УДК 628.1

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОТОЧНЫХ ВОДОНАГРЕВАТЕЛЕЙ ПУТЕМ ОПТИМИЗАЦИИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ УДЕЛЬНОЙ МОЩНОСТИ НАГРЕВАТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

♦♦♦♦♦

IMPROVING THE EFFICIENCY OF INSTANTANEOUS WATER HEATERS BY OPTIMIZING THE DISTRIBUTION OF THE SPECIFIC POWER OF HEATING ELEMENTS

Шелехов Игорь Юрьевич
кандидат технических наук,
доцент ВАК,
доцент кафедры городское строительство и хозяйство
promteplo@yandex.ru

Пиксаев Дмитрий Алексеевич
Аспирант,
Иркутский национальный исследовательский технический университет
Dpiksaev112@mail.ru

Рагозин Александр Михайлович
магистрант,
Иркутский национальный исследовательский технический университет
amragoz@mail.ru

Сахаровская Алиса Максимовна
магистрант,
Иркутский национальный исследовательский технический университет
asaxarovskaya@list.ru

Аннотация. Статья посвящена исследованию причин снижения эффективности проточных водонагревателей и экспериментальной проверке метода борьбы с накипью путем применения нагревательных элементов с неравномерной удельной мощностью. Результаты эксперимента демонстрируют значительное преимущество предложенного технического решения по сравнению со штатными нагревателями, выражающееся в сохранении высокого коэффициента полезного действия в условиях интенсивной эксплуатации.

Ключевые слова: водоснабжение, проточный водонагреватель, эффективность, неравномерная удельная мощность.

Shelekhov Igor Yuryevich
Candidate of Technical Sciences
Associate Professor
of the Higher Attestation Commission,
Associate Professor of the Department
of Urban Construction and Economy
promteplo@yandex.ru

Piksaev Dmitry Alekseevich
Postgraduate Student,
Irkutsk National Research
Technical University
Dpiksaev112@mail.ru

Ragozin Alexander Mikhailovich
Master's Student,
Irkutsk National Research
Technical University
amragoz@mail.ru

Sakharovskaya Alisa Maksimovna
Master's Student,
Irkutsk National Research
Technical University
asaxarovskaya@list.ru

Annotation. This article examines the causes of reduced efficiency in instantaneous water heaters and experimentally validates a method for combating scale buildup using heating elements with variable power density. The experimental results demonstrate a significant advantage of the proposed solution over standard heaters, resulting in the maintenance of high efficiency under intensive use.

Keywords: water supply, instantaneous water heater, efficiency, uneven specific power.

Современный уровень комфорта неразрывно связан с широким использованием бытовой техники, функционирование которой базируется на применении проточных водонагревателей. Несмотря на то, что в общественном сознании проточные водонагреватели (ПВН) ассоциируются преимущественно с автономными системами горячего водоснабжения, они также являются стандартным конструктивным элементом посудомоечных и стиральных машин. Однако эффективность работы водонагревателей имеет тенденцию к снижению в процессе эксплуатации, что особенно актуально для объектов, удаленных от централизованных сетей водоснабжения и использующих воду с высоким солесодержанием.

Основным дестабилизирующим фактором является образование накипи – твердых отложений на поверхности нагревательных элементов. Причиной этого явления служит повышенная жесткость воды, обусловленная высоким содержанием растворенных солей кальция и магния (преимущественно бикарбонатов, сульфатов и хлоридов). В процессе нагрева гидрокарбонаты, обусловливающие временную жесткость, подвергаются термическому разложению с образованием нерастворимого осадка, который кристаллизуется и нарастает на теплопередающих поверхностях. Накипь характеризуется крайне низкой теплопроводностью, выполняя функцию теплоизолятора. Это приводит к интенсификации тепловых потерь, увеличению времени нагрева воды до заданной температуры и, как следствие, к перерасходу электроэнергии. Локальный перегрев нагревательного элемента из-за ухудшения теплоотвода может вызывать его деформацию, разрушение защитных оболочек и последующий выход прибора из строя [1].

