

Интернет-журнал «Наукоедение» ISSN 2223-5167 <http://naukovedenie.ru/>

Том 9, №2 (2017) <http://naukovedenie.ru/vol9-2.php>

URL статьи: <http://naukovedenie.ru/PDF/41TVN217.pdf>

Статья опубликована 11.04.2017

Ссылка для цитирования этой статьи:

Галковский В.А., Чупова М.В. Анализ снижения коэффициента теплопередачи теплообменных аппаратов вследствие загрязнения поверхности // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 9, №2 (2017) <http://naukovedenie.ru/PDF/41TVN217.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

УДК 621.182.3(045)

Галковский Вадим Анатольевич

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ»
Филиал в г. Смоленске, Россия, Смоленск¹
Доцент кафедры «Промышленная теплоэнергетика»
Кандидат технических наук
E-mail: vadim-galkovskiy@mail.ru

Чупова Мария Викторовна

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ»
Филиал в г. Смоленске, Россия, Смоленск
Студент магистратуры «Промышленная теплоэнергетика»
E-mail: mariya.chupova@yandex.ru

Анализ снижения коэффициента теплопередачи теплообменных аппаратов вследствие загрязнения поверхности

Аннотация. В статье рассматривается проблема образования слоя накипи на поверхностях теплообменного оборудования, ее последствия и методы борьбы с ней. Последствия плохой водоподготовки теплоносителя в системах теплоснабжения, что в свою очередь влияет на обеспечение потребителей теплоносителем заданных параметров. Показано влияние накипных отложений на коэффициент теплопередачи, температурный напор у кожухотрубчатых и пластинчатых теплообменных аппаратов, помимо этого накипь оказывает пагубное влияние гидродинамические показатели аппаратов. С ростом накипных отложений в диапазоне 0,1 мм - 1 мм, происходит недоотпуск теплоты, для минимизации его происходит увеличение расхода теплоносителя, что приводит к увеличению расхода топлива и электроэнергии на его перекачку и перегрев. Представлены графические зависимости влияния слоя накипи на ряд важнейших параметров, изменение которых напрямую влияет на экономические затраты как теплоснабжающих организаций, так и потребителей теплоты. В основу методики расчета положена методика, изложенная в СП (своды правил по проектированию и строительству) 41-101-95 Проектирование тепловых пунктов. Результаты представлены для первой и второй ступеней теплообменников при одних и тех же входных параметрах теплоносителей: температуры теплоносителей и величины расходов.

Ключевые слова: коррозия теплообменных аппаратов; перерасход топлива и энергии; снижение коэффициента теплопередачи; увеличение температурного напора; кожухотрубные

¹ 214013, г. Смоленск, Энергетический проезд, 1

и пластинчатые теплообменники; методы борьбы с накипью на теплообменных поверхностях; сравнение теплообменных аппаратов

Качество воды является одной из насущных проблем в современном мире. Мы, люди на 75-80% состоим из воды, и как доказано многими учеными, не сможем существовать при отсутствии ее в нашей жизни или же при ее наличии, но не соответствии необходимым качествам, так и системы теплоснабжения и теплопотребления не смогут долго прослужить нам при плохом качестве воды. Многие специалисты отмечают, что несвоевременная очистка теплообменного оборудования и плохая химводоподготовка снижают тепловую эффективность аппаратов на 50 - 70% [1].

При проектировании систем теплоснабжения, определяющим расчетом, отвечающим за стоимость проекта, является тепловой и гидравлический расчет системы. Он позволяет произвести выбор основного и вспомогательного оборудования системы. Важным фактором при таких расчетах является необходимость предусмотреть качество теплоносителя, его жесткость.

В системах теплоснабжения используется сырая водопроводная вода. Перед тем как воду нагреть и отправить к источникам потребления, ее нужно подготовить (умягчить, удалить газы, очистить от механических примесей) [2]. Далее идет процесс деаэрации воды, это процесс удаления из воды вредных газов, которые служат одной из главных причин зарождения коррозии на оборудовании: кислорода и углекислого газа. Если в воде в большом количестве присутствует кислород (O_2) и углекислый газ (CO_2), то при нагреве скорость коррозии значительно возрастает. Коррозия в системах теплоснабжения - причина большинства аварий. После прохождения через деаэратор вода скапливается и подается на подпиточные насосы, которые закачивают ее в тепловую сеть [3].

