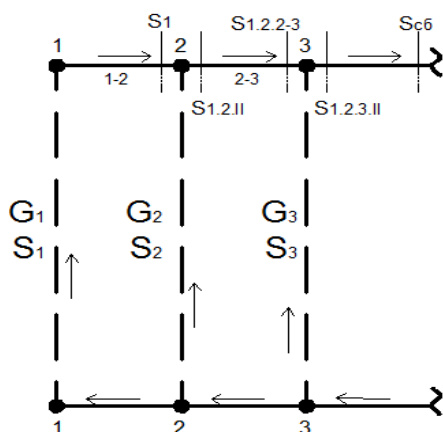


Рис. 2 Расчетная схема гидравлического режима пластинчатого теплообменника

Принимаем к расчету наиболее популярное одностороннее подключение, при котором четыре патрубка подключены к одной пластине. Коэффициенты местных сопротивлений (к.м.с.) учитываем на тройники при растекании потоков по каналам и на тройники при слиянии потоков, в момент выхода жидкости из межпластинного пространства в сборный коллектор. Для самого удаленного канала, относительно входа теплоносителя в аппарат, применяем коэффициент местного сопротивления как для поворотного участка под углом 90° .

Определение коэффициентов на преодоление местных сопротивлений в виде гофр на поверхности теплообмена является труднодоступной задачей, так как расчет современных теплообменников производится за счет вычислительных программ фирм-разработчиков. При этом некоторые характеристики заложены в неявной форме, в том числе и к.м.с. для конкретной геометрической конфигурации пластин. Поэтому, в качестве допущения и с целью подтверждения гипотезы о неравномерном распределении потоков жидкости по каналам теплообмена в зависимости от их расположения относительно входных патрубков, проведем гидравлический расчет теплообменника, считая, что пластины плоские.

Основная часть. Характеристика сопротивления, рассматриваемого участка, определяется

по соотношению:

$$S_k = \zeta_k \cdot \left(\frac{\rho \cdot w_k^2}{2 \cdot (\rho \cdot w_k \cdot f_k)^2} \right), \quad (1)$$

где нижний индекс « k » – характеризует параметр, на рассматриваемом участке движения теплоносителя; ζ_k – коэффициент на местные сопротивления; ρ – плотность теплоносителя, кг/м³; w_k – скорость жидкости на участке, м/с; f_k – площадь поперечного сечения канала, м².

Общая характеристика сопротивления параллельных участков $S_{1,2.II}$ вычисляется по формуле:

$$S_{1,2.II} = \frac{1}{\left(\frac{1}{\sqrt{S_1}} + \frac{1}{\sqrt{S_2}} \right)^2}. \quad (2)$$

Участок коллектора 2–3 расположен последовательно по отношению к каналам 1 и 2, поэтому общая характеристика сопротивлений части аппарата, включающей каналы 1 и 2, и участок коллектора 2–3 вычисляется как сумма характеристик сопротивления по формуле:

$$S_{1,2,2-3} = S_{1,2.II} + S_{2-3}. \quad (3)$$

Для определения расходов воды по каналам и участкам используются уже известные из предыдущего расчета величины характеристик сопротивления и следующие зависимости:

$$G_3 = G \sqrt{\frac{S_{1,2,3.II}}{S_3}}, \quad (4)$$

$$G_{2-3} = G - G_3, \quad (5)$$

$$G_2 = G_{2-3} \sqrt{\frac{S_{1,2.II}}{S_2}}, \quad (6)$$

$$G_1 = G_{2-3} - G_2. \quad (7)$$

Для наглядности получаемых результатов, используем значения расходов в каналах по отношению к расходу в условиях равномерного распределения потоков, получая удельную величину. Таким образом, на рисунке 3 представлены значения удельных расходов по всем каналам в случае равного распределения объемов теплоносителя между каналами G_n и удельные значения расходов жидкости, учитывая гидравлические сопротивления при движении рабочей среды от входного патрубка до замыкающего канала G_1 . При этом канал №1 принят первым по отношению входа теплоносителя в транзитный коллектор, а №23 – самый удаленный.

