

## Подготовка горячей воды в автономных системах теплоснабжения с несколькими точками водоразбора

Алексей Леонидович Торопов

Инженерный центр «Апрель» (ИЦ «Апрель»); г. Москва, Россия

### АННОТАЦИЯ

**Введение.** Повышение энергетической эффективности оборудования HVAC вносит наибольший вклад в снижение техногенного воздействия на природную среду. Особенности использования газовых нагревателей для нескольких точек разбора горячей воды связаны с комфортом потребления горячего водоснабжения (ГВС). В это понятие включены два этапа: задержка времени начала подачи горячей воды с момента открытия крана и колебание температуры горячей воды при произвольном одновременном использовании нескольких точек водоразбора. Цель исследования — изучить режимы работы ГВС газовых нагревателей, определить влияние алгоритмов модуляции тепловой мощности и тепловой инерции теплообменников на изменение температуры ГВС при одновременном использовании двух точек водоразбора.

**Материалы и методы.** Испытания проводились на научно-исследовательском стенде завода «АРДЕРИЯ». Объекты исследования — газовый проточный водонагреватель с модуляцией тепловой мощности Ariston FAST EVO ONT C 14, газовые настенные котлы Arderia D24 и Arderia D24 Atmo.

**Результаты.** Определены коэффициенты тепловой инерции теплообменников исследуемых образцов, величина изменения температуры в основной точке водоразбора (душ) при периодическом подключении и отключении крана в кухне. Представлено сравнение алгоритмов модуляции тепловой мощности рассматриваемых образцов.

**Выводы.** Работа автономных систем ГВС с несколькими точками водоразбора приводит к колебаниям температуры воды с диапазоном изменения до 10 °С. Время выравнивания температуры воды составляет до 1,5 мин. Решение вопроса обеспечения заданного комфортного уровня температуры воды достигается организацией расходов потребления ГВС и холодного водоснабжения в соответствии с уровнем приоритета потребления воды различными точками водоразбора, применением буферных тепловых емкостей или тепловых генераторов с большим диапазоном регулирования тепловой мощности и уменьшенной тепловой инерцией теплообменников.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** проточный газовый нагреватель воды, энергетическая эффективность, автономная система теплоснабжения, газовая колонка, газовый клапан, точка водоразбора

**Благодарности.** Автор благодарит рецензентов за замечания по стилю изложения и научно-технической сути, способствующие более глубокому раскрытию темы научной работы.

**ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:** Торопов А.Л. Подготовка горячей воды в автономных системах теплоснабжения с несколькими точками водоразбора // Вестник МГСУ. 2024. Т. 19. Вып. 9. С. 1541–1549. DOI: 10.22227/1997-0935.2024.9.1541-1549

Автор, ответственный за переписку: Алексей Леонидович Торопов, toropov@aprilgroup.ru.

## Hot water treatment in autonomous heat supply systems with several water intake points

Alexey L. Toropov

Engineering Center “April”; Moscow, Russian Federation

### ABSTRACT

**Introduction.** Improving the energy efficiency of HVAC equipment makes the greatest contribution to reducing the man-made impact on the environment. The peculiarities of using gas heaters for several hot water disassembly points are related to the comfort of hot water consumption. Two points are included in this concept. The delay in the start time of hot water supply from the moment the tap is opened and the fluctuation of hot water temperature when several water intake points are used at random at the same time. The aim of the study is to investigate the operating modes of hot water of gas heaters, to determine the influence of algorithms for modulation of thermal power and thermal inertia of heat exchangers on the change in the temperature of hot water supply with the simultaneous use of two water intake points.

**Materials and methods.** The study was carried out on the research stand of the “ARDERIA” plant. Objects of research — Gas Instantaneous Water Heater with Thermal Power Modulation Ariston FAST EVO ONT C 14, Arderia D24 and Arderia D24 Atmo wall-mounted gas boilers.

**Results.** The coefficients of thermal inertia of the heat exchangers of the studied specimens, the value of temperature change at the main point of water intake (shower) during periodic connection and disconnection of the tap in the kitchen were determined. Comparisons of the thermal power modulation algorithms of the specimens under consideration are given.

**Conclusions.** Operation of autonomous hot water supply systems with several water intake points leads to water temperature fluctuations with a range of up to 10 °C. Water temperature equalization time is up to one and a half minutes. The solu-

tion to the issue of ensuring a given comfortable level of water temperature is achieved by organizing the consumption of hot water and cold water in accordance with the level of priority of water consumption at various water intake points, the use of buffer heat tanks or heat generators with a large range of heat power regulation and reduced thermal inertia of heat exchangers.

**KEYWORDS:** instantaneous gas water heater, energy efficiency, autonomous heat supply system, gas heater, gas valve, water intake point

*Acknowledgements.* The author thanks the reviewers for their comments, both in terms of the style of presentation and the scientific and technical essence, which contribute to a deeper disclosure of the topic of scientific work.

**FOR CITATION:** Toropov A.L. Hot water treatment in autonomous heat supply systems with several water intake points. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2024; 19(9):1541-1549. DOI: 10.22227/1997-0935.2024.9.1541-1549 (rus.).

*Corresponding author:* Alexey L. Toropov, toropov@aprilgroup.ru.