Главную работу в обеспечении потребителей тепловой энергией играют теплообменные аппараты. Качество их работы и будет показывать правильность работы систем теплоснабжения в целом, недоотпуск теплоты, перерасход топлива и энергии для восполнения тепловых потерь и причины повышения температурного напора теплоносителя [4].

Установленные на ЦПТ теплообменные аппараты обеспечивают потребителей необходимой тепловой нагрузкой на отопление и ГВС (горячее водоснабжение), но как говорилось ранее, при некачественной водоподготовки на теплообменном оборудовании со временем будут образовываться слои накипи, отложения, ведущие в свою очередь к коррозии на поверхностях оборудования.

В системах теплоснабжения, образующиеся на поверхностях нагрева теплообменных аппаратов, отложения, относятся к так называемым низкотемпературным. Основными компонентами таких отложений являются силикаты, карбонаты кальция, а также окислы железа и сульфаты кальция.

Видов накипи много и для каждого варианта можно применить тот или иной способ удаления или предотвращения ее образования. Виды накипи приведены в таблице 1 [4, стр. 287].

Таблица 1

Виды накипи

Вид накипи и ее химический состав	Характер отложений	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К)
Силикатная накипь (с содержанием SiO ₂ 20-25% и более)	твёрдая	0,06 - 0,23
Гипсовая накипь (с содержанием CaSO ₄ до 50%) сульфатная	твердая плотная	0,6 - 2,9
Карбонатная накипь (с содержанием CaCO ₃ , MgCO ₃ более 50%)	от аморфного порошка до твердого котельного камня	0,6 - 7,0
Смешанная накипь, состоящая из гипса, карбонатов и силикатов кальция и магния	твердая плотная	0,8 - 3,5

Составлено автором

Определяясь с методами борьбы от накипи, необходимо предварительно сделать анализ накипи и определить ее состав, чтобы узнать, чем лучше такой налет растворять. Вода покрывает 72% земной поверхности, это реки, моря, озера, подземные воды и т.д., и конечно она имеет разный состав, где-то она слишком жесткая, а где-то слишком мягкая. Затем определяется сложность оборудования (зависит от его назначения), степень его загрязненности. От всех этих факторов зависит, чем и как будут удалять накипь.

Помимо очистки теплообменного оборудования уже от образовавшейся накипи, есть возможность предотвратить ее быстрое образование на том или ином оборудовании, для этого используют всевозможные фильтры или реагентные умягчители.

В статье можно привести выводы исследования влияния качества воды на теплообменное оборудование, состояние которого влияет на обеспечение потребителей теплоносителем заданных параметров, т.е. влияния толщины слоя образующейся накипи на коэффициент теплопередачи теплообменного аппарата от греющей воды нагреваемой, которая транспортируется потребителям [5].

Из результатов расчетов двух водоподогревательных установок для систем горячего водоснабжения ЦТП, оборудованного водоподогревательными установками: 1) кожухотрубчатого типа; 2) пластинчатой водоподогревательной установки, можно привести графические зависимости, отображающие влияние качества воды на теплопередающие и гидродинамические характеристики теплообменного оборудования² [6, 8]:

- Снижение коэффициента теплопередачи из-за увеличения толщины слоя карбонатной накипи, коэффициент теплопроводности $\lambda = 2 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ см. рисунок 1, как для пластинчатого (ПТО), так и для кожухотрубчатого теплообменников (КТО).

² Сводь правил по проектированию и строительству СП 41-101-95. Проектирование тепловых пунктов.