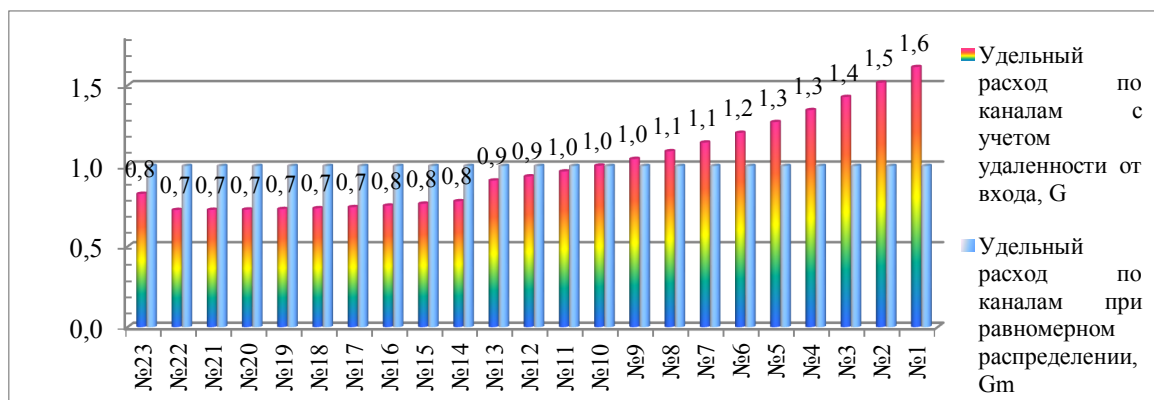


Рис. 3 Диаграмма распределения теплоносителя по каналам теплообмена пластинчатого водонагревателя с учетом взаимного расположения относительно входа теплоносителя в транзитный коллектор

Согласно полученным результатам (рис. 3), наблюдается расхождение в объемах циркулируемой жидкости, между первым и последним каналами, примерно в 2 раза. Такой результат объясняется влиянием дополнительных гидравлических сопротивлений, преодолеваемых теплоносителем при перемещении жидкости от входного патрубка к рассматриваемому каналу.

С целью подтверждения справедливости применения предложенной методики гидравлического расчета, проведем численное исследование рассматриваемого теплообменного аппарата с помощью программного комплекса SolidWorks. В качестве модели для описания турбулентного течения в каналах теплообмена пластинчатого водонагревателя была принята стандартная математическая k-ε модель.

Согласно численному расчету (рис. 4), максимальная скорость наблюдается в канале наиболее близко расположенному к выходному патрубку нагреваемого теплоносителя. В то же время отмечается повышение средней скорости течения жидкости в последнем канале – №23 относительно предпоследнего - №22, что объясняется меньшим коэффициентом местного сопротивления коллекторного участка, принятого в качестве отвода с к.м.с. $\xi=0,3$. Для коллекторных участков от первого до предпоследнего канала принимается к.м.с как для тройников на разделение $\xi=0,7$ и слияние потоков $\xi=0,5$ при выходе из рассматриваемого канала. В целом просматривается снижение средней скорости теплоносителя по длине пакета пластин от первого до последнего канала.