## ВВЕДЕНИЕ

Повышение энергетической эффективности оборудования HVAC домохозяйств вносит наибольший вклад в снижение техногенного воздействия на естественную природную среду. Это обусловлено тем, что доля общего потребления энергии на отопление и снабжение горячей водой составляет в России 78 %<sup>1</sup>, Европейском Союзе — 79 %<sup>2, 3</sup>, в США — 60 %<sup>4</sup>. Если рассматривать природный газ как источник энергии для тепловой генерации, то в индивидуальных системах теплоснабжения многоквартирных домов и поквартирном теплоснабжении многоэтажных домов подготовка горячей воды производится с помощью двухконтурных настенных газовых котлов, проточных газовых водонагревателей или бойлеров косвенного нагрева.

В данной статье рассмотрены вопросы нагрева воды с помощью настенных газовых комбинированных котлов и проточных газовых водонагревателей с модуляцией тепловой мощности, имеющих несколько точек водоразбора горячей воды в виде душа, раковины в ванной комнате, раковины на кухне. При снабжении домохозяйства холодной водой с помощью автономной системы водоснабжения необходимо также учитывать одновременное потребление холодной воды точками водоразбора, включая санузлы. Подготовка горячей воды в ал-

горитмах управления работой настенных газовых котлов находится в приоритете перед отоплением. При потреблении горячей воды процесс отопления помещения прекращается. Вся энергия горения направляется на подготовку горячей воды. Стандартная номинальная тепловая мощность настенных котлов в режиме подготовки горячей воды составляет 24 кВт·ч, что позволяет использовать комбинированные настенные газовые котлы для производства горячей воды с расходом около 11 л/мин с разницей температуры 25 °С. С точки зрения потребления горячей воды для одной точки разбора этого достаточно. Современное домохозяйство оснащено минимум двумя точками водоразбора горячей воды: ванная комната и кухня. В ванной комнате, как правило, отдельно установлен душ или ванная и мойка, однако одновременное использование душа и мойки в ванной применяется крайне редко. Все точки разбора воды оснащены смесителями вентильного или однорычажного типа. Расход воды при использовании душа составляет 5–13 л/мин при средней продолжительности разового пользования 5–7 мин. Пользование краном смесителя мойки в кухне происходит со средним расходом 4 л/мин и средней продолжительностью 2,25 мин<sup>5, 6</sup>.

Из указанного выше следует, что одновременное пользование двумя точками разбора воды в автономной системе теплоснабжения, оснащенной типовыми настенными газовыми котлами или газовыми проточными водонагревателями с номинальной тепловой мощностью 24 кВт·ч, возможно в эконом-режиме с ограниченными расходами или при условии, что температура холодной воды для смешивания с горячим водоснабжением (ГВС) выше 20 °С. Комфортное потребление горячей воды в индивидуальной системе теплоснабжения с одновременным круглогодичным использованием двух и более точек разбора возможно при наличии ге-

<sup>1</sup> Государственный доклад «О состоянии энергосбережения и повышении энергетической эффективности в Российской Федерации» // Министерство экономического развития Российской Федерации. М., 2020. URL: <https://www.economy.gov.ru/material/file/c3901dba442f8e361d68bc019d7ee83f/Energyefficiency2020.pdf>

<sup>2</sup> Directorate-General for Energy. Heating and cooling constitute around half of the EU energy consumption. URL: [https://ec.europa.eu/energy/topics/energy-efficiency/heating-and-cooling\\_en?redir=1](https://ec.europa.eu/energy/topics/energy-efficiency/heating-and-cooling_en?redir=1)

<sup>3</sup> Energy consumption and use by households // Eurostat. URL: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/-/DDN-20190620-1>

<sup>4</sup> Energy balances of OECD countries 2014 // International Energy Agency (IEA). URL: [https://www.oecd-ilibrary.org/content/publication/energy\\_bal\\_oecd-2014-en](https://www.oecd-ilibrary.org/content/publication/energy_bal_oecd-2014-en)

<sup>5</sup> СНиП 2.04.01–85\*. Строительные нормы и правила. Внутренний водопровод и канализация зданий.

<sup>6</sup> Сколько литров воды в минуту расходует в душе // Строительный портал. URL: <https://stroitelniportal.ru/stati/santehnika/skolko-litrov-vody-v-minutu-rashoduetsya-v-dushe/>

нератора тепловой энергии с номинальной мощностью 28–32 кВт·ч с широким диапазоном модуляции тепловой мощности. В указанных случаях можно обеспечить расход горячей воды до 16–20 л/мин.

В настоящее время основными тепловыми генераторами для производства горячей воды в домохозяйстве площадью до 150 м<sup>2</sup> являются газовые настенные котлы с атмосферной горелкой с закрытой камерой сгорания топлива и принудительным дымоудалением. Также применяются аналогичные котлы с открытой камерой сгорания и дымоудалением с естественной тягой, газовые проточные водонагреватели с модуляцией тепловой мощности по ГВС как с закрытой, так и с открытой камерой сгорания. Коэффициент энергетической эффективности газовых тепловых генераторов в процессе подготовки горячей воды в системах с открытой камерой сгорания достаточно низок — 80–87 % по отношению к низшей теплотворной способности газа. В системах с закрытой камерой сгорания он выше и может достигать 93 % [1–3]. Повышению эффективности нагрева проточной горячей воды посвящены многие исследования. Нагрев воздуха, поступающего в камеру сгорания при использовании коаксиального дымохода, увеличивает коэффициент энергетической эффективности до 1,5 % [1, 4], снижение температуры дымовых газов на 25 °С повышает эффективность на 1 %<sup>7</sup> [5]. Уменьшение избытка воздуха на 15 % повышает эффективность на 1 %<sup>8</sup> [6], увеличение турбулентности газовых каналов теплообменника и каналов движения теплоносителя также увеличивают энергетическую эффективность до 1,5 % [7–9]. Вопросы энергетической эффективности работы газовых колонок с точки зрения оптимизации розжига описаны в трудах [10, 11]. В публикациях [12–17] рассмотрены особенности и эффективность функционирования газогорелочных устройств.

