

ВОДОПОЛЬЗОВАНИЕ

УДК 697.1

doi: 10.23968/2305-3488.2019.24.2.3-8

МЕТОД БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ И ВОДОСНАБЖЕНИЯ ОТ РАЗЛИЧНЫХ ХИМИЧЕСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ: ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ И ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ

Астафьев С. А., Боннет В. В., Доенин М. Ю.

METHOD FOR BIOLOGICAL CLEANING OF HEATING AND WATER SUPPLY SYSTEMS FROM VARIOUS CHEMICAL DEPOSITS: ECOLOGICAL AND ECONOMIC EFFICIENCY

Astafiyev S. A., Bonnet V. V., Doenin M. Y.

Аннотация

Введение: химический состав воды во всех регионах нашей страны имеет существенные отличия и часто включает значительное количество солей и примесей, которые в процессе эксплуатации накапливаются на стенках котлов, внутри радиаторов, труб тепло- и водоснабжения. **Методы:** в настоящее время популярным методом очистки оборудования, систем отопления и водоснабжения является химический метод, имеющий существенные недостатки, к которым относится в первую очередь использование агрессивных химических реагентов, обязательная нейтрализация и утилизация, высокий риск причинения вреда экологии и здоровью человека. Также широкое распространение получили безреагентные методы очистки (механический, гидropневматический, ультразвуковой и пр.), которые, несмотря на низкую стоимость, малоэффективны в замкнутых разветвленных системах и зачастую сильно повреждают оборудование при очистке. **Результаты:** отсутствие мероприятий по очистке котлов, теплообменников и систем отопления приводит к их загрязнению, а следовательно, увеличивает энергопотери, связанные с увеличением гидравлического сопротивления, снижением теплопередающей способности элементов, разбалансировкой систем и иными негативными последствиями, а также приводит к постоянным авариям в изношенных более чем на 70 % сетях. Учитывая указанные выше недостатки химического и безреагентного методов, требуется использование альтернативного эффективного и безопасного способа очистки, которым является биоорганический метод удаления отложений. **Заключение:** предлагаемая технология особенно актуальна для акватории озера Байкал, которое уже пострадало за многие годы работы целлюлозно-бумажного комбината на его берегах и страдает до сих пор от стоков городов и поселков. Предлагаемый к рассмотрению запатентованный метод очистки системы отопления и водоснабжения при помощи биокomпозиции БОНАКА позволяет не только добиться чистки системы отопления и водоснабжения, но и сберечь экологию.

Ключевые слова: водоснабжение, биологическая очистка труб, энергосбережение, экология, молочнокислые бактерии, экономическая эффективность.

Abstract

Introduction: In all regions of Russia, the chemical composition of water varies significantly and in most cases includes a substantial amount of salts and impurities accumulating on walls of boilers, in radiators and heating and water supply pipes during their operation. **Methods:** Currently, one of the most common methods to clean equipment as well as heating and water supply systems is the chemical method. However, such method has essential shortcomings including the use of aggressive chemical reagents, obligatory neutralization and utilization, high risk of damage to the environment and human health. Reagentless methods of cleaning (mechanical, hydropneumatic, ultrasonic, etc.) are also widely used, but, despite their low cost, they are inefficient in extensive closed-loop systems and often result in significant damage to the equipment during cleaning. **Results:** When it comes to boilers, heat exchangers and heating systems, lack of cleaning leads to their contamination, and, therefore, power losses related to increasing hydraulic resistance, decreasing heat transfer ability of components, disbalance of systems and other negative consequences. It also results in regular accidents in the networks that are worn out for more than 70 %. Considering the shortcomings of the chemical and reagentless methods, stated above, it is required to use an alternative, safe and efficient method of cleaning — the bioorganic method for deposit removal. **Conclusion:** The proposed technology is especially relevant for the water area of Lake Baikal as it has been affected by the operation of the pulp and paper mill located on its coast and by drains from the cities and villages nearby. The patented method for cleaning of heating and water supply systems, using BONAKA biocomposition, suggested for consideration, allows not only for their cleaning but for environment protection as well.