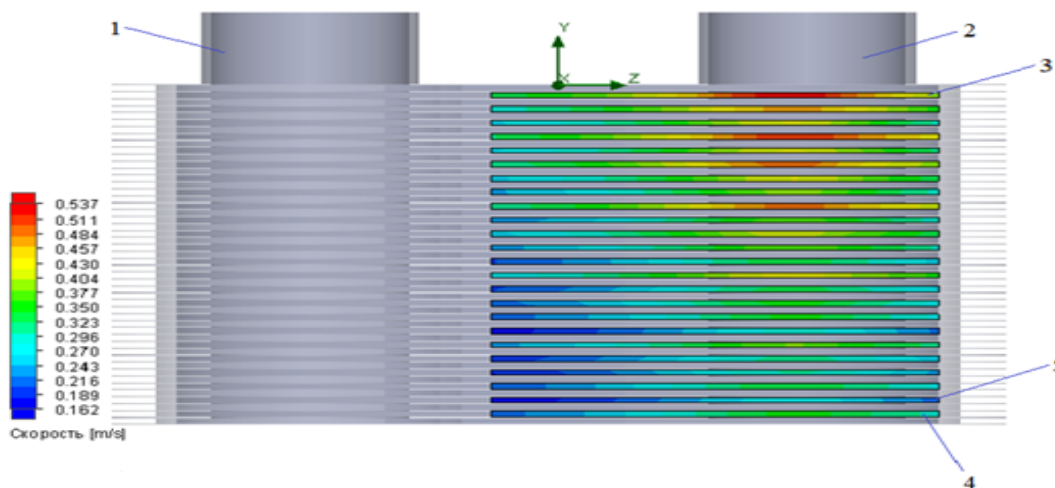


Рис. 4 Визуализация полей скорости течения жидкости в каналах рассматриваемой плоскости.

1 – входной патрубок греющего теплоносителя; 2 – выходной патрубок нагреваемого теплоносителя; 3 - первый канал теплообмена по нагреваемой стороне; 4 – двадцать третий канал теплообмена по нагреваемой стороне; 5 – двадцать второй канал по нагреваемой стороне

Так как характеристика сопротивления участка зависит от его площади поперечного сечения, формула (1), то сужение проточной части теплообменного канала, в результате образования слоя накипи, предполагает изменение харак-

теристики сопротивления канала, в котором образовалась накипь.

На рисунке 5 представлена динамика изменения соотношения расходов между крайними каналами, в зависимости от предполагаемой тол-

щины накипи на поверхностях нагрева. Рассмотрим четыре варианта, когда толщина слоя продуктов солеотложения достигает $\delta_n = 0,15$ мм,

0,31 мм, 0,53 мм, 0,9 мм.

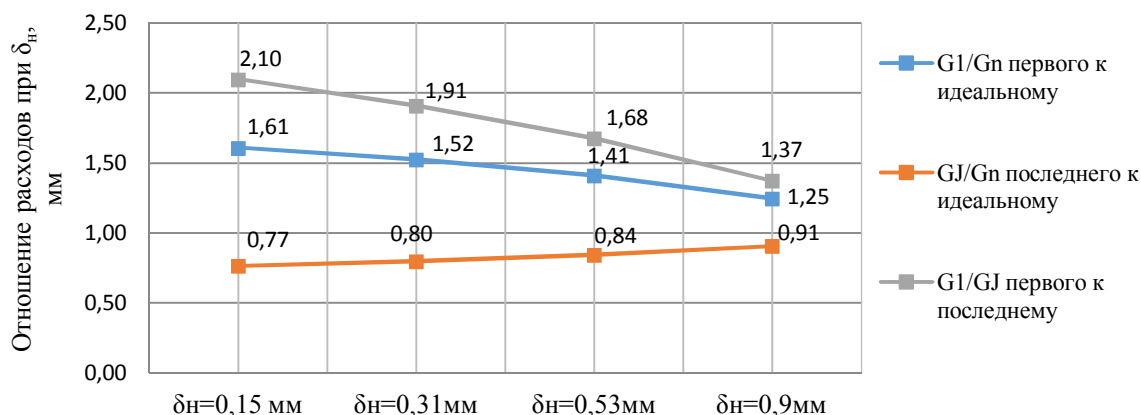


Рис. 5 Расчетные данные соотношения удельных расходов. G_1/G_n – отношение удельного расхода в первом канале к удельному расходу в условиях равномерного потокораспределения; G_J/G_n – отношение удельного расхода в последнем канале к удельному расходу в условиях равномерного потокораспределения; G_1/G_J – отношение удельных расходов между первым каналом к последним каналом