Для емкостных водонагревателей существуют относительно эффективные методы борьбы с накипью, такие как применение магниевых анодов (электрохимическая защита) или ограничение температуры нагрева. В случае с проточными водонагревателями данные подходы малоэффективны. Установка фильтрующих устройств на входе в дом (ионообменные умягчители, дозаторы ингибиторов) позволяет снизить жесткость воды, однако их применение ограничено ввиду высокой стоимости, сложности сервисного обслуживания и эксплуатационных расходов. Альтернативные методы, такие как магнитная и электромагнитная обработка воды, также не получили широкого распространения из-за их низкой доказанной эффективности в условиях бытового использования. В связи с этим, наиболее надежным способом обеспечения работоспособности ПВН на сегодняшний день остается регулярная профилактическая чистка, что сопряжено с простоем оборудования и трудоемкостью процесса [2].

Целью настоящей работы является исследование возможности снижения интенсивности образования накипи в проточных водонагревателях путем оптимизации тепловых режимов работы нагревательного элемента. В качестве решения предлагается использование нагревательных элементов с переменной (неравномерной) удельной мощностью по длине проточного канала. Данное предложение базируется на анализе температурного поля теплопередающей поверхности.

Экспериментальные замеры показывают, что в стандартных конструкциях ПВН температура поверхности нагрева существенно варьируется вдоль тракта движения воды. На начальном участке (вход холодной воды) температура поверхности может составлять +75…+100 °С, возрастая до +350 °С на выходе из нагревателя. Столь высокий градиент температур интенсифицирует процессы парообразования и кристаллизации солей в зоне максимального нагрева. Логически обоснованным является выравнивание теплового потока путем перераспределения удельной мощности: максимум удельной мощности следует сосредоточить на входном (наиболее холодном) участке для быстрого начального нагрева, а минимум — на выходном, где вода уже имеет высокую температуру, что позволяет избежать перегрева поверхности и, как следствие, снизить вероятность осаждения накипи.

Для проверки данной гипотезы были проведены сравнительные испытания двух проточных водонагревателей:

1. Штатный нагревательный элемент (ТЭН) от стиральной машины марки Candy мощностью 2,0 кВт (контрольный образец).

2. Экспериментальный нагревательный элемент мощностью 2,0 кВт, изготовленный по запатентованной технологии с изменяющейся по длине удельной мощностью [3].

Ввиду неразборной конструкции штатного ТЭНа, прямое количественное определение массы образовавшейся накипи было затруднено. В связи с этим оценка эффективности работы производилась путем сравнения коэффициента полезного действия (КПД) нагревателей, вычисляемого по формуле:

$$\eta = \frac{Q}{E} \cdot 100\ \%, \qquad (1)$$

где η – коэффициент полезного действия (%); Q – количество полезной теплоты, переданной воде (кДж); E – количество потребленной электрической энергии (кДж).

Количество теплоты, полученное водой, рассчитывалось по стандартной калориметрической формуле:

$$Q = c \cdot m \cdot (t_к - t_н), \quad (2)$$

где c – удельная теплоемкость воды (кДж/(кг·°С)); m – масса воды, прошедшей через нагреватель за время эксперимента (кг); $t_к$ – температура воды на выходе из нагревателя (°С); $t_н$ – температура воды на входе в нагреватель (°С).

В ходе эксперимента использовались следующие контрольно-измерительные приборы: Измеритель-регулятор температуры ИМС-Ф1с (производства ОВЭН) с комплектом термопар для измерения температуры; Электросчетчики МТ4014 (производства «Энергомера») для учета потребленной электроэнергии; Мультиметр В7-35 для контроля напряжения и силы тока; Мерная емкость и секундомер для определения объемного расхода воды (с последующим пересчетом в массу).