Особенности использования котлов в режиме ГВС и проточных нагревателей для нескольких точек разбора горячей воды связаны с понятием комфорта потребления ГВС. В это понятие включены два основных момента: задержка во времени начала подачи горячей воды необходимой температуры с момента открытия крана и колебание температуры горячей воды при произвольном одновременном использовании нескольких точек водоразбора в домохозяйстве. Тепловым генераторам указанных

устройств ГВС требуется время на нагрев теплообменников и выход на режим работы газогорелочного блока. Между точками потребления горячей воды и генератором тепла установлены трубы, длина которых составляет несколько метров. Время прохождения указанного расстояния достигает 10–15 с. Кроме указанного интервала времени, также следует учитывать время выхода теплообменника теплового генератора на заданную температуру, которое связано с тепловой инерцией данных устройств. Теплообменники газовых тепловых генераторов имеют массу 1,5–3 кг, выполнены из меди или нержавеющей стали, толщина стенок труб теплообменников 0,8–1 мм [18]. Суммарное время стабилизации температуры в точке потребления горячей воды может достигать 80 с.

Понятие комфортной температуры горячей воды связано с нормальной температурой тела человека 36–37 °С. Комфортная температура для принятия душа равна 38–39 °С, предельная для душа — 43 °С, для крана в мойках душа и кухни — 49 °С [19–21]. При температурах выше 52 °С могут возникнуть ожоги, а при температуре выше 65 °С ожоги возникают мгновенно. Для детей при использовании горячей воды указанные уровни значительно ниже. Относительно колебаний температуры горячей воды в процессе применения автономных систем теплоснабжения критерием комфортности служит изменение температуры в диапазоне ±1,5 °С. Резкое произвольное закрытие или открытие крана второй точки потребления при одновременном использовании первой приводит к скачкам температуры до 10 °С, что может вызвать небольшие ожоги кожи или резкое охлаждение потребляемой воды. Наиболее критичным при применении газовых проточных водонагревателей с несколькими точками разбора горячей воды с позиций комфорта является одновременное использование душа и крана мойки в кухне. При первоначальной температуре воды в душе 40 °С неожиданное изменение температуры до 45 °С воспринимается как «кипяток». Проточные газовые водонагреватели без модуляции тепловой мощности не могут использоваться в системах горячего водоснабжения домохозяйств с несколькими точками водоразбора горячей воды, поскольку регулировка параметров температуры и расхода воды требует ручного управления непосредственно на водонагревателе.

Необходимо также отметить, что в индивидуальных домах с автономной системой теплоснабжения часто применяются системы автономного водоснабжения холодной водой с ограниченным расходом. Наполнение водой смывного бачка в унитазе при одновременном пользовании душем может значительно влиять на распределение потоков холодной воды в домохозяйстве, что приводит к колебаниям температуры горячей воды ГВС. В общем виде величина изменения температуры в душе

<sup>7</sup> Best Practices Steam Overview. Department of Energy (DOE). URL: <https://www.energy.gov/eere/amo/articles/achieve-steam-system-excellence-steam-overview>

<sup>8</sup> Canadian Industry Program for Energy Conservation (CIPEC). Boilers and Heaters, Improving Energy Efficiency; Natural Resources Canada, Office of Energy Efficiency. Canada : Ottawa, ON, 2001. URL: <https://natural-resources.canada.ca/energy/publications/efficiency/industrial/cipec/6687>

при периодическом одновременном использовании других точек разбора воды в домохозяйстве зависит от скорости изменения расхода горячей воды, тепловой инерции теплообменников генераторов тепла, алгоритмов модуляции тепловой мощности, тепловой инерции и чувствительности температурных датчиков, параметров заводских настроек газового клапана, его конструкции и гистерезиса работы исполнительных устройств.

Цель исследования — изучить режимы работы ГВС настенных газовых котлов и проточных газовых нагревателей для автономных систем теплоснабжения при нескольких точках разбора горячего водоснабжения; определить влияние алгоритмов модуляции тепловой мощности газогорелочных устройств и тепловой инерции теплообменников тепловых генераторов на изменение температуры ГВС для условий одновременного использования двух точек водоразбора.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследование проводилось на научно-исследовательском стенде завода «АРДЕРИЯ». Объекты исследования — газовые настенные котлы, проточный водонагреватель с модуляцией тепловой мощности:

- образец № 1 — газовый настенный котел Arderia D24, мощность 24 кВт, расход ГВС 14 л/мин, с «сухой» открытой камерой сгорания, естественной тягой дымоудаления;
- образец № 2 — газовый настенный котел Arderia D24, мощность 24 кВт, расход ГВС 14 л/мин, с «сухой» закрытой камерой сгорания, принудительным дымоудалением;
- образец № 3 — газовый проточный водонагреватель Ariston FAST EVO ONT C 14 NG RU, мощность 24 кВт, расход ГВС 14 л/мин, с «мокрой» открытой камерой сгорания, естественной тягой дымоудаления.

Все исследуемые устройства оснащены многофакельными, микрофакельными атмосферными горелками.