Полученные расчетные соотношения удельных расходов между первым и последним каналами, приближают значения эти параметры к 1 при максимальном зарастании, когда толщина накипи достигла значения 0,9 мм. Данные результаты свидетельствуют о том, что геометрическое расстояние между пластинами оказывает влияние на равномерность распределения расходов жидкости по длине пакета пластин. Кроме того, применение метода характеристик сопротивления в качестве методики гидравлического расчета пластинчатого теплообменного аппарата позволяет определить рациональные конструктивные соотношения ширины рабочих каналов.

Т.е. получить такие расстояния между пластинами, при которых гидравлическое распределение потоков будет уравниваться.

Результаты численного расчета гидравлического режима пластинчатого теплообменника, в условиях моделирования условий зарастания каналов на 0,15 мм, 0,31 мм, 0,53 мм и в условиях абсолютно чистой поверхности, представлены на рисунке 6. Полученные значения подтверждают справедливость применения прямого метода характеристик сопротивления для проведения гидравлического расчета пластинчатого теплообменного аппарата.

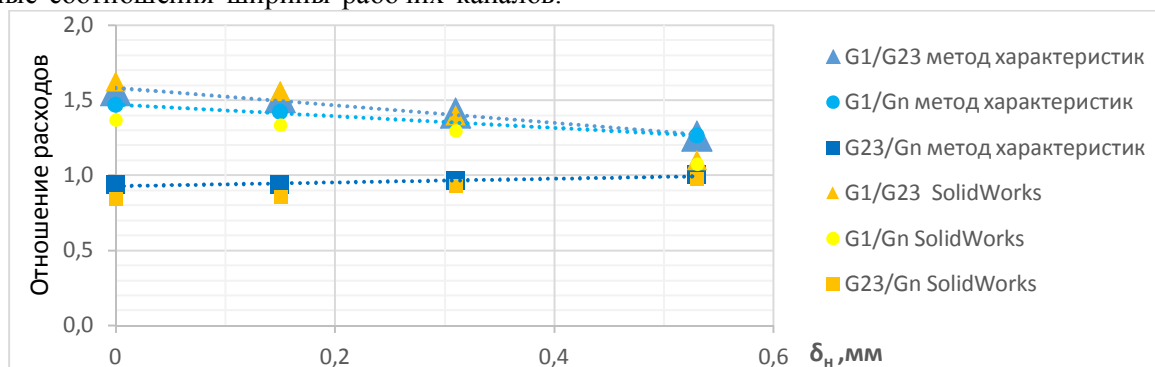


Рис. 6 Сравнение полученных результатов зависимости отношения расходов в каналах теплообмена от толщины накипи, аналитическим и численным методом расчета. G_1/G_{23} – отношение расхода жидкости в 1 канале к последнему; G_1/G_n – отношение расхода жидкости в 1 канале к идеальному; G_{23}/G_n – отношение расхода жидкости в последнем канале к идеальному

Выводы: Проведенные исследования подтверждают поставленную гипотезу: использование теории гидравлического расчета по характеристикам сопротивления позволяет определить неравномерность потокораспределения теплоносителей по каналам теплообменных аппаратов

пластинчатого типа. Результаты аналитического расчета и моделирования в среде SolidWorks распределения количества жидкости по длине пакета пластин (в том числе с учетом фактора загрязнения на поверхности нагрева) свидетель-

ствуют о превышении расходов через первые каналы над расходами через последние. Следовательно, исключение допущения о равномерности потокораспределения позволит повысить точность диагностики работы теплообменного аппарата, например, возможно определение степени загрязнения теплообменной поверхности по режимным характеристикам (температуре и расходам теплоносителей) аппаратов.

