Жуков Владимир Павлович,

ФГБОУВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой прикладной математики,

адрес: г. Иваново, ул. Рабфаковская, д. 34, кор. А, ауд. 202,

телефон (4932) 26-97-45,

e-mail: zhukov-home@yandex.ru

Zhukov Vladimir Pavlovich,

Ivanovo State Power Engineering University,

Doctor of Engineering Sciences (Post-Doctoral degree), Professor, Head of the Applied Mathematics Department,

address: Ivanovo, Rabfakovskays St, 34, Building A, Room 202,

tel.: (4932) 26-97-45,

e-mail: zhukov-home@yandex.ru

Горшенин Сергей Дмитриевич,

ФГБОУВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,

кандидат технических наук, доцент кафедры тепловых электрических станций,

адрес г. Иваново, ул. Рабфаковская, д. 34, кор. В, ауд. 408,

телефон (4932) 26-99-31,

e-mail: admin@tes.ispu.ru

Gorshenin Sergei Dmitrievich,

Ivanovo State Power Engineering University,

Candidate of Engineering Sciences (PhD), Associate Professor of the Heat Power Plants Department,

address: Ivanovo, Rabfakovskays St, 34, Building B (V), Room 408,

tel.: (4932) 26-99-31,

e-mail: admin@tes.ispu.ru

УДК 621.187.11

Выбор реагентов и технологических условий химической очистки от отложений испарительных труб паровых котлов

А.Ю. Федорова, Е.Н. Бушуев

ФГБОУВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,

г. Иваново, Российская Федерация

E-mail: admin@xste.ispu.ru

Состояние вопроса. Одним из основных факторов, влияющих на срок службы испарительных труб паровых котлов, является состояние их внутренних поверхностей нагрева. Для предотвращения повреждений испарительных труб проводятся периодические химические очистки этих поверхностей от отложений. В настоящее время для проведения таких очисток предлагается ряд новых моющих реагентов. При этом недостаточно данных о влиянии состава моющего раствора, его температуры и длительности очистки на техническую эффективность очистки, скорость и полноту удаления отложений. В связи с этим необходимо провести исследования по определению скорости очистки поверхности экранных труб от эксплуатационных отложений при использовании различных моющих реагентов и условий ее проведения.

Материалы и методы. Исследование образцов испарительных труб паровых котлов проведено с применением метода травления в условиях нагрева и без него. Для химической очистки использованы ингибированная соляная кислота, Антиржавин, Дескам, Auge Pro Ac. Определения удельной загрязненности и химического состава отложений проведены согласно требованиям СО 34.37.306-2001.

Результаты. В ходе лабораторного исследования получены зависимости скорости удаления бугорчатых и равномерных отложений, а также скорости коррозии металла испарительных труб от вида моющего раствора реагента, температуры и длительности очистки. Установлено, что скорость очистки образцов труб от равномерных и бугорчатых эксплуатационных отложений в кислотных растворах исследованных реагентов на 15–30 % больше, чем в растворе ингибированной соляной кислоты.

Выводы. Полученные экспериментальные данные могут быть использованы при выборе технологии проведения кислотной очистки, для снижения ее продолжительности с обеспечением наименьшей остаточной удельной загрязненности поверхности металла в условиях, наиболее приемлемых для промышленных объектов.

Ключевые слова: паровой котел, испарительные трубы, эксплуатационные отложения, химическая очистка, моющий реагент, соляная кислота, удельная загрязненность, метод травления, скорость очистки

Choice of reagents and technological conditions of chemical cleaning of vaporizing pipes of steam boilers from deposits

A.Yu. Fedorova, E.N. Bushuev
Ivanovo State Power Engineering University, Ivanovo, Russian Federation
E-mail: admin@xste.ispu.ru

Abstract

Background. One of the major factors influencing service life of vaporizing pipes of boilers is the state of their internal heating surfaces. To prevent vaporizing pipes from damage, these surfaces are periodically chemically cleaned of deposits. Now a number of new washing reagents are offered for such cleanings. At the same time, there are not enough data on the influence of the washing solution composition, temperature and duration of cleaning on technical efficiency of cleanings with these washing reagents, on the speed and completeness of deposit removal. All this makes it urgent to study the rate of cleaning of wall tubes from deposits by using different cleaning reagents under different conditions.