Keywords: water supply, biological cleaning of pipes, energy saving, ecology, lactic acid bacteria, economic efficiency.

Введение

Экологическим проблемам, загрязнению водных ресурсов в Сибири и в Байкальском регионе ученые Иркутской области уделяют особое внимание. Для региона вода — это не просто источник жизни, это еще и источник электроэнергии (на р. Ангаре расположен каскад из 3 трех ГЭС). Техногенные факторы неумолимо влияют на качество водных ресурсов, а через нее на качество и продолжительность жизни. В Байкальском государственном университете уже давно уделяют внимание исследованиям влияния техногенных факторов на экологию и экономику региона [1, 2, 4, 6, 15, 17]. Сложившаяся эколого-экономическая школа систематически занимается исследованиями текущего состояния воздуха и воды, предложениями по нормативному регулированию снижения выбросов в воду и атмосферу. Новое исследование посвящено предупреждению загрязнения воды и почвы в процессе эксплуатации инженерных сетей.

С вредоносностью накипи человечество знакомо с XVIII века, когда появились первые паровые машины. При сравнении таблиц 1 и 2 видно, что теплопроводность накипи в 200 раз ниже чем у металла.

Из-за накипи требуется больше энергии, а значит больше топлива для нагрева воды и пара до нужной температуры. Именно поэтому к основным проблемам в организации экономичного режима эксплуатации, продления срока службы ГВС, ХВС и отопления является защита от коррозии и образования отложений. В результате коррозии и накипи снижается механическая прочность труб инженерных систем, возникают протечки, неудаленные отложения сильно прикипают к трубам, сужается проход для воды, снижаются потребительские качества (напор, температура) систем. Традиционно восстановление рабочих свойств и потребительских качеств

инженерных систем выполняют методом полной или частичной замены труб, радиаторов, запорной арматуры, либо путем промывки системы отопления растворами кислот [5, 9, 16].

При этом нередко возникают аварийные ситуации, например, как это произошло в городе Вихоревка Братского района Иркутской области в отопительный сезон 2016–2017 гг. Аварийная ситуация была связана с образованием накипи в котлах отопления в таком размере, что пришлось повышать давление в системе и температуру, чтобы передать тепло потребителю. При этом стенки котлов не выдержали и лопнули.

Однако существуют технологии, позволяющие не доводить оборудование тепловодоснабжения до состояния, когда единственным решением является капитальный ремонт, в том числе в тех случаях, когда способы защиты от коррозии и образования отложений недостаточно справляются со своей задачей.

Методы и материалы

В настоящее время используется несколько способов очистки от отложений, накипи и шлама (см. табл. 3) [8, 11, 12, 14, 18].

В случае использования воды с большим количеством солей происходит большое образование накипи, которую до последнего времени убрать можно было только промывая трубы составами на основе ортофосфорной, серной или соляной кислоты, что, во-первых, небезопасно для людей, а во-вторых, для окружающей среды.

Объем сточных вод, требующих очистки в Иркутской области, в 2016 г. составил 596,41 млн м³, что больше на 10,40 млн м³ (1,8%), чем в 2015 г. [9]. Со сточными водами в водные объекты поступило до 46 загрязняющих веществ. В Иркутской области основными источниками загрязнения по бассейну оз. Байкал являются предприятия, осуществляющие непосредственный сброс сточных вод. Так, например, в озеро Байкал наибольшие

Таблица 1

Средние значения коэффициентов теплопроводности для различных видов накипи

Виды накипи и ее химический состав	Характер отложений	Коэффициент теплопроводности λ , Вт/м·К (ккал/м·ч·град)
Гипсовая накипь (с содержанием CaSO ₄ до 50 %)	Твердая, плотная	0,582–2,908 (0,5–2,5)
Карбонатная накипь (с содержанием CaCO ₃ , MgCO ₃ больше 50 %)	От аморфного порошка до твердого котельного камня	0,582–6,978 (0,5–6,0)
Смешанная накипь, состоящая из гипса, карбонатов и силикатов кальция и магния	Твердая, плотная	0,814–3,489 (0,7–3,0)

Таблица 2

Средние значения коэффициентов теплопроводности для различных металлов

Металл	Коэффициент теплопроводности λ , Вт/м·К (ккал/м·ч·град)
Алюминий	202–236
Железо	92
Латунь	97–111
Медь	401
Сталь	47–58

стоки сбрасывает МУП «Канализационные очистные сооружения Байкальского муниципального образования», г. Байкальск [9].