Источник финансирования. ГРАНТ ПСР по программе развития опорного университета на базе БГТУ им. В.Г. Шухова до 2021 года.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Башмаков И.А. Анализ основных тенденций развития систем теплоснабжения России // Новости Теплоснабжения. 2008. №3 [Электронный ресурс]. Режим доступа: www.ntsн.ru. (дата обращения 08.09.2020)
2. Елистратова Ю.В., Глазков Р.А., Семиненко А.С. Роль системы контроля эффективности пластинчатых теплообменников в области теплоэнергетики // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. 2020. № 10. С. 33–40. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-10-33-40
3. Некрасов А.С., Синяк Ю.В., Воронина С.А., Семикашев В.В. Современное состояние теплоснабжения России // Проблемы прогнозирования. 2011. №1. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennoe-sostoyanie-teplosnabzheniya-rossii> (дата обращения: 06.10.2020).
4. Зысин Л.В., Калютник А.А. Теплообменное оборудование. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2010. 230 с.
5. Федеральный закон Российской Федерации от 7 декабря 2011 г. № 417-ФЗ «О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации в связи с принятием Федерального закона «О водоснабжении и водоотведении». Режим доступа: <https://base.garant.ru/70103068/>. (дата обращения 15.10.2020)
6. Ефимов А.Л., Шварев Л.В., Юркина М.Ю. Проблемы и особенности расчета теплообменников водяных систем теплоснабжения // РосТепло. Режим доступа: https://www.rosteplo.ru/Tech_stat/stat_shablon.php?id=2359. (дата обращения 08.09.2020)
7. Калабин С.Е. Экономический эффект от внедрения энергосберегающего оборудования: пластинчатых теплообменников, блочных индивидуальных тепловых пунктов // С.О.К. 2005. №8. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.c-o-k.ru/articles/ekonomicheskiiy-effekt-ot-vnedreniya-energoberegayuschego-oborudovaniya-plastinchatyh-teploobmennikov-blochnyh-individual-nyh-teplovyh-punktov> (дата обращения 03.09.2020)
8. Галковский В.А., Чупова М.В. Анализ снижения коэффициента теплопередачи теплообменных аппаратов вследствие загрязнения поверхности // Интернет-журнал «Науковедение». 2017. Том 9, №2 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://naukovedenie.ru/PDF/41TVN217.pdf>
9. Жданов О.В. Накипь и проблемы теплоэнергетики // Интернет-журнал «Новости теплоснабжения». 2006. №4. [Электронный ресурс]. Режим доступа: www.ntsн.ru (дата обращения 04.09.2020)
10. Зеттлер Х.У. Влияние свойств поверхности и распределения потока на загрязнение поверхностей теплообмена. СПб.: Страта, 2014. 452 с.
11. Жаднов О.В. Пластинчатые теплообменники - дело тонкое // Интернет-журнал «Новости теплоснабжения», 2015. №4, [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://elibrary.ru/title_about.asp?id=9670 (дата обращения 04.09.2020)
12. Трухний А.Д., Зройчиков Н.А., Ломакин Б.В., Седов И.В. Информационно-диагностическая система контроля подогревателей сетевой воды турбоустановки Т-250/300-240 // Теплоэнергетика. 1998. №1. С. 30–34.
13. Минко В.А., Феоктистов А.Ю., Гунько И.В., Елистратова Ю.В., Тарасенко Н.В., Ткач Л.В. Методы проведения и эффективность мероприятий по борьбе с накипеобразованием в системах теплоснабжения // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2015. №2. С. 16–19.
14. Дорошенко И.В. Исследование теплообмена и разработка технологии комплексной защиты поверхностей нагрева котельных установок // 05.14.04 - Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Череповец. 2005 г.
15. Барановский Н.В., Коваленко Л.М., Ястребенецкий А.Р. Пластинчатые и спиральные теплообменники. М.: «Машиностроение». 1973. 288 с.
16. СП 41-101-95 // Проектирование тепловых пунктов.: Своды правил по проектированию и строительству.
17. Справочник по теплообменникам: Пер. с англ. / Под ред. О.Г. Мартыненко. Т.2. М.6. Энергоатомиздат, 1987. 352с.
18. Kananeh A.V. Fouling in Plate Heat

Exchangers: Some Practical Experience. Heat Exchangers - Basics Design Applications. 2012. Pp. 533-550.