Materials and methods. The samples of vaporizing pipes of steam boilers were studied by the method of etching in the conditions of heating and without it. Inhibited hydrochloric acid, Antirzhavin, Deskam, Auge Pro Ac were used for chemical cleaning. The specific contamination and the chemical composition of deposits were determined according to the requirements of SO 34.37.306-2001.

Results. In the course of the laboratory study, we obtained the dependences of the rate of removing lumpy and uniform deposits, as well as the metal corrosion rate of the evaporating pipes on the type of cleaning reagent solution, cleaning temperature and duration. It has been established that the rate of cleaning of pipe samples from uniform and lumpy deposits in acid solutions of the investigated reagents is 15–30 % greater than in a solution of inhibited hydrochloric acid.

Conclusions. The obtained experimental data can be used for choosing the technology of acid cleaning to reduce its duration, at the same time ensuring the smallest residual specific contamination of the metal surface under conditions most suitable for industrial facilities.

Key words: steam boiler, vaporizing pipes, deposits, chemical cleaning, cleaning reagent, hydrochloric acid, specific contamination, method of etching, cleaning rate

DOI: 10.17588/2072-2672.2018.5.011-017

Введение. Надежность и экономичность работы паровых котлов существенно зависят от наличия отложений (накипи) на поверхностях нагрева [1, 2]. Отложения создают дополнительное термическое сопротивление теплому потоку от топочных газов к нагреваемой воде, так как их теплопроводность меньше теплопроводности металла. При определенной толщине отложений это приводит к перегреву металла труб выше допустимых пределов. Кроме того, оксидные отложения могут ускорять коррозию металла труб [2–5, 8–10].

В зависимости от водно-химического режима (ВХР), температурных условий и конструктивных особенностей котла отложения могут образовываться на разных участках пароводяного тракта. Состав отложений и их количество также зависят от этих условий и могут изменяться в значительных пределах [2, 6, 7].

Признанными и главными критериями оценки эффективности водно-химического режима парового котла являются критерии состояния внутренних поверхностей его пароводяного тракта. Несмотря на усилия персонала ТЭС, специалистов отраслевых научно-исследовательских организаций, научно-исследовательских университетских центров, приемлемое состояние этих поверхностей¹ из-за неизбежности внутренней коррозии и обра-

зования отложений не может быть сохранено длительное время. Профилактические мероприятия, совершенствование технологии и эксплуатации систем ведения ВХР, использование новых реагентов при коррекционной обработке питательной и котловых вод приводят к положительному результату. И все-таки во множестве случаев существует необходимость в эксплуатационных очистках внутренних поверхностей пароводяного тракта котла: в случае очистки «на ходу»; в режимах пуска и останова; в случае остановленного котла. При этом особое внимание уделяется химической очистке (ХО) труб поверхностей нагрева котла (ТПНК) [2].

Основная цель лабораторных химических очисток – получение опытных данных о влиянии состава моющего раствора, температуры и длительности очистки на техническую эффективность очисток моющими реагентами по следующим критериям: скорость очистки и полнота удаления бугорчатых и равномерных отложений, характеризующая остаточной удельной загрязненностью поверхности образца экранной трубы.

Материалы и методы лабораторных исследований. Без предварительной химической обработки трубных образцов, например без щелочения, были проведены исследования на эффективность применения следующих кислотных растворов: ингибированной соляной кислоты с добавкой тиомочевины; реагентов Антиржавин, Дескам, Auge Pro Ac, часто рассматриваемых при проведении эксплуатационных промывок котлов. Тиомочевина исполь-

¹ РД 153-34.1-37.306-2001. Методические указания по контролю состояния основного оборудования тепловых электрических станций. Определение количества и химического состава отложений. – М.: ОАО «ВТИ», 2003.

зована для предотвращения осаждения из моющего раствора металлической меди на очищаемых образцах. Композиционный реагент Auge Pro Ac 60 производится для очистки ТПНК от железооксидных отложений с увеличенной долей в них соединений меди. Реагенты Антиржавин и Дескам эффективны при очистке ТПНК от железооксидных отложений.