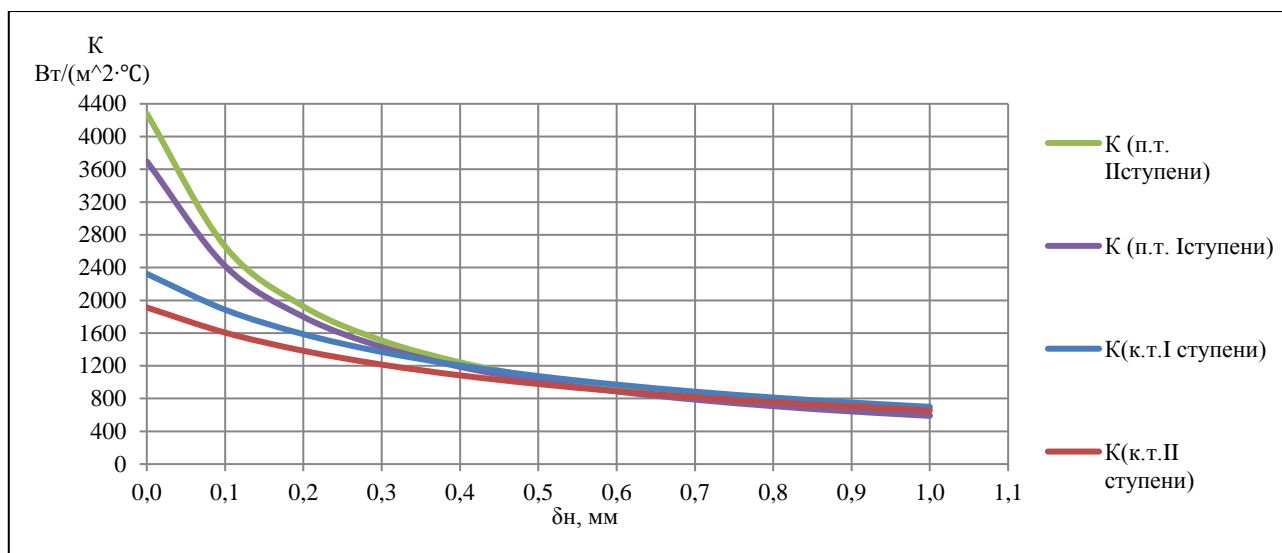


Рисунок 1. Снижение коэффициента теплопередачи КТО и ПТО от увеличения толщины слоя накипи, где K (к.т.) - коэффициент теплопередачи I и II ступеней, Вт/(м²·°С) (разработано автором)

Из графиков видно, что коэффициент теплопередачи у пластинчатого теплообменника почти в 2 раза выше, чем у кожухотрубчатого, это связано с конструктивными особенностями установок. Толщина слоя накипи в 1 мм, в обоих случаях, приводит к снижению коэффициента теплопередачи в 2 раза у кожухотрубчатого теплообменного аппарата, и в 2,5 раза у пластинчатого теплообменного аппарата, что в свою очередь ведет отпуску теплоносителя более низких параметров. Также можно отметить, если рассмотреть график пластинчатого теплообменного аппарата, нарост слоя накипи всего на 0,4 мм приводит к снижению коэффициента теплопередачи установки в 2 раза. Дальнейший рост толщины слоя накипи приводит к установившемуся в низком диапазоне, коэффициенту теплопередачи (как видно из графиков), в результате чего происходит перерасход топлива и энергии для повышения теплоносителя до требуемых параметров.

- Не менее важной проблемой является изменение температурного напора, вследствие изменения коэффициента теплопередачи. Температурный напор из уравнения теплопередачи равен:

$$\Delta t_{cp} = \frac{Q}{k \cdot F},$$

где: Q - тепловая нагрузка теплообменник Вт; F - поверхность нагрева водонагревателя, м²; k - коэффициент теплопередачи соответственно I и II ступеней, Вт/(м²·°С).

Тепловая нагрузка и поверхность нагрева водонагревателя изменяться не могут, если нет развития сети системы теплоснабжения данного района, в результате чего происходит увеличение температурного напора и как следствие - недогрев нагреваемого теплоносителя. Из собственных расчетов также можно привести графические зависимости изменения температурного напора от толщины слоя накипи для каждой ступени на теплообменном оборудовании, для карбонатной накипи зависимости изображены см. рисунок 2.