Общая масса загрязняющих веществ, поступивших в оз. Байкал, составила 362,47 т (в 2014 г. — 288,09 т, в 2015 г. — 360,91 т). Валовые сбросы в бассейн р. Ангара взвешенных веществ, азота аммонийного, фосфора, органических соединений серы, нитратов, формальдегида, фенолов, метанола, лигнина сульфатного составили 90–98 % от общего количества данных загрязняющих веществ, поступивших в водные объекты области. Загрязняющими веществами в составе сточных вод предприятий ЖКХ, которые сбрасывают более 20 % сточных вод в бассейн р. Лена, являются: сульфаты, хлориды, фосфаты, нитраты, азот аммонийный, нитриты, железо, СПАВ, нефтепродукты [9].

Таким образом, можно отметить неблагоприятную экологическую обстановку в части загрязнения водного бассейна в Иркутской области. Поэтому рассматриваемая нами технология биочистки систем отопления и водоснабжения направлена на минимизацию ущерба для экологии региона.

Результаты исследования

Проведем анализ применения технологии очистки теплотехнических систем от отложений и продуктов коррозии с помощью биоорганической композиции «БОНАКА» (БиЗ-1) [3, 7, 10, 13].

В основе производства и действия БиЗ-1 лежат процессы ферментации углеводного и белкового субстрата, входящего в состав питательной среды для культивирования симбиотических молочнокислых микроорганизмов. В качестве питательной среды выступает молочная сыворотка, дополнительно обогащенная питательными веществами. Сыворотка содержит большое

Таблица 3

Сравнительная таблица технологических показателей

Способ очистки	Область применения	Технологическая эффективность — полнота удаления отложений	Квалификация исполнителей	Пассивность к материалам	Экологичность, безопасность для исполнителей	Доступ к очищаемой поверхности
Гидропневматический	Системы теплоснабжения зданий, в том числе мкд	Низкая, твердые отложения остаются нетронутыми	Минимальные требования к квалификации исполнителей	Высокая	Экологически нейтральный, безопасный для человека метод	На труднодоступных участках остаются нетронутыми даже мягкие отложения
Механический, гидродинамический	Ограниченная, не применим для систем теплоснабжения зданий и котлов малой мощности	Средняя, удаётся удалить не более 75% накипных отложений	Может привлекаться неквалифицированный персонал	Вероятно повреждение труб и сосудов до образования свищей	Экологически нейтральный метод, требует выполнения особых мер безопасности	Отложения удаляются неравномерно, требуется разборка оборудования, что ведет к удорожанию работ
Электрофизический	Ограниченная, котлы большой емкости	Высокая	Привлекается квалифицированный персонал	Может привести к разрывам и механическим повреждениям	Экологически нейтрален, существует опасность поражения электрошоком	Требуется разборка крышек и лючков для доступа к очищаемой поверхности
Химическая технология очистки	Ограниченная, существует запрет на применение в системах теплоснабжения зданий	Высокая	Привлекается квалифицированный персонал	Низкая, может повредить прокладку, приводит к постепенному выгоранию металла	Экологически опасный метод, требует соблюдения особых правил утилизации, требует соблюдения особых мер безопасности при работе	Разборка не требуется
Биологическая технология очистки	Без ограничений/универсальный способ	Удаляется более 97% отложений	Привлекается квалифицированный персонал	Полная пассивность, на уровне молочнокислых продуктов	Экологически нейтральный метод, требует соблюдения техники безопасности	Разборка не требуется, равномерный доступ к всей поверхности

количество главной «пищи» для всех молочнокислых микроорганизмов — лактозы. Ферменты микроорганизмов, как катализаторы, активируют процесс брожения молочного сахара, в результате чего образуются продукты распада субстрата, в среду выделяются продукты жизнедеятельности (метаболиты), обладающие уникальными свойствами. С одной стороны, метаболиты избирательно вступая в реакции с соединениями, входящими в состав отложений, разрушают их, в последующем продукты распада вымываются водой. С другой стороны, на поверхности очищаемого материала образуется гидрофобная пленка сложного состава, которая снижает скорость образования новых отложений.