Для лабораторного исследования взяты образцы труб солевого отсека котла высокого давления, покрытых как равномерными, так и бугорчатыми отложениями.

Внутритрубные отложения на огневой стороне экранных труб являются бугорчатыми (рис. 1). Высота бугорков над поверхностью отложений достигает 5 мм, удельная загрязненность – до 1200 г/м^2 .

Рис. 1. Бугорчатые отложения на огневой стороне экранных труб солевого отсека

Равномерные двухслойные отложения с бугорками высотой над поверхностью отложений до 1 мм характерны для тыльной стороны экранных труб солевого отсека, ее удельная загрязненность – от 380 до 450 г/м^2 (рис. 2).

Рис. 2. Равномерные отложения на тыльной стороне экранных труб солевого отсека

Моющие растворы для очистки от отложений приготовлены путем разбавления их товарных форм бидистиллятом. Очистка проведена в нагретых и ненагретых растворах методом травления.

Для получения сравнимых результатов пробных лабораторных очисток растворами

разных реагентов соблюдены следующие условия:

- образцы труб – с одинаковой поверхностью нагрева, одинаковые визуально;
- одинаковые условия проведения очистки, в частности кислотности растворов;
- скорости очисток – относительные (нормированные по значениям остаточных удельных загрязненностей).

Перед лабораторным исследованием образцы труб очищались от отложений на газовой стороне, затем вместе с дисковыми индикаторами коррозии, изготовленными из стали 20, проходили следующую подготовку:

- обезжиривались, помещались в эксикатор на сутки;
- взвешивались и фотографировались в исходном состоянии;
- помещались в химические стаканы для проведения очистки.

В ходе исследований устанавливался определенный температурный режим очистки: очистка образцов от отложений осуществлялась при температурах моющих растворов 25 и 55°C . По истечении заданного времени первого этапа кислотной очистки образцы труб и индикаторы извлекались из химических стаканов, отмывались от моющего раствора при погружении в бидистиллят, сушались в сушильном шкафу при температуре $105\text{--}110^\circ\text{C}$, охлаждались в эксикаторе с прокаленным хлористым кальцием, снова взвешивались и фотографировались.

Все последующие операции проводились аналогичным образом до окончания программы лабораторных испытаний.

Очистка проведена в несколько этапов для установления зависимостей скорости очистки образца и скорости коррозии стали от ее длительности.

Результаты лабораторных исследований. Частично приведем условия и результаты лабораторной проверки технической эффективности моющих реагентов.

В отношении скоростей очистки и ее длительности в ненагретых растворах моющих реагентов установлено следующее.

В самом начале очистки от равномерных отложений ее скорость максимальна для Антиржавина ($113 \text{ г/м}^2\cdot\text{ч}$); наименьшее значение скорости очистки в это время определено для Дескама ($36 \text{ г/м}^2\cdot\text{ч}$) (рис. 3). В ходе очистки устанавливаются значения ее скоростей (для реагентов Auge Pro Ac – около $20\text{--}30 \text{ г/м}^2\cdot\text{ч}$). Скорости очистки для ингибированной соляной кислоты с добавлением тиомочевины, Auge Pro Ac 60 и 60 Н имеют приблизительно одинаковые значения и соответственно равны 57, 58 и $62 \text{ г/м}^2\cdot\text{ч}$ (рис. 4).

Рис. 3. Зависимость скорости очистки в кислотных растворах от ее длительности (очистка от равномерных отложений, без нагрева): ◇ – Дескам; □ – Auge Pro Ac 60; Δ – Auge Pro Ac 60H; × – Антиржавин

Полная очистка реагентами Антиржавин и Auge Pro Ac 60 образцов труб, имеющих приблизительно одинаковые удельные загрязненности (1050 г/м^2), происходит за время около 30 ч. Для очистки реагентом Auge Pro Ac 60H образца трубы потребовалось большее время (51 ч) из-за его большей удельной загрязненности (1312 г/м^2). Очистка образца трубы ингибированной соляной кислотой происходит за 11 ч ввиду его малой исходной удельной загрязненности (280 г/м^2).