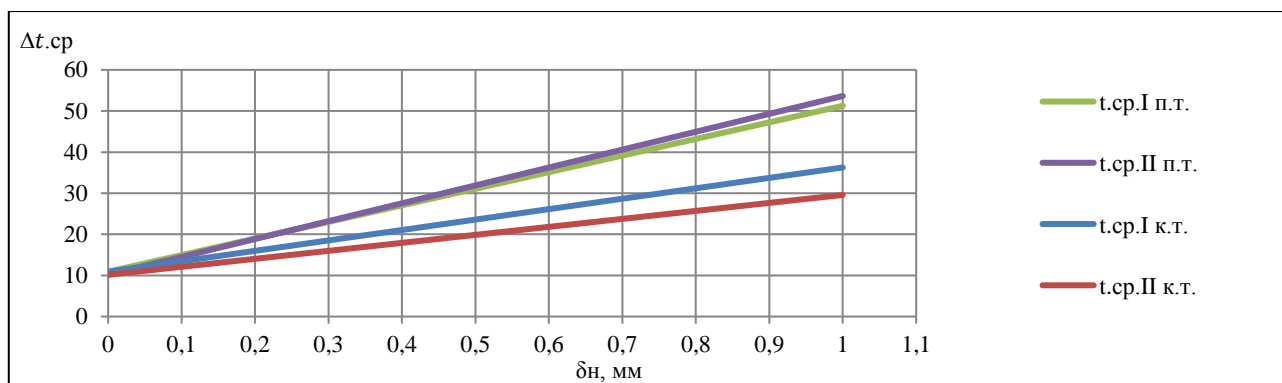


Рисунок 2. Зависимости температурного напора КТО и ПТО от толщины слоя накипи, где $t_{\text{ср.I}}$, $t_{\text{ср.II}}$ - температурный напор первой и второй ступени теплообменника, °С (разработано автором)

Накипь приводит к снижению срока эксплуатации оборудования. Слой накипи препятствует нагреву воды и одновременно затрудняет отвод тепла от поверхностей нагрева. В результате поверхность нагрева перегревается и выходит из строя.

Из технологий водоподготовки и способов умягчения воды наиболее эффективным, на данном этапе исследования, является магнитная обработка воды или с использованием электромагнитных аппаратов, так как они отличаются безопасностью, надежностью работы при стабильных параметрах воды, низкими эксплуатационными расходами и экологичностью. Но в свою очередь применение электромагнитных аппаратов требует химводоподготовки, а это введет к увеличению площади, занимаемой под теплообменное оборудование, за счет добавления места под блок химводоочистки. Умягчение воды для теплообменного оборудования, применяемого в быту или на частных мелких объектах может проводиться за счет фильтров умягчения и безреагентного обезжелезивания воды [7].

Накипные отложения снижают значение полного коэффициента теплопередачи, это наглядно видно на рисунке 1. Из этого следует, что для передачи установленной тепловой нагрузки потребуется установка площади поверхности теплообмена, во много раз большей площади аппарата, тепловой расчет которого был произведен без термического сопротивления. Происходит недоотпуск теплоты, для минимизации его происходит увеличение расхода теплоносителя, что в свою очередь приводит к увеличению расхода топлива и электроэнергии на его перекачку и перегрев.

Теплоснабжающие организации сталкиваются с серьезными трудностями, вследствие загрязнения поверхности нагрева продуктами коррозии [9]:

- Передача тепловой нагрузки через теплообменники не соответствует требуемым значениям;
- Нарушение проектного температурного графика в тепловых сетях ряда котельных при низких температурах наружного воздуха.

Причина заключается в интенсивном загрязнении поверхности нагрева теплообменных аппаратов по сетевой стороне продуктами коррозии.

Все эти мероприятия приводят к удорожанию как самого теплоносителя, так оказание услуг по подаче и распределения тепловой энергии. Не своевременная очистка теплообменных аппаратов и плохая химводоподготовка приводит к возрастанию гидродинамического сопротивления как в теплопроводах, так и в самих аппаратах, что приводит к преждевременному износу теплообменного оборудования, выходу его из строя, поломкам и более часто прибегать к услугам по очистке теплообменного оборудования от отложений [10].

Известковый налет на теплообменном оборудовании является причиной их перекаливания, так как он не поглощает и не передает тепло, это приводит к появлению трещин в поверхностях нагрева. Накипные отложения снижают значение полного коэффициента теплопередачи (см. рисунок 1). Происходит недоотпуск теплоты, для минимизации его происходит увеличение расхода теплоносителя, что приводит к увеличению расхода топлива и электроэнергии на его перекачку и перегрев.