19. Kho T. Effect of flow distribution on scale formation in plate and frame heat exchangers // Chem Eng Res Des. 1997. Pp. 635–640.

20. Чернышев Д.В., Купленов Н.И. Особенности распределения накипи по поверхности пластинчатого водонагревателя // Энергосбере-

жение. 2000 Международная научно-техническая конференция. ТулГУ. 2000. 127 с.

21. Белинский Е.А. Рациональные системы водяного отопления. Л.: Госстройиздат. 1963. 208 с.

22. Minko V.A., Seminenko A.S., Alifanova A.I., Elistratova Yu.V., Tkach L.V. Assumptions and premises of heating systems hydraulic calculation methods. Eco. Env.& Cons. 21(2): Pp. 55–60.

Информация об авторах

Елистратова Юлия Васильевна, ассистент кафедры теплогазоснабжения и вентиляции. E-mail: yulis3790@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Семенов Артём Сергеевич, кандидат технических наук, доцент кафедры теплогазоснабжения и вентиляции. E-mail: seminenko.as@gmail.com. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Минко Всеволод Афанасьевич, доктор технических наук, профессор кафедры теплогазоснабжения и вентиляции. E-mail: va.minko@gmail.com. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Рамазанов Рафшан Салманович, ассистент кафедры теплогазоснабжения и вентиляции. E-mail: boss.rafshan@mail.ru. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила 15.10.2020 г.

© Елистратова Ю.В., Семенов А.С., Минко В.А., Рамазанов Р.С., 2020

**Elistratova J V., Seminenko S. A., Minko V.A.*

Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov

E-mail: yulis3790@mail.ru

FEATURES OF LIQUID FLOW DISTRIBUTION IN PLATE HEAT EXCHANGERS REFERENCES

Abstract. *The relevance of the work of information and diagnostic systems in the field of monitoring of plate heat exchange equipment is considered. The reliability of the monitoring devices requires an accurate mathematical description of the thermo hydrodynamic processes in the heat exchange channels. The classical description of these processes implies a uniform distribution of the flow rate of the working medium along the length of the plate package, which in turn implies equal conditions for the formation of salt deposition products on the heating surfaces of the plate heat exchanger. The use of dependencies that take into account the equality of costs for a package of plates reduces the reliability of diagnostics of the efficiency of hot water devices of the plate type. Since the geometric space formed by the plates is represented by parallel channels connected by sections of transit collectors, the method of resistance characteristics is proposed as a method of hydraulic calculation of the distribution features of liquid flows through heat exchange channels. The dependence of the design features of the location of the interplate channels relative to the input of the coolant into the distribution manifold is revealed. It is found that, the flow rate of the circulating coolant is less in the channels most remote from the inlet pipe than in the nearest channels. The hypothesis of the influence of the relative position of the channels in relation to the inlet pipe is confirmed by numerical studies of the hydrodynamic regime of the plate heat exchanger.*

Keywords: *energy intensity, energy efficiency, plate heat exchangers, thermal regime, hydraulic conditions, heating surface, scale formation, heat exchange channels, flow distribution, equipment operation diagnostics, channel resistance, resistance characteristic.*

REFERENCES

1. Bashmakov I.A. Analysis of the main trends in the development of heat supply systems in Russia

[Analiz osnovny'kh tendencij razvitiya sistem teplosnabzheniya Rossii]. Journal «Heat Supply news». Two thousand eight. No. 3 URL: www.nts.ru (date of treatment: 04.09.2020). (rus)