Рис. 4. Зависимость скорости очистки в растворах ингибированной соляной кислоты с добавлением тиомочевины от ее длительности: ◇ – очистка от бугорчатых отложений, без нагрева; □ – очистка от равномерных отложений, без нагрева; Δ – очистка от бугорчатых отложений, нагрев; × – очистка от равномерных отложений, нагрев

В отношении скоростей очистки и ее длительности в нагретых растворах моющих реагентов установлено следующее.

На начальном этапе очистки от бугорчатых отложений ее максимальная скорость достигнута в Дескаме и составляет $362 \text{ г/(м}^2 \cdot \text{ч)}$. Наименьшее значение скорости очистки в это время определено для Антиржавина ($109 \text{ г/(м}^2 \cdot \text{ч)}$). Значения скоростей очистки для ингибированной соляной кислоты с добавлением тиомочевины, Auge Pro Ac 60 и 60H соответственно равны 286, 296 и $248 \text{ г/(м}^2 \cdot \text{ч)}$ (рис. 4, 5).

Рис. 5. Зависимость скорости очистки в кислотных растворах от ее длительности (очистка от бугорчатых отложений, нагрев): ◇ – Дескам; □ – Auge Pro Ac 60; Δ – Auge Pro Ac 60H; × – Антиржавин

Полная очистка сильно загрязненных образцов труб от бугорчатых отложений реагентами Дескам и Auge Pro Ac 60 происходит за время около 110 ч. Для очистки образца трубы реагентами Auge Pro Ac 60H и Антиржавин потребовалось 131 и 134 ч соответственно. Очистка в ингибированной соляной кислоте с добавлением тиомочевины достигается за 73 ч. Удельные загрязненности для проверенных образцов труб составили 5886, 4357, 3848, 4140 и 2441 г/м^2 соответственно.

В отношении скоростей коррозии стали для этапов лабораторных очисток образцов труб с использованием дисковых индикаторов коррозии в ненагретых растворах моющих реагентов, установлено следующее.

На начальных этапах химических очисток (до 5 ч) от равномерных отложений скорости коррозии образцов «чистой» стали (индикаторов коррозии) во всех проверенных растворах (за исключением Дескама) превышают стандартное значение (рис. 6). Стандартное значение скорости коррозии принято равным значению скорости коррозии стали 3 в холодном ингибированном техническом растворе соляной кислоты $0,2 \text{ г/(м}^2 \cdot \text{ч)}$, соответствующему требованиям ТУ 2122-012-92627037-2012. В дальнейшем скорости коррозии в Auge Pro Ac 60H уменьшаются до значения, близкого к стандартному, однако на последних этапах (в период с 43 до 51 ч) заметно увеличиваются. Скорость коррозии в Auge Pro Ac 60 увеличивается в течение первых 8 ч, после чего уменьшается, приближаясь к стандартному значению. При использовании Антиржавина отмечены минимальные скорости коррозии индикаторов на протяжении всей химической очистки. Скорости коррозии индикаторов в растворе ингибированной соляной кислоты в большей степени превышают стандартное значение на протяжении всей очистки.

В отношении скоростей коррозии стали в нагретых растворах моющих реагентов установлено следующее.

Рис. 6. Зависимость скорости коррозии индикатора от длительности кислотной очистки в ненагретых моющих растворах реагентов: ◇ – Дескам; □ – Ауге Pro Ac 60; Δ – Ауге Pro Ac 60Н; × – Антиржавин

На протяжении всей химической очистки от бугорчатых отложений скорости коррозии индикаторов в растворах Дескама и Ауге Pro Ас превышают стандартное значение. Для Антиржавина в большей степени отмечены близкие к стандартному значению скорости коррозии индикаторов, увеличивающиеся при добавке свежего моющего раствора (рис. 7). Скорости коррозии индикаторов в растворе ингибированной соляной кислоты превышают стандартное значение, указанное для ее товарного раствора комнатной температуры.

Рис. 7. Зависимость скорости коррозии индикатора коррозии от длительности кислотной очистки в нагретых моющих растворах реагентов (условия ХО: ◇ – Дескам; □ – Ауге Pro Ac 60; Δ – Ауге Pro Ac 60Н; × – Антиржавин)

Локальных коррозионных повреждений реагентами очищенных поверхностей не обнаружено.