ЛИТЕРАТУРА

1. Андриюшенко А.И., Аминов Р.З., Хлебалин Ю.М. «Теплофикационные установки и их использование». М.: Высш. школа, 1983.
2. Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С. «Теплопередача». М.: энергоиздат, 1981.
3. Шадрин И.К., Корепанов Е.В. Параметрический анализ эффективности теплообменного оборудования в системах теплоснабжения // Интернет-журнал «Интеллектуальные системы в производстве», 2016 в 3 т. Том. 1 [Электронный ресурс] - Смоленск.: Универсум, 2016 - Режим доступа: <http://elibrary.ru/item.asp?id=27639738>, свободный. - Загл. с экрана. - Яз. рус., англ.
4. Болотова Ю.В., Ручкина О.И. Коррозия теплообменного оборудования нефтехимических производств // Интернет-журнал «Вестник пермского национального исследовательского политехнического университета. машиностроение, материаловедение», 2015 т. 17, №4, [Электронный ресурс] - Пермь: Пермский национальный исследовательский политехнический университет, 2015 - Режим доступа: <http://elibrary.ru/item.asp?id=25108759>, свободный. - Загл. с экрана. - Яз. рус., англ.
5. Жаднов О.В. Пластинчатые теплообменники - дело тонкое// Интернет-журнал «Новости теплоснабжения», 2015 т. 17, №4, [Электронный ресурс] - М.: Издательство "Новости теплоснабжения" 2000 - Режим доступа: http://elibrary.ru/title_about.asp?id=9670, свободный. - Загл. с экрана. - Яз. рус., англ.
6. Справочник «Промышленная теплоэнергетика и теплотехника», под общей редакцией В.А. Григорьева и В.М. Зорина, М. - Энергоатомиздат, 1991.
7. Проектирование централизованного горячего водоснабжения жилого дома и микрорайона: учеб. Пособие / Т.А. Стрелюхина. - 3-е изд., перераб. и доп; под общ. ред. д-ра техн. наук, проф. Ю.П. Скачкова. - Пенза: ПГУАС, 2014. - 120 с.
8. Одна из главных причин потери тепловой энергии в системах теплоснабжения. II Поволжская научно-практическая конференция «Приборостроение и автоматизированный электропривод в топливно - энергетическом комплексе и жилищно - коммунальном хозяйстве», материалы докладов 8-9 декабря 2016 г. том III.
9. Роль воды в сельском хозяйстве и способы ее очистки. II Поволжская научно-практическая конференция «Приборостроение и автоматизированный электропривод в топливно - энергетическом комплексе и жилищно - коммунальном хозяйстве», материалы докладов 8-9 декабря 2016 г. том III.
10. Влияние качества воды на теплообменное оборудование. Энергетика, Информатика, Инновации - 2016, VI Международной научно - технической конференция (электроэнергетика, электротехника и теплоэнергетика, математическое моделирование и информационные технологии в производстве) 24 - 25 ноября 2016 г. Смоленск. СБОРНИК ТРУДОВ, Том I, секция 1, 2, 3.

Galkovsky Vadim Anatol'evich

Moscow power engineering institute
Smolensk branch, Russia, Smolensk
E-mail: vadim-galkovskiy@mail.ru

Chupova Maria Viktorovna

Moscow power engineering institute
Smolensk branch, Russia, Smolensk
E-mail: mariya.chupova@yandex.ru

Analysis of the reduction in the heat transfer coefficient of heat exchangers due to surface contamination

Abstract. The article deals with the problem of handling sputtering on the surfaces of heat exchange equipment, its consequences and methods of combating it. The consequences of poor water conditioning of the heat carrier in the heat supply systems, which in turn affects the provision of the customers with the coolant of the specified parameters. The influence of scaling deposits on the heat transfer coefficient, the temperature head of the shell and tube heat exchangers, and also the detrimental effect of the hydrodynamic parameters of the apparatus is shown. With the growth of the scale deposits in the range 0.1 mm to 1 mm, heat is not released in order to minimize it. Increase Coolant flow, which leads to an increase in fuel and electricity consumption for its processing and overheating. Graphic dependencies of the influence of the main factors on the change in the main parameters that affect the financial costs, both the heat supply organization and the heat consumers are presented. The calculation methodology is based on the methodology outlined in SP 41-101-95 Designing of heat points. The results are presented for the first and second stages of the heat exchangers with the same input parameters of the coolant: the temperature of the coolant and the value of the flow.

Keywords: corrosion of heat exchangers; over-consumption of fuel and energy; reduction of heat exchange coefficient; increase in temperature; shell-and-tube and plate heat exchangers; methods for combining scale on heat exchange surfaces