Образец № 3 имеет одноканальный оребренный теплообменник со змеевиком из медной трубы и радиатором из листовой меди, образующими «мокрую» камеру сгорания. Образцы № 1, 2 оснащены одноканальным оребренным пластинчатым теплообменником, расположенным в верхней части камеры сгорания. Испытательный стенд снабжен системой потребления горячей воды с двумя точками разбора: душевой лейкой с производительностью до 10–12 л/мин, краном смесителем мойки с производительностью до 4–6 л/мин, при давлении 3,5 бар. Длина трубопровода от проточного водонагревателя до точек разбора 8 м, диаметр 1/2 дюйма. Холодная вода поступает в проточный водонагреватель, в смесители душа и крана мойки от автономной системы водоснабжения с постоянным давлением 3,5 бар и производительностью до 20 л/мин. Датчики темпе-

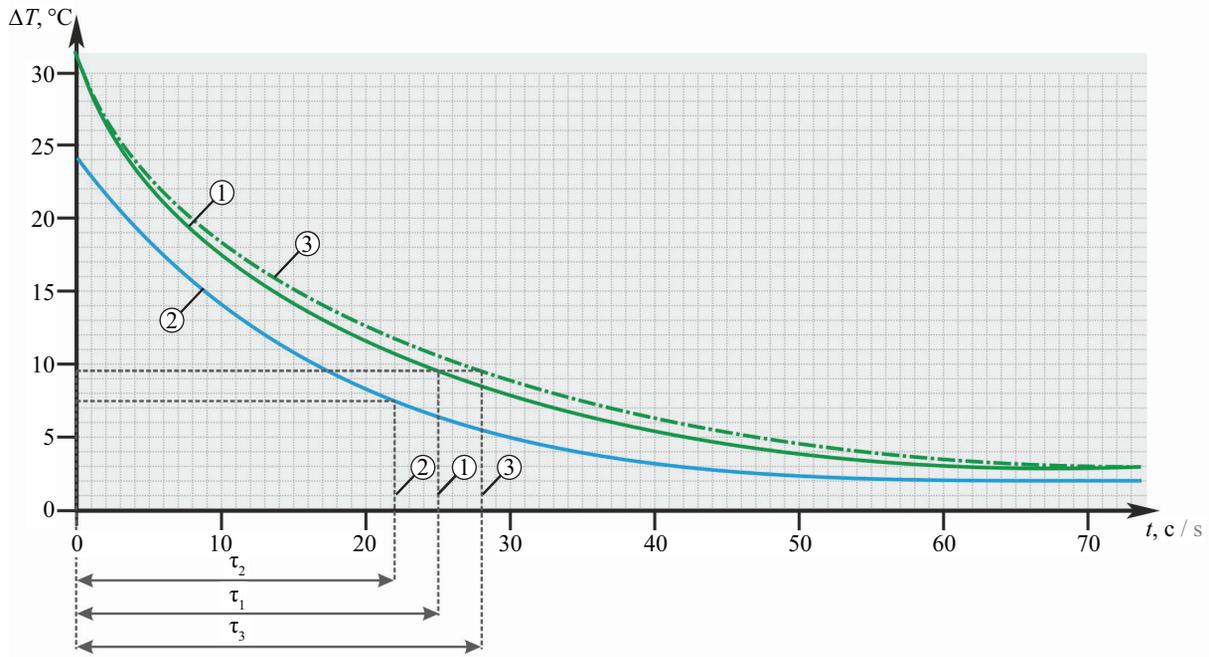
ратуры и расхода установлены на трубах при входе и выходе в проточный водонагреватель и трубах смесителей душа и мойки. Каждая магистраль оснащена регуляторами расхода воды в виде задвижек и шаровыми кранами рычажного типа для управления потоками воды. Испытания проводились по три раза. Графики представлены для средних значений. Газ природный, магистральный.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Важным техническим параметром, определяющим скорость реакции теплового генератора на команды системы управления и изменение мощности газогорелочного устройства, является тепловая инерция теплообменника газового проточного нагревателя или первичного теплообменника газового котла. На рис. 1 приведены графики перепада температур теплоносителя на выходе из теплообменников при остывании исследуемых устройств без работы газогорелочного устройства, при подаче холодной воды с температурой 20 °С с расходом 11 л/мин.

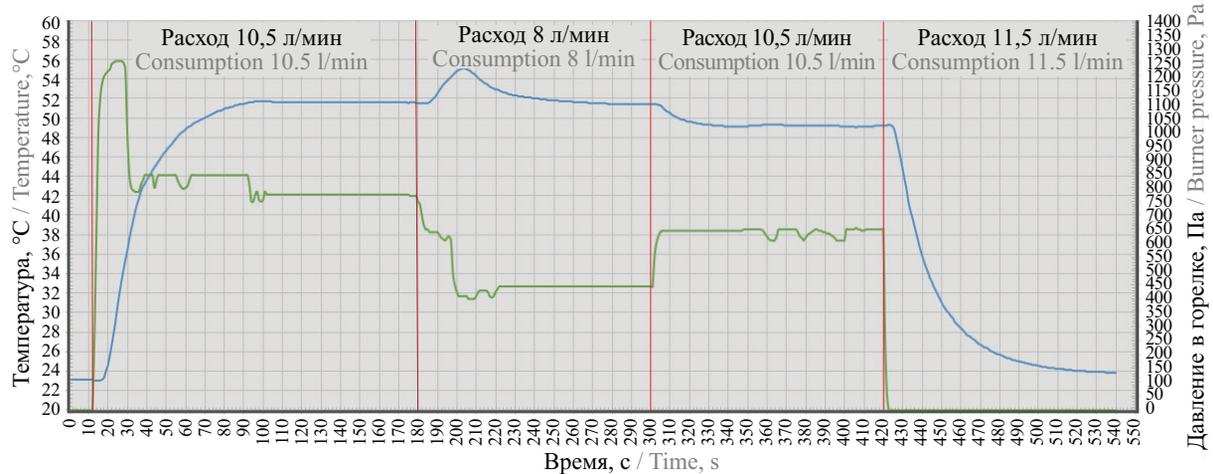
В общем виде интегральный коэффициент тепловой инерции теплообменника зависит от скорости движения теплоносителя, скорости обдува теплообменника воздухом, материала, массы, формы и размеров теплообменника, температуры воздуха, характеристик тепловой инерции датчиков температуры. Экспериментальный интегральный показатель коэффициента инерции исследуемых теплообменников определяется из графиков остывания теплообменников без процесса горения природного газа. Коэффициент тепловой инерции численно равен времени, в течение которого разность температур между началом остывания и температурой окружающей среды уменьшается в  $e$  раз. Определение коэффициентов тепловой инерции теплообменников проводилось по методикам, изложенным в работах [22, 23]. Наименьшее значение коэффициента тепловой инерции при подготовке горячей воды у образца № 2 с принудительным дымоудалением и «сухой» камерой закрытого типа  $\tau_2 = 21,64$  с, у аналогичного котла с естественной тягой дымоудаления  $\tau_1 = 24,53$  с, что на 13,3 % выше. Наибольшее значение коэффициента тепловой инерции у образца № 3  $\tau_3 = 28,86$  с, на 33,3 % больше, чем у образца № 2. Чем меньше коэффициент тепловой инерции, тем выше скорость реакции устройства к изменению тепловой мощности горелочного устройства. Снижение значений коэффициента тепловой инерции увеличивает способность устройств быстро реагировать на изменение суммарного расхода потребления ГВС, вызванного одновременным использованием нескольких точек разбора горячей воды в домохозяйстве.