Микроорганизмы, входящие в состав БиЗ-1, не продуцируют ферменты, относящиеся к факторам патогенности. Выделяемые микроорганизмами антибиотические вещества предотвращают рост и развитие гнилостной патогенной микрофлоры внутри очищаемого оборудования. Таким образом, являясь антагонистами в отношении патогенных микроорганизмов, БиЗ-1 проявляет дезинфицирующие свойства пролонгированного действия.

Высокая очищающая эффективность БиЗ-1 обусловлена тем, что в этот продукт входит свыше 30 органических соединений-метаболитов (муравьиная, щавелевая, лимонная, виноградная, масляная, молочная, пропионовая, янтарная, яб-

лочная и другие кислоты, а также спирты, ароматические вещества, диоксид углерода, ацетилфосфат, ацетальдегид, диацетил, ацетоин и др.). Наличие в штаммовом составе БиЗ-1 слизиобразующих (вязких) микроорганизмов способствует образованию на поверхности металлов пассивирующей пленки. Так как состав образуемых слизей очень многокомпонентный (экзополисахариды, гликопептиды, амины, уроновые кислоты, ферменты), образующаяся пленка снижает проницаемость окисляющих реагентов, защищает металл за счет образования сложных металлоорганических соединений. Оборудование не только надежно защищается от коррозии, но и происходит постепенная очистка его поверхности от отложений, препятствуя образованию новых. При этом биоорганическую композицию БиЗ-1 допускается сбрасывать на почву, в водоемы и канализационные системы без предварительной подготовки или разбавления.

Рассмотрим стоимость очистки системы отопления на примере 5-этажного многоквартирного дома (см. табл. 4), расположенного по адресу г. Иркутск, мкр. Приморский, дом 10. Продолжительность работы бригады из двух сертифицированных работников составляет 6 дней.

Как видно из таблицы, промывка системы отопления биораствором обошлась бы в 230 265 руб. При этом по смете капитального ремонта замена старой системы отопления обош-

Таблица 4

Спецификация биоочистки в МКД

№ п/п	Наименование материалов и транспортно-складских затрат	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Стоимость, руб.
1	Подготовленная к применению БиЗ-1	л	140	1125,00	157 500,00
2	Доставка Краснодар—Иркутск	шт.	1	8400,00	8400,00
3	Доставка очищающего оборудования и БиЗ-1 Иркутск — Объект — Иркутск	шт.	1	2000,00	2000,00
<i>Стоимость материалов</i>					<i>167 900</i>
1	Подготовка — монтаж оборудования очистки, подготовка раствора, нагрев. Бригада 2 человека	2 чел.-дн.	1	3700	3 700
2	Очистка оборудования по технологии БОНАКА. Бригада 2 человека	2 чел.-дн.	4	3700	14 800
3	Промывка технической водой, демонтаж оборудования, сдача-приемка результата работ. Бригада 2 человека	2 чел.-дн.	1	3700	3700
<i>ФОТ</i>					<i>22 200</i>
<i>Стоимость накладных расходов, в том числе командировочных расходов</i>					<i>40 165</i>
<i>Итого по спецификации</i>					<i>230 265</i>

лась бы в сумму 1 135 000 руб., что больше биологической очистки примерно в 5 раз.