2. Elistratova Yu.V., Glazkov R.A., Seminenko A.S. the Role of the system for monitoring the efficiency of plate heat exchangers in the field of heat power engineering [Rol' sistemy kontrolya effektivnosti plastinchatyh teploobmennikov v oblasti teploenergetiki]. In the collection: International scientific and technical conference of young scientists of BSTU named after V.G. Shukhov Belgorod state technological University named after V.G. Shukhov. 2020. No. 10. Pp. 33–40. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-10-33-40 (rus)
3. Nekrasov A.S., Sinyak Y.V., Voronina S.A., Semikashev V.V. Current state of heat supply in Russia [Sovremennoe sostoyanie teplosnabzheniya Rossii]. Problems of forecasting. 2011. No. 1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennoe-sostoyanie-teplosnabzheniya-rossii> (date of treatment: 06.10.2020) (rus)
4. Zysin L.V., Kalyutik A.A. Heat Exchange equipment. [Teploobmennoe oborudovanie]. SPb.: Publishing house of Polytechnical Institute, 2010. 230 p. (rus)
5. Federal law of the Russian Federation No. 417-FZ of December 7, 2011 "on amendments to certain legislative acts of the Russian Federation in connection with the adoption of the Federal law "On water Supply and sanitation" [Federal'nyj zakon Rossijskoj Federacii ot 7 dekabrya 2011 g. № 417-FZ «O vnesenii izmenenij v otdel'nye zakonodatel'nye akty Rossijskoj Federacii v svyazi s prinyatiem Federal'nogo zakona «O vodosnabzhenii i vodootvedenii»]. URL: <https://base.garant.ru/70103068/> (date of treatment: 15.10.2020) (rus)
6. Efimov A. L., Shvarev L. V. and Yurkina M. Yu. Problems and features of calculation of heat exchangers of water heat supply systems [Problemy i osobennosti rascheta teploobmennikov vodyanyh sistem teplosnabzheniya]. Rosteplo. URL: [https://www.rosteplo.ru/Tech_stat/stat_shablон.php?id=2359](https://www.rosteplo.ru/Tech_stat/stat_shablون.php?id=2359) (date of treatment: 04.09.2020) (rus)
7. Kalabin S. E. Economic effect from the introduction of energy-saving equipment: plate heat exchangers, block individual heat points. [Ekonomicheskij effekt ot vnedryaemogo energosberegayushchego oborudovaniya: plastinchatyh teploobmennikov, blochnyh individual'nyh teplovyh punktov]. Journal "S. O. K." 2005. No.8. URL: <https://www.c-o-k.ru/articles/ekonomicheskij-effekt-ot-vnedreniya-energoberegayushchego-oborudovaniya-plastinchatyh-teploobmennikov-blochnyh-individual'nyh-teplovyh-punktov> (date of treatment: 04.09.2020) (rus)
8. Galkovsky V.A., Chupova M.V. Analysis of reduction of heat transfer coefficient of heat exchangers due to surface contamination [Analiz snizheniya koefficienta teploperedachi teploobmennyh apparatov vsledstvie zagryazneniya poverhnosti]. Internet-journal "science of Science". 2017. Vol. 9, No. 2. URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/41TVN217.pdf> (date of treatment: 04.09.2020) (rus)
9. Zhdanov O.V. Scum and problems of heat power Engineering [Nakip' i problemy teploenergetiki]. Online magazine "heat supply news", 2006, No. 4. URL: www.nts.ru (date of treatment: 04.09.2020) (rus)
10. Zettler H.U. Influence of surface properties and flow distribution on contamination of heat exchange surfaces [Vliyanie svojstv poverhnosti i raspredeleniya potoka na zagryaznenie poverhnostej teploobmena]. St. Petersburg: Strata, 2014. 452 p. (rus)
11. Zhdanov O. V. Plate heat exchangers-a delicate matter [Plastinchatye teploobmenniki-delo tonkoe]. Heat supply news. 2005. No.3. URL: http://elibrary.ru/title_about.asp?id=9670 (date of treatment: 04.09.2020) (rus)
12. Trukhny A.D., Zroychikov N.A., Lomakin B.V., Sedov I.V. Information and diagnostic system for monitoring network water heaters of the turbine unit-250/300-240 [Informacionno-diagnosticheskaya sistema kontrolya podogrevatelej setевой vody turboustanovki T-250/300-240]. Teploenergetika. 1998. No. 1. Pp. 30–34. (rus)
13. Minko V.A., Feoktistov A.Yu., Gunko I.V., Elistratova Yu.V., Tarasenko N.V., Tkach L.V. Methods of conducting and effectiveness of measures to combat scale formation in heat consumption Systems [Metody provedeniya i effektivnost' meropriyatij po bor'be s nakipeobrazovaniem v sistemah teplopotrebleniya]. Bulletin of BSTU named after V. G. Shukhov. 2015. No. 2. Pp. 16–19. (rus)
14. Doroshenko I.V. Research of heat exchange and development of technology for complex protection of heating surfaces of boiler installations [Issledovanie teploobmena i razrabotka tekhnologii kompleksnoj zashchity poverhnostej nagreva kotel'nyh ustanovok] 05.14.04. Dissertation for the degree of candidate of technical Sciences. Cherepovets. 2005. (rus)
15. Baranovsky N.V., Kovalenko L.M., Yastrebenetsky A. R. Plate and spiral heat exchangers [Plastinchatye i spiral'nye teploobmenniki]. M.: "Mechanical engineering". 1973. 288 p. (rus)
16. SP 41-101-95. The design of the heat stations [Proektirovanie teplovyh punktov]. Codes of rules for design and construction (rus)
17. Handbook of heat exchangers [Spravochnik po teploobmennikam]. TRANS. from English / Ed. by O. G. Martynenko. Vol. 2. M. 6 Energoatomizdat, 1987. 352 p. (rus)