На рис. 2 представлены графики изменения температуры горячей воды в смесителе душа при чередовании потребления в двух точках водоразбора и давления газа перед горелкой для образца № 3. Суммарный расход воды 10,5 л/мин. Водоразбо-



**Рис. 1.** Графики изменения перепада температуры воды при остывании теплообменников без работы горелки: 1 — образец № 1 с «сухой» открытой камерой и естественной тягой дымоудаления; 2 — образец № 2 с «сухой» закрытой камерой и принудительной тягой дымоудаления; 3 — образец № 3 с «мокрой» открытой камерой и естественной тягой дымоудаления

**Fig. 1.** Graphs of changes in water temperature drop when the heat exchangers cool down without burner operation: 1 — specimen No. 1 with a “dry” open chamber and natural smoke exhaust draft; 2 — specimen No. 2 with a “dry” closed chamber and forced smoke exhaust draft; 3 — specimen No. 3 with a “wet”, open chamber and natural smoke exhaust draft



**Рис. 2.** Графики температуры воды в точке водоразбора и давления газа перед газогорелочным устройством, образец № 3: синий цвет — температура воды в водоразборе № 1 — душ; зеленый цвет — давление газа

**Fig. 2.** Graphs of water temperature at the point of water intake and gas pressure in front of the gas burner, specimen No. 3: blue colour — water temperature in tap No. 1 — shower; green colour — gas pressure

ры — по 8,0 л/мин для душа и 2,5 л/мин для крана воды в кухне. Целевая температура ГВС — 50 °С, стартовая холодного водоснабжения (ХВС) — 23 °С.

Время начала изменения температуры в точке водоразбора, равное 7–8 с, соответствует времени разогрева теплообменника из «холодного» состояния (тепловая инерция теплообменника и датчиков температуры). Рост температуры с 25 до 50 °С происходит за 49 с. Установившаяся температура 51,5 °С.

Из графиков видно, что после закрытия одного из водоразборов с расходом 2,5 л/мин алгоритм управления работой образца № 3 резко снижает давление газа и поддерживает тепловую мощность на новом уровне. Изменение температуры ГВС в водоразборе № 1 происходит до 55 °С в течение 22 секунд с момента закрытия крана в водоразборе № 2. Алгоритм модуляции тепловой мощности водонагревателя восстанавливает установленную целевую

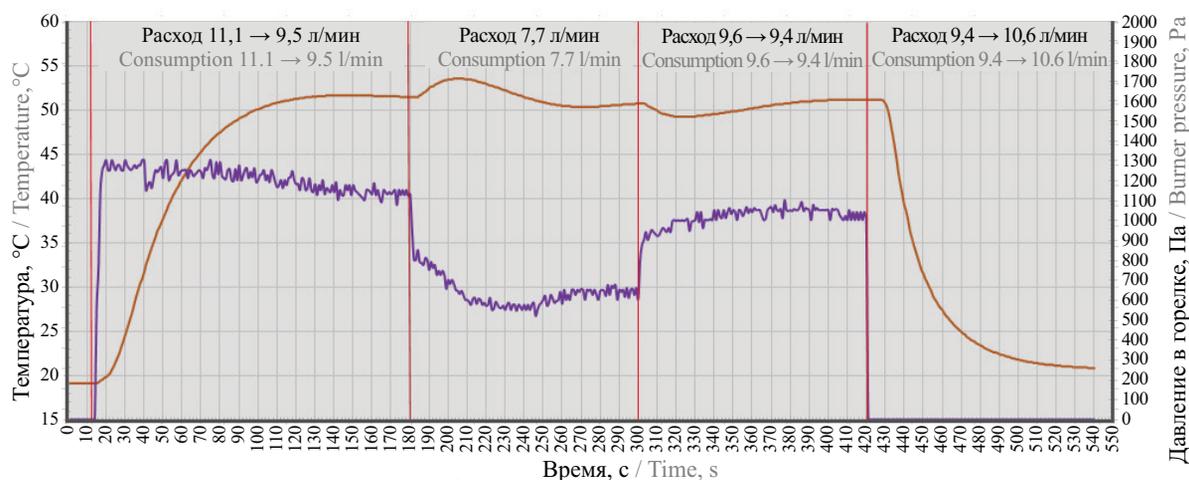


Рис. 3. Графики температуры воды в водоразборе № 1 и давления газа перед газогорелочным устройством, образец № 2: красный цвет — температура воды в водоразборе № 1; синий цвет — давление газа