Заключение

Для закрепления опыта производителями биоорганической композиции БиЗ-1 в г. Москве были отобраны два МКД одного года постройки. В одном из МКД была проведена очистка системы теплоснабжения при помощи БиЗ-1. После чего в течение 6 дней сравнивали потребление тепла в доме с промытой системой отопления и с непромытой. Расход тепла за 6 дней в 80-квартирном МКД, «промытом» по Биотехнологии (4000 м²) — 25,332 ГДж (0,0063 ГДж/м² отапливаемой площади); расход тепла за 6 дней в 60 квартирном МКД, который «не промывался» (3500 м²) — 33,273 ГДж (0,0095 ГДж/м² отапливаемой площади). Из данных теплоснабжения на 1 м² видно, что экономия составила 33 %. В результате транспонирования данных, полученных за 6 дней, на весь отопительный сезон получена прогнозная экономия в размере 150 тысяч рублей. Данная экономия показывает, что практически в рамках одного отопительного сезона можно вернуть деньги, потраченные на очистку системы отопления дома.

Таким образом, исходя из представленных расчетов, наглядно видна эффективность замены традиционного ремонта систем теплоснабжения на очистку отложений в трубах водоснабжения с использованием технологии биоочистки. И самое важное, что данный метод более экологичен по сравнению с промывкой труб растворами неорганических кислот.

Литература

1. Астраханцева, О. Ю., Белозерцева, И. А. и Палкин, О. Ю. (2018). Выделение в веществе вод озера Байкал зон естественных физико-химических равновесий с веществом окружающей среды. *Вода: химия и экология*, № 7–9, сс. 3–14.
2. Астраханцева, О. Ю., Белозерцева, И. А. и Палкин, О. Ю. (2017). Расчет форм существования компонентов и характера геохимической среды (ЕН, РН, минерализация) в глубинных водах резервуаров оз. Байкал. *Вода: химия и экология*, № 5, сс. 12–22.
3. БОНАКА (2019). БОНАКА — решение на основе инноваций и биотехнологии. Принцип действия. [online] Доступно по ссылке: <https://bonaka.ru/technology/#> [Дата обращения: 01.03.2019].
4. Винокуров, М. А., Суходолов, А. П., Русецкая, Г. Д. и Горбунова, О. И. (2012). Проблемы загрязнения окружающей среды и состояние здоровья населения. *Известия Иркутской государственной экономической академии (Байкальский государственный университет экономики и права)*, № 5, с. 33.
5. Власова, А. Ю., Чичирова, Н. Д., Чичиров, А. А., Филимонова, А. А. и Власов, С. М. (2017). Ресурсосберегающая технология нейтрализации и очистки кислых и жестких высокоминерализованных жидких отходов ионитной водоподготовительной установки ТЭС. *Вода и экология: проблемы и решения*, № 2, сс. 3–17. DOI:10.23968/2305-3488.2017.20.2.3-17.
6. Каницкая, Л. В., Мокрый, А. В., Белых, О. А. и Смирнова, Е. В. (2015). Оценка экологической пригодности водотоков города Байкальска для развития туризма и рекреации. *Фундаментальные исследования*, № 7 (часть 3), сс. 463–467.
7. Кравченко, А. (2014). Экономическое обоснование замены реагентов на тепловых электростанциях. Саарбрюккен.: LAP Lambert Academic Publishing, 76 с.
8. Марьяновский, Я., Наликовский, А., Петшкова, А. и Курьяков, А. (2014). Химическая очистка паровых котлов от отложений и продуктов коррозии традиционными методами и методом «в работе». *Новости теплоснабжения*, № 1 (161). [online] Доступно по ссылке: http://www.rosteplo.ru/Tech_stat/stat_shablon.php?id=3193 [Дата обращения: 01.03.2019].
9. Министерство природных ресурсов и экологии Иркутской области (2017). Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Иркутской области в 2016 году». Иркутск: ООО «Мегапринт», 274 с.
10. Николаева, Е. (2014). Бактерии против накипи и грязи. [online]. *Эксперт*, № 47 (924). Доступно по ссылке: <http://expert.ru/expert/2014/47/bakterii-protiv-nakipi-i-gryazi/> [Дата обращения: 01.03.2019].
11. ООО «Инновации-Евросервис» (2017). Механическая очистка котлов Е, ДЕ и ДКВР. [online] Доступно по ссылке: <http://inev.ru/sposoby-ochistki/mekhanicheskaya-ochistka-trub-kotlov-e-de-dkvr-i-ke> [Дата обращения: 01.05.2019].
12. ООО «Инновации-Евросервис» (2017). Особенности очистки паровых котлов электроразрядным способом. [online] Доступно по ссылке: <http://inev.ru/articles/2019-04-02-osobennosti-ochistki-parovykh-kotlov-elektrozaryadnym-sposobom> [Дата обращения: 01.05.2019].
13. Пилюгин, Ю. В. и Черевик, О. О. (2016). Безразборная очистка теплового оборудования и систем отопления с использованием биотехнологий. [online] *Новости теплоснабжения*, № 9 (193), сс. 52–54. Доступно по ссылке: http://www.rosteplo.ru/Tech_stat/stat_shablon.php?id=3596 [Дата обращения: 01.03.2019].
14. Примак, Л. В. и Чернышов, Л. Н. (ред.) (2011). Энергосбережение в ЖКХ. Учебно-практическое пособие. М.: Академический проект, 622 с.
15. Русецкая, Г. Д. (2013). Ущерб от загрязнения окружающей среды. Здоровье населения, риски и экологическое страхование. *Известия Байкальского государственного университета*, № 4 (90), сс. 153–158.
16. Старчак, В. Г., Цыбуля, С. Д., Иваненко, К. Н., Буальская, Н. П. и Костенко, И. А. (2018). Повышение эффективности водоочистки — путь к экологической безопасности и ресурсосбережению. *Вода и экология: проблемы и решения*, № 3, сс.48–53. DOI: 10.23968/2305–3488.2018.20.3.48–53.
17. Чернышов, Л. Н., Астафьев, С. А. и Вакулина, В. П. (2015). Капитальный ремонт многоквартирных домов: про-