18. Kananeh A.B. Fouling in Plate Heat Exchangers: Some Practical Experience. Heat Exchangers - Basics Design Applications. 2012. Pp. 533–550.

19. Kho T. Effect of flow distribution on scale formation in plate and frame heat exchangers // Chem Eng Res Des. 1997. Pp. 635–640.

20. Chernyshev D.V., Kuplenov N.I. Features of scale distribution on the surface of a plate water heater [Osobennosti raspredeleniya nakipi po poverhnosti plastinchatogo vodonagrevatelya].

Energy saving 2000 international scientific and technical conference: Tulu. Tula, 2000. 127 p. (rus)

21. Belenky E.A. Rational system of water heating [Racional'nye sistemy vodyanogo otopeniya]. L.: Gosstroizdat. 1963. 208 p. (rus)

22. Minko V.A., Seminenko A.S., Alifanova A. I., Elistratova Yu. V., Tkach L. V. Assumptions and premises of heating systems hydraulic calculation methods. Eco. Env. & Cons. 21(2). Pp. 55–60.

Information about the authors

Elistratova, Yulia V. Assistant. E-mail: yulis3790@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Semenenko, Artem S. PhD. E-mail: seminenko.as@gmail.com. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Minko, Vsevolod A. DSc, Professor E-mail: va.minko@gmail.com. Belgorod state technological University named after V. G. Shukhov. 46 Kostyukova str., Belgorod, 308012, Russia.

Ramazanov, Rafshan S. Assistant. E-mail: boss.rafshan@mail.ru. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received 15.10.2020

Для цитирования:

Елистратова Ю.В., Семиненко А.С., Минко В.А., Рамазанов Р.С. Особенности распределения потоков жидкости в пластинчатых теплообменниках // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2020. № 12. С. 47–55. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-12-47-55

For citation:

Elistratova J.V., Seminenko S.A., Minko V.A., Ramazanov R.S. Features of liquid flow distribution in plate heat exchangers references. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2020. No. 12. Pp. 47–55. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-12-47-55