Fig. 3. Graphs of water temperature in water intake No. 1 and gas pressure in front of the gas burner, specimen No. 2: red colour — water temperature in water supply No. 1; blue colour — gas pressure

температуру за 25 с после достижения максимума температуры, что соответствует 47 с после закрытия водоразбора № 2. При повторном одновременном использовании двух водоразборов температура воды снижается на 2,3 °С относительно установленного значения, время стабилизации температуры в водоразборах равно 25 с. Общий диапазон изменения температуры ГВС в душе при быстром открывании и закрывании водоразбора № 2 с расходом 2,5 л/мин при расходе ГВС в водоразборе № 1 8 л/мин составил 6,1 °С.

На рис. 3 представлены графики изменения температуры воды ГВС и давления газа перед горелкой для образца № 2 при периодическом подключении водоразбора с расходом 2,5 л/мин. Суммарный расход двух водоразборов составил в исследовании 10,5 л/мин.

Из графиков следует, что рост температуры с 25 до 50 °С происходит за 69 с. Установившаяся температура 51,5 °С.

Изменение температуры воды в водоразборе № 1 при отключении водоразбора № 2 привело к повышению температуры до 53,3 °С, время роста температуры составило 22 с. Суммарное время восстановления температуры до первоначального значения составило 50 с. При повторном включении водоразбора № 2 и потреблении воды двумя точками водоразбора произошло снижение температуры до 49 °С за период времени 20 с. Суммарное изменение температуры в точке водоразбора № 1 при периодическом включении и отключении водоразбора № 2 составило 4,3 °С.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Системы подготовки ГВС автономных систем теплоснабжения с использованием настенных газовых двухконтурных котлов или проточных газовых

нагревателей при наличии нескольких точек водоразбора в домохозяйствах с точки зрения понятия комфорта потребления ГВС имеют ряд недостатков:

- при одновременном использовании нескольких точек водоразбора (душ, мойка в кухне, наполнение воды в унитазах санузлов) возникают колебания температуры воды в ГВС. Величина колебаний температуры может составлять до 10 °С и зависит от величины соотношения расходов и температур воды в точках потребления ГВС;
- время стабилизации температуры относительно установленных потребителем значений может составлять до 60 с;
- при нескольких точках водоразбора установление температуры воды в конкретной точке происходит путем подмеса холодной воды автономной системы холодного водоснабжения и горячей воды с расходом, ограниченным номинальной мощностью тепловой установки. Случайный характер потребления объема и температуры воды в точках водоразбора, наличие тепловой инерции исполнительных устройств ГВС приводят к вероятным значительным колебаниям температуры воды.

Для повышения комфортности потребления ГВС при проектировании систем автономного водоснабжения домохозяйств целесообразно ввести приоритеты потребления ГВС и ХВС. Приоритетный уровень — обязательное обеспечение полноценного использования душа как с точки зрения стабильности температуры, так и расхода воды. Этот уровень должен обеспечиваться при одновременном использовании остальных точек разбора горячей и холодной воды при их работе в минимальных технологических режимах. Если домохозяйство имеет автономное водоснабжение холодной водой с ограниченным расходом, то на второстепенные точки водоразбора должны быть наложены ограничения. К примеру, скорость заполнения смывного бачка

унитаза может быть снижена. Данное изменение стабилизирует температуру воды в душе при одновременном пользовании туалетом другими обитателями домохозяйства.

Целесообразно ограничить расход крана в мойке кухни величиной 4 л/мин. При исходной температуре ГВС 50–55 °С и подмесе холодной воды через смеситель потребление горячей воды снижается до 1–2,5 л/мин, что не вызовет значительных колебаний горячей воды в точках водоразбора высшего уровня.

Указанные действия обеспечивают высокий уровень комфорта потребления автономных систем ГВС, но вызывают вопросы применения конкретных типов генерации тепловой энергии при малых тепловых нагрузках, когда используется только одна точка водоразбора низшего уровня. Это обусловлено тем, что тепловые газовые генераторы конвекционного типа имеют низкий диапазон модуляции тепловой мощности и нижний предел тепловой генерации около 8 кВт·ч, что при исходной температуре холодной воды 20 °С вызывает необходимость обеспечения минимального расхода горячей воды через точку разбора более 3,5 л/мин. При использовании природного газа как источника энергии данные вопросы решаются применением тепловых генераторов с конденсационными теплообменни-

ками, имеющими большой диапазон модуляции тепловой мощности, или включением в схему работы автономной ГВС теплового демпфера в виде проточной теплоизолированной емкости объемом несколько литров. В последние годы стали применяться также газовые водонагреватели и настенные котлы конвекционного типа, оснащенные двух- или трехступенчатыми атмосферными газовыми горелками.

Работа автономных систем ГВС с несколькими точками водоразбора домохозяйств при использовании проточных газовых водонагревателей и настенных двухконтурных газовых котлов приводит к колебаниям температуры воды в точках водоразбора с диапазоном изменения температуры до 10 °С. Время выравнивания температуры воды относительно установленного пользователем уровня температуры составляет до 60 с.