В отношении лабораторной проверки технической эффективности моющих растворов проверенных реагентов установлено следующее.

При очистке образцов испарительных труб от медистых отложений реагентами Дескам и Антиржавин происходит катодное выделение металлической меди на очищаемой поверхности и в зонах разреза труб. «Катодная» металлическая медь удаляется с образцов реагентами Ауге Pro Ас.

При кислотной очистке образцов испарительных труб происходят изменения (уменьшения и увеличения) кислотностей моющих растворов, которые можно объяснить конкуренцией процессов растворения оксидов и гидролиза образующихся солей. Ступенчатые увеличения кислотности растворов соответствуют добавкам свежего моющего раствора реагентов (рис. 8) [2].

Рис. 8. Изменение кислотности ингибированной соляной кислоты с добавлением тиомочевины в ходе очистки: ◇ – очистка от бугорчатых отложений, без нагрева; □ – очистка от равномерных отложений, без нагрева; Δ – очистка от бугорчатых отложений, нагрев; × – очистка от равномерных отложений, нагрев

Выводы. На основании полученных опытных данных, учитывая характеристику отложений (двухслойные равномерные железоксидные отложения и двухслойные железоксидные отложения с бугорчатыми участками, содержащие медь), можно сделать следующие выводы:

1. Моющее действие проверенных реагентов основано на разрыхлении и растворении отложений. При этом опытные данные о текущих значениях кислотности рабочего раствора (рис. 8) и остаточной удельной загрязненности трубного образца позволят оценить вклад каждого из этих процессов лишь при наличии аналитических данных о концентрации переведенных в рабочий раствор соединений металлов. Причиной этого является реакция кислот не только с отложениями на образце, но и с диспергированными отложениями, «осыпавшимися» с образца, а также гидролиз солей железа.

2. Скорость очистки образцов труб от равномерных и бугорчатых эксплуатационных отложений в кислотных растворах реагентов больше, чем в растворе ингибированной соляной кислоты. Медистые отложения удаляются реагентами Ауге Pro Ас. На начальном и среднем этапах очистки, когда моющему раствору доступны пористые, рыхлые отложения, ее скорость существенно зависит от текущего значения удельной загрязненности. В этих условиях увеличен вклад диспергирования в очистку и велика площадь контакта «частицы отложений – моющий раствор». На последующем этапе, когда пористый слой отложений удален и остались плотные отложения, ско-

рость очистки образцов труб уменьшена. Эта скорость и необходимая общая длительность очистки практически не зависят от текущего значения остаточной удельной загрязненности и определяются температурой и кислотностью моющего раствора. При двухэтапной кислотной очистке рекомендуется на ее первом этапе использовать моющий раствор меньшей кислотности [2].

3. Скорость коррозии стали, определенная в лабораторных условиях для этапов очистки образцов труб с использованием дисковых индикаторов коррозии в ненагретых и нагретых моющих растворах, в основном превышает стандартную скорость коррозии стали 3 в ингибированной соляной кислоте. Минимальные коррозионные потери индикаторов коррозии при очистке установлены в моющем растворе Антиржавина.

На поверхности образцов труб и индикаторов коррозии, обработанных кислотными растворами, локального (язв, питтингов) коррозионного воздействия этих растворов на сталь не обнаружено.