блемы формирования и направления развития. Известия Байкальского государственного университета, Т. 25, № 1, сс. 85–94.

18. Best Water Technology (2017). Чем растворить накипь — различные методы очистки. [online] Доступно по ссылке: <http://www.bwt.ru/useful-info/1348> [Дата обращения: 01.03.2019].

References

1. Astrahanceva, O. Yu., Belozerceva, I. A. and Palkin, O. Yu. (2018). The selection in the matter of the waters of lake Baikal areas natural physical and chemical equilibrium with matter the environmental. *Water: Chemistry and Ecology*, No. 7–9, pp. 3–14.

2. Astrahanceva, O. Yu., Belozerceva, I. A. and Palkin, O. Yu. (2017). Calculation of the forms of existence of components and the nature of the geochemical environment (EH, PH, mineralization) in the deep waters of the reservoirs of lake Baikal. *Water: Chemistry and Ecology*, No. 5, pp. 12–22.

3. Bonaka (2019). Bonaka — a solution based on innovations and biotechnology. Operating principle. [online] Available at: <https://bonaka.ru/technology/#> [Date accessed 01.03.2019].

4. Vinokurov, M. A., Sukhodolov, A. P., Rusetskaya, G. D. and Gorbunova, O. I. (2012). Problems of environment pollution and people's health. *Izvestiya of Irkutsk State Economics Academy (Baikal State University)*, No. 5, p. 33.

5. Vlasova, A. Yu., Chichirova, N. D., Chichirov, A. A., Filimonova, A. A. and Vlasov, S. M. (2017). Resource-saving technology for neutralization and purification of acidic and hard-concentrated, liquid waste of the ion-exchange water treatment plant of TPPSComplex of water for drinkable small settlements. *Water and Ecology*, No. 2, pp. 3–17. DOI:10.23968/2305-3488.2017.20.2.3-17.

6. Kanitskaya, L. V., Mokryy, A. V., Belykh, O. A. and Smirnova, E. V. (2015). Environmental assessment of Baikalsk area rivers for tourism and recreation development. *Fundamental Research*, No. 7 (part 3), pp. 463–467.

7. Kravchenko, A. (2014). *Economic rationale for replacement of reagents at thermal power plants*. Saarbrücken: LAP Lambert Academic Publishing, 76 p.