Решение вопроса обеспечения заданного комфортного уровня температуры воды в точке водоразбора домохозяйства достигается организацией расходов потребления ГВС и ХВС в соответствии с уровнем приоритета потребления воды различными точкам водоразбора и применением буферных тепловых емкостей или тепловых генераторов с большим диапазоном регулирования тепловой мощности и уменьшенной тепловой инерцией теплообменников.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. *Czerski G., Strugala A.* The energy efficiency of hot water production by gas water heaters with a combustion chamber sealed with respect to the room // *Water*. 2014. Vol. 6. Issue 8. Pp. 2394–2411. DOI: 10.3390/w6082394
2. *Czerski G., Gebhardt Z., Strugala A., Butrymowicz C.* Gas-fired instantaneous water heaters with combustion chamber sealed with respect to the room in multi-storey residential buildings — Results of pilot plants tests // *Energy and Buildings*. 2013. Vol. 57. Pp. 237–244. DOI: 10.1016/j.enbuild.2012.10.052
3. *Tan Z., Yao Y., Yao C., Yang J., Ruan Y., Wang Q.* A new phase transition heat exchanger for gas water heaters // *Inventions*. 2018. Vol. 3. Issue 2. P. 37. DOI: 10.3390/inventions3020037
4. *Farias O., Jara F., Betancourt R.* Theoretical and experimental study of the natural draft in chimneys of buildings for domestic gas appliances // *Energy and Buildings*. 2008. Vol. 40. Issue 5. Pp. 756–762. DOI: 10.1016/j.enbuild.2007.05.010
5. *Aguilar C., White D.J., Ryan D.L.* Domestic water heating and water heater energy consumption in Canada. CBEEDAC : Edmonton, AB, Canada, 2005. 359 p.
6. *Galitsky C., Worrell E.* Energy Efficiency Improvement and Cost Saving Opportunities for the Vehicle Assembly Industry : an ENERGY STAR Guide for Energy and Plant Managers. Lawrence Berkeley National Laboratory : Berkeley, CA, USA, 2008. 81 p.
7. *Tajwar S., Saleemi A.R., Ramzan N., Naveed S.* Improving thermal and combustion efficiency of gas water heater // *Applied Thermal Engineering*. 2011. Vol. 31. Issue 6–7. Pp. 1305–1312. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2010.12.038
8. *Eiamsa-Ard S., Promvong P.* Enhancement of heat transfer in a tube with regularly-spaced helical tape swirl generators // *Solar Energy*. 2005. Vol. 78. Issue 4. Pp. 483–494. DOI: 10.1016/j.solener.2004.09.021
9. *Craig S.J., McMahon J.F.* The effects of draft control on combustion // *ISA Transactions*. 1996. Vol. 35. Issue 4. Pp. 345–349. DOI: 10.1016/S0019-0578(96)00043-2
10. *Веснин В.И.* Концепция энергосбережения проточными газовыми водонагревателями // *Международный научно-исследовательский журнал*. 2016. № 8–3 (50). С. 29–32. DOI: 10.18454/IRJ.2016.50.197. EDN WJBTJJ.
11. *Милова Л.* Двухконтурные настенные газовые котлы. Обзор рынка // *Сантехника, Отопление, Кондиционирование*. 2012. № 9 (129). С. 38–55. EDN RHWARL.
12. *Темников А.А., Баромыченко А.А.* Горелки для сжигания газообразного топлива // *Science Time*. 2016. № 3 (27). С. 483–486. EDN VUBDXV.

13. Ионин А.А., Жила В.А., Архитихович В.В., Пионик М.Г. Газоснабжение : учебник. М. : Изд-во АСВ, 2012. 472 с.

14. Плужников А.И., Жила В.А., Ушаков М.А. Газоснабжение. М. : Издательский центр «Академия», 2008. 448 с.

15. Жила В.А., Ушаков М.А., Брюханов О.Н. Газовые сети и установки. М. : Издательский центр «Академия», 2003. 272 с.

16. Торопов А.Л. Исследование работы газовых клапанов конвекционных котлов малой мощности // АВОК: Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика. 2020. № 3. С. 58–71. EDN VZQWKW.

17. Wong L.T., Mui K.W., Chan Y-W. Showering thermal sensation in residential bathrooms // *Water*. 2022. Vol. 14. Issue 19. P. 2940. DOI: 10.3390/w14192940

18. Торопов А.Л. Автономные системы теплоснабжения малой мощности. Настенные газовые котлы и тепловые аккумуляторы. М. : Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», 2022. 176 с. DOI: 10.22227/978-5-7264-3110-9.2022.176. EDN CJWKLO.

19. Masuda Y., Marui S., Kato I., Fujiki M., Nakada M., Nagashima K. Thermal and cardiovascular responses and thermal sensation during hot-water bath-

ing and the influence of room temperature // *Journal of Thermal Biology*. 2019. Vol. 82. Pp. 83–89. DOI: 10.1016/j.jtherbio.2019.03.014

20. Santos T., Quinta A., Jaf F., Costa V. Improving thermal comfort and water savings in domestic gas water heaters // *TEchMA2023 — 6th International Conference on Technologies for the Wellbeing and Sustainable Manufacturing Solutions*. 2023. DOI: 10.13140/RG.2.2.27685.06886

21. Quinta A., Santos T., Martins N., Jaf F., Costa V. Enhancing user comfort and environmental performance of domestic tankless gas water heaters: hardware and software strategies // *Ciência 2023 — Encontro com a Ciência e Tecnologia em Portugal*. 2023. DOI: 10.13140/RG.2.2.20480.20488

22. Григоров Н.О., Саенко А.Г., Восканян К.Л. Методы и средства гидрометеорологических измерений. Метеорологические приборы : учебник. СПб. : Российский государственный гидрометеорологический университет, 2012. 305 с. EDN YFNPGI.