Список литературы

1. **Воспенников В.В., Зайцев Н.А., Чермошенцев Е.А.** Методика восстановления эффективной работы паровых котлов низкого давления // Известия ТулГУ. Технические науки. – 2014. – Вып. 2. – С. 238–246.
2. **Будаева А.Ю., Бушуев Е.Н.** Исследование процесса удаления отложений с внутренних поверхностей нагрева паровых котлов // Материалы Междунар. науч.-техн. конф., посвященной 175-летию со дня рождения Н.Н. Бенардоса. – 2017. – Т. 2. – С. 144–147.
3. **Маргулова Т.Х.** Химические очистки теплоэнергетического оборудования. – М.: Энергия, 1969. – 174 с.
4. **Кострикин Ю.М., Мещерский Н.А., Корovina О.В.** Водоподготовка и водный режим энергообъектов низкого и среднего давления: справочник. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 254 с.
5. **Кот А.А., Деева З.В.** Водно-химический режим мощных энергоблоков ТЭС. – М.: Энергия, 1978. – С. 136.
6. **Сухотин А.М., Арчаков Ю.И.** Коррозионная стойкость оборудования химических производств. Нефтеперерабатывающая промышленность. – Л.: Химия, Лен. отделение, 1990. – 399 с.
7. **Нерезько А.В., Карницкий Н.Б., Чиж В.А.** Теплофизические свойства и структура отложений на поверхностях нагрева энергетического оборудования // Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. Энергетика. – 2007. – Вып. 1. – С. 55–60.
8. **Исследование** и выбор оптимального реагента для очистки поверхности от накипи / А.Я. Ухажова, З.Х. Султыгова, Р.Дж. Арчакова и др. // Вестник современной науки. – 2016. – Вып. 9. – С. 19–24.
9. **Какаç S.** Heat exchangers: selection, rating, and thermal design. – CRC Press, Taylor & Francis Group, 2012. – XVI. – 605 p.
10. **Образование** отложений накипи на поверхностях нагрева в жаротрубных котлах /

С.В. Теребилов, А.Г. Михайлов, Е.Н. Слободина, А.В. Васильев // Омский научный вестник. – 2017. – Вып. 3. – С. 74–77.

References

1. **Vospennikov, V.V., Zaytsev, N.A., Chermoshentsev, E.A.** Metodika vosstanovleniya effektivnoy raboty parovykh kotlov nizkogo davleniya [A method of recovering of efficient operation of low-pressure steam boilers]. *Izvestiya TulGU. Tekhnicheskie nauki*, 2014, issue 2, pp. 238–246.
2. **Budaeva, A.Yu., Bushuev, E.N.** Issledovanie protsessa udaleniya otlozheniy s vnutrennikh poverkhnostey nagreva parovykh kotlov [A study of the process of removing deposits from the internal heating surface of steam boilers]. *Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii, posvyashchennoy 175-letiyu so dnya rozhdeniya N.N. Benardosa* [Proceedings of the International Scientific and Technical Conference Commemorating the 175th Anniversary of N.N. Benardos' Birthday], 2017, vol. 2, pp. 144–147.
3. **Margulova, T.Kh.** *Khimicheskie ochistki teploenergeticheskogo oborudovaniya* [Chemical cleaning of heat power equipment]. Moscow: Energiya, 1969. 174 p.
4. **Kostrikin, Yu.M., Meshcherskiy, N.A., Korovina, O.V.** *Vodopodgotovka i vodnyy rezhim energoob'ektov nizkogo i srednego davleniya* [Water treatment and water conditions of low and medium pressure power facilities]. Moscow: Energoatomizdat, 1990. 254 p.
5. **Kot, A.A., Deeva, Z.V.** *Vodno-khimicheskiy rezhim moshchnykh energoblokov TES* [Water-chemical conditions of powerful power units of a thermal power plant]. Moscow: Energiya, 1978. 136 p.
6. **Sukhotin, A.M., Archakov, Yu.I.** *Korrozionnaya stoykost' oborudovaniya khimicheskikh proizvodstv. Neftepererabatyvayushchaya promyshlennost'* [Corrosion resistance of chemical industry equipment Oil-refining industry]. Leningrad: Khimiya, Leningradskoe otdelenie, 1990. 399 p.
7. **Nerez'ko, A.V., Karnitskiy, N.B., Chizh, V.A.** *Teplofizicheskie svoystva i struktura otlozheniy na poverkhnostyakh nagreva energeticheskogo oborudovaniya* [Thermophysical properties and structure of deposits on the heating surfaces of power equipment]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy i energeticheskikh ob'edineniy SNG. Energetika*, 2007, issue 1, pp. 55–60.
8. **Ukhazhova, A.Ya., Sulytsova, Z.Kh., Archakova, R.D., Kitieva, L.I., Martazanova, R.M., Evloeva, A.Ya.** *Issledovanie i vybor optimal'nogo reagenta dlya ochistki poverkhnosti ot nakipi* [Analysis and choice of the optimal reagent for cleaning surfaces from scale]. *Vestnik sovremennoy nauki*, 2016, issue 9, pp. 19–24.
9. **Kakaç, S.** Heat exchangers: selection, rating, and thermal design. CRC Press, Taylor & Francis Group, 2012. XVI. 605 p.
10. **Terebilov, S.V., Mihajlov, A.G., Slobodina, E.N., Vasil'ev, A.V.** *Obrazovanie otlozheniy nakipi na poverkhnostyakh nagreva v zharotrubnykh kotlakh* [Scale formation on heating surfaces in flue boilers]. *Omskiy nauchnyy vestnik*, 2017, issue 3, pp. 74–77.