Испытания проводились в условиях, имитирующих жесткую эксплуатацию. Через испытуемые образцы пропускалась артезианская вода (из скважины) с высоким содержанием растворенных солей, характеризующаяся повышенной жесткостью и малопригодная для бытового использования без предварительной обработки.

На начальном этапе (первые сутки непрерывной работы) эффективность обоих образцов была сопоставима и составляла приблизительно 97 %, что свидетельствует о корректности сборки измерительной схемы и сопоставимости условий эксперимента.

После 48 часов непрерывной работы в идентичных условиях были зафиксированы следующие изменения: Штатный нагреватель: КПД контрольного образца резко снизился до 52 %. Зафиксирован критический перегрев корпуса до 130 °С, сопровождавшийся появлением характерного гудящего звука (вероятно, свидетельствующего о вскипании воды в приграничном слое и интенсивном парообразовании под слоем накипи). Эксперимент с данным образцом был прекращен досрочно из-за высокого риска аварийного выхода из строя.

Экспериментальный нагреватель: КПД образца с неравномерной удельной мощностью снизился незначительно и составил 79 %. Признаков перегрева и акустического шума не наблюдалось.

Полученные данные свидетельствуют о том, что предложенная конструкция нагревательного элемента позволяет существенно замедлить процесс образования накипи и сохранить работоспособность прибора в условиях высокой жесткости воды. Более низкая температура поверхности на выходном участке предотвращает интенсивное осаждение солей, а высокий теплосъем на входе обеспечивает эффективный нагрев без локальных перегревов.

Проведенное исследование подтвердило, что неравномерность температурного поля по длине проточного водонагревателя является одним из ключевых факторов, ускоряющих образование накипи и снижающих эффективность работы оборудования.

На основе выполненного эксперимента можно сделать вывод о том, что использование нагревательных элементов с переменной удельной мощностью является перспективным направлением повышения надежности, энергоэффективности и срока службы проточных водонагревателей, в том числе встроенных в бытовую технику, эксплуатируемую в регионах с жесткой водой.

Литература

1. Кочева М.А. Анализ различных методов обработки воды / М.А. Кочева, Т.А. Косатова // Современные наукоемкие технологии. – 2015. – № 6. – С. 23–25. EDN UXSITL
2. Мероприятия по увеличению степени надежности и эффективности работы систем водоснабжения и водоотведения / И.Ю. Шелехов [и др.] // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. – 2024. – Т. 14. – № 3(50). – С. 608–616. DOI 10.21285/2227-2917-2024-3-608-616 EDN XZCOXS

3. Патент на полезную модель № 219638 U1 Российская Федерация, МПК H05B 3/16, H05B 3/34, H05B 3/38. Гибкий нагревательный элемент с неравномерной удельной мощностью: № 2022133257: заявл. 19.12.2022: опубл. 31.07.2023 / И.В. Шелехова, И.Ю. Шелехов, А.И. Шелехова; заявитель Общество с ограниченной ответственностью «Промышленные Технологические Инновации». EDN JINDIL

References

1. Kocheva M.A. Analysis of Various Water Treatment Methods / M.A. Kocheva, T.A. Kosatova // Modern Science-Intensive Technologies. – 2015. – № 6. – P. 23–25. EDN UXSITL
2. Measures to Increase the Reliability and Efficiency of Water Supply and Sanitation Systems / I.Yu. Shelekhov [et al.] // News of Universities. Investments. Construction. Real Estate. – 2024. – Vol. 14. – № 3(50). – P. 608–616. DOI 10.21285/2227-2917-2024-3-608-616 EDN XZCOXS
3. Patent for utility model No. 219638 U1 Russian Federation, IPC H05B 3/16, H05B 3/34, H05B 3/38. Flexible heating element with uneven specific power: No. 2022133257: declared 19.12.2022: published 31.07.2023 / I.V. Shelekhova, I.Yu. Shelekhov, A.I. Shelekhova; applicant Limited Liability Company «Industrial Technological Innovations». EDN JINDIL