8. Maryanovsky, Ya., Nalikovskiy, A., Petshkovskaya, A. and Kuryakov, A. (2014). Chemical cleaning of steam boilers from deposits and corrosion products using traditional methods and “in operation” method. *Novosti Teplosnabzheniya (News of Heat Supply)*, No. 1 (161). [online] Available at: http://www.rosteplo.ru/Tech_stat/stat_shablon.php?id=3193 [Date accessed 01.03.2019].

9. Ministry of Natural Resources and Environment of the Irkutsk Region (2017). *National report “On the environment state and protection in the Irkutsk region in 2016”*. Irkutsk: OOO Megaprint, 274 p.

10. Nikolaeva, E. (2014). Bacteria against scale and dirt. *Expert*, No. 47(924). [online] Available at: <http://expert.ru/expert/2014/47/bakterii-protiv-nakipi-i-gryazi/> [Date accessed 01.03.2019].

11. OOO Innovatsii-Evroservis (2017). *Mechanical cleaning of E, DE and DKVR boilers*. [online] Available at: <http://inev.ru/sposoby-ochistki/mekhanicheskaya-ochistka-trub-kotlov-e-dkvr-i-ke> [Date accessed 01.05.2019].

12. OOO Innovatsii-Evroservis (2017). *Features of steam boilers cleaning using electric-discharge method*. [online] Available at: <http://inev.ru/articles/2019-04-02-osobennosti-ochistki-parovykh-kotlov-elektrozryadnym-sposobom> [Date accessed 01.05.2019].

13. Pilyugin, Yu. V. and Cherevik, O. O. (2016). In-place cleaning of heating equipment and heating systems using biotechnologies. *Novosti Teplosnabzheniya (News of Heat Supply)*, No. 9 (193), pp 52–54. [online] Available at: http://www.rosteplo.ru/Tech_stat/stat_shablon.php?id=3596 [Date accessed 01.03.2019].

14. Primak, L. V. and Chernyshov, L. N. (eds.) (2011). *Energy saving in the housing and utility sector. Educational and practical guide*. Moscow: Akademichesky Proyekt, 622 p.

15. Rusetskaya, G. D. (2013). Pollution damage to the environment, human health, risks and ecological insurance. *Bulletin of Baikal State University*, No. 4 (90), pp. 153–158.

16. Starchak, V. G., Tsybulia, S. D., Ivanenko, K. N., Buialaska, N. P. and Kostenko, I. A. (2018). Improving water purification efficiency as a way to environmental safety and resource saving. *Water and Ecology*, No. 3, pp. 48–53. DOI: 10.23968/2305-3488.2018.20.3.48-53.

17. Chernyshov, L. N., Astafiyev, S. A. and Vakulina, V. P. (2015). Apartment buildings capital repairs: funding problems and development trends. *Bulletin of Baikal State University*, Vol. 25, No. 1, pp. 85–94.

18. Best Water Technology (2017). *How to dissolve scale — various cleaning methods*. [online] Available at: <http://www.bwt.ru/useful-info/1348/> [Date accessed 01.03.2019].

Авторы

Астафьев Сергей Александрович, д-р экон. наук, доцент Байкальский государственный университет, г. Иркутск, Россия
E-mail: astafievsa@mail.ru

Боннет Вячеслав Владимирович, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВО «Иркутский государственный аграрный университет имени А. А. Ежевского», г. Иркутск, Россия
E-mail: bonnet74@mail.ru

Доенин Михаил Юрьевич

Байкальский государственный университет, г. Иркутск, Россия
E-mail: doeninm@gmail.com

Authors

Astafiyev Sergey Alexandrovich, Dr. of Economics, Associate Professor
Baikal State University, Irkutsk, Russia
E-mail: astafievsa@mail.ru

Bonnet Vyacheslav Vladimirovich, Ph. D. in Engineering, Associate Professor
Irkutsk State Agrarian University named after A. A. Izhevskogo, Irkutsk, Russia
E-mail: bonnet74@mail.ru

Doenin Mikhail Yurievich

Baikal State University, Irkutsk, Russia
E-mail: doeninm@gmail.com