Федорова Алена Юрьевна,
ФГБОУВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,
аспирант кафедры химии и химических технологий в энергетике,
e-mail: abdvalenka@mail.ru
Fedorova Alena Yuryevna,
Ivanovo State Power Engineering University,
Post-Graduate student of the Department of Chemistry and Chemical Technologies in Power Industry,
e-mail: abdvalenka@mail.ru

Бушуйев Евгений Николаевич,
ФГБОУВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,
доктор технических наук, профессор кафедры химии и химических технологий в энергетике,
телефон (4932) 26-99-32,
e-mail: admin@xxte.ispu.ru
Bushuev Evgeny Nikolayevich,
Ivanovo State Power Engineering University,
Doctor of Engineering Sciences (Post-Doctoral degree), Professor of the Department of Chemistry and Chemical
Technologies in Power Industry,
tel.: (4932) 26-99-32,
e-mail: admin@xxte.ispu.ru

УДК 532.542

Устройство для повышения эффективности работы централизованной системы теплоснабжения

В.В. Смирнов¹, Ю.В. Яворовский², В.В. Сенников¹

¹ФГБОУВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,
г. Иваново, Российская Федерация

²ФГБОУВО «Национальный исследовательский университет (МЭИ)», г. Москва, Российская Федерация
E-mail: yavorovskyYV@mpei.ru, kbispu@mail.ru

Авторское резюме

Состояние вопроса. Эффективность централизованного теплоснабжения зависит от технологических потерь, в том числе потери на «перетоп». Эта потеря вызвана необходимостью поддерживать температуру сетевой воды, достаточную для нагрева воды на нужды горячего водоснабжения до нормативных значений, но превышающую температуру теплоносителя на отопление. В закрытых системах теплоснабжения, в которых отсутствуют авторегуляторы для систем отопления, неравномерность потребления горячего водоснабжения приводит к уменьшению подачи сетевой воды на отопление, а следовательно, и к снижению температуры воздуха внутри помещений. Недостатком существующих решений проблемы является сложность поддержания гидравлических режимов в теплосети. Повышение энергоэффективности и рациональное использование энергоресурсов является актуальной задачей. На эффективность работы системы централизованного теплоснабжения влияет режим работы теплосетей и теплоиспользующего оборудования, поэтому задача оптимизации теплогидравлических режимов является также актуальной на сегодняшний день.

Материалы и методы. Для построения математической модели использованы методы математического моделирования нелинейных физических процессов. При разработке математической модели не учтены гидравлические сопротивления в боковых ответвлениях тройников в термогидравлическом распределителе.

Результаты. Предложена новая схема присоединения абонентских установок в индивидуальном тепловом пункте, которая позволяет исключить влияние резко переменной нагрузки горячего водоснабжения в течение суток на температурный режим помещений потребителей без авторегуляторов на системе отопления и устранить «перетоп» потребителей.

Выводы. Полученные результаты доказывают эффективность применения термогидравлических распределителей в индивидуальном и центральном тепловых пунктах системы централизованного теплоснабжения с неизменным гидравлическим сопротивлением абонентских установок, что позволяет подключить подогреватель горячего водоснабжения по параллельной схеме с любым соотношением максимальных тепловых потоков на горячее водоснабжение и отопление и устранить «перетоп».

Ключевые слова: термогидравлический распределитель, индивидуальный тепловой пункт, система централизованного теплоснабжения, тепловая разбалансированность, гидравлическая разбалансированность, перетоп