23. Григоров Н.О., Восканян К.Л., Караваева М.С. О соотношении чувствительности и тепловой инерции различных видов термометров // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. 2014. № 33. С. 69–76. EDN SCCYNZ.

Поступила в редакцию 13 ноября 2023 г.

Принята в доработанном виде 10 января 2024 г.

Одобрена для публикации 10 января 2024 г.

ОБ АВТОРЕ: Алексей Леонидович Торопов — кандидат технических наук, генеральный директор — главный конструктор; Инженерный центр «Апрель» (ИЦ «Апрель»); 105122, г. Москва, Щелковское шоссе, д. 13; РИНЦ ID: 1030472, ORCID: 0000-0002-7457-6948; Toropov@aprilgroup.ru.

## REFERENCES

1. Czerski G., Strugala A. The energy efficiency of hot water production by gas water heaters with a combustion chamber sealed with respect to the room. *Water*. 2014; 6(8):2394-2411. DOI: 10.3390/w6082394

2. Czerski G., Gebhardt Z., Strugala A., Butrymowicz C. Gas-fired instantaneous water heaters with combustion chamber sealed with respect to the room in multi-storey residential buildings — Results of pilot plants tests. *Energy and Buildings*. 2013; 57:237-244. DOI: 10.1016/j.enbuild.2012.10.052

3. Tan Z., Yao Y., Yao C., Yang J., Ruan Y., Wang Q. A new phase transition heat exchanger for gas water heaters. *Inventions*. 2018; 3(2):37. DOI: 10.3390/inventions3020037

4. Farias O., Jara F., Betancourt R. Theoretical and experimental study of the natural draft in chimneys of buildings for domestic gas appliances. *Energy and Buildings*. 2008; 40(5):756-762. DOI: 10.1016/j.enbuild.2007.05.010

5. Aguilar C., White D.J., Ryan D.L. *Domestic Water Heating and Water Heater Energy Consumption in Canada*. CBEEDAC, Edmonton, AB, Canada, 2005; 359.

6. Galitsky C., Worrell E. *Energy Efficiency Improvement and Cost Saving Opportunities for the Vehicle Assembly Industry : an ENERGY STAR Guide for Energy and Plant Managers*. Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, CA, USA, 2008; 81.

7. Tajwar S., Saleemi A.R., Ramzan N., Naveed S. Improving thermal and combustion efficiency of gas water heater. *Applied Thermal Engineering*. 2011; 31(6-7):1305-1312. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2010.12.038

8. Eiamsa-Ard S., Promvong P. Enhancement of heat transfer in a tube with regularly-spaced helical tape swirl generators. *Solar Energy*. 2005; 78(4):483-494. DOI: 10.1016/j.solener.2004.09.021

9. Craig S.J., McMahon J.F. The effects of draft control on combustion. *ISA Transactions*. 1996; 35(4):345-349. DOI: 10.1016/S0019-0578(96)00043-2
10. Vesnin V.I. Concept of energy saving by flowing gas water heaters. *International Research Journal*. 2016; 8-3(50):29-32. DOI: 10.18454/IRJ.2016.50.197. EDN WJBTJJ. (rus.).
11. Milova L. Double-circuit wall-mounted gas boilers. Market overview. *Plumbing, Heating, Air-Conditioning*. 2012; 9(129):38-55. EDN RHWARL. (rus.).
12. Temnikov A.A., Baromychenko A.A. *Burners for burning gaseous fuels*. *Science Time*. 2016; 3(27):483-486. EDN VUBDXV. (rus.).
13. Ionin A.A., Zhila V.A., Arkhitikhovich V.V., Pshonik M.G. *Gas supply: textbook*. Moscow, Publishing House ASV, 2012; 472. (rus.).
14. Pluzhnikov A.I., Zhila V.A., Ushakov M.A. *Gas supply*. Moscow, Publishing Center “Academy”, 2008; 448. (rus.).
15. Zhila V.A., Ushakov M.A., Bryukhanov O.N. *Gas networks and installations*. Moscow, Publishing center “Academy”, 2003; 272. (rus.).
16. Toropov A.L. Study of the operation of gas valves of low-power convection boilers. *AVOK*. 2020; 3:58-71. EDN VZQWKW. (rus.).
17. Wong L.T., Mui K.W., Chan Y-W. Showering thermal sensation in residential bathrooms. *Water*. 2022; 14(19):2940. DOI: 10.3390/w14192940
18. Toropov A.L. *Autonomous low-power heat supply systems. Wall-mounted gas boilers and heat accumulators*. Moscow, National Research Technological University “MISiS”, 2022; 176. DOI: 10.22227/978-5-7264-3110-9.2022.176. EDN CJWKLO. (rus.).
19. Masuda Y., Marui S., Kato I., Fujiki M., Nakada M., Nagashima K. Thermal and cardiovascular responses and thermal sensation during hot-water bathing and the influence of room temperature. *Journal of Thermal Biology*. 2019; 82:83-89. DOI: 10.1016/j.jtherbio.2019.03.014
20. Santos T., Quinta A., Jaf F., Costa V. Improving thermal comfort and water savings in domestic gas water heaters. *TEchMA2023 — 6th International Conference on Technologies for the Wellbeing and Sustainable Manufacturing Solutions*. 2023. DOI: 10.13140/RG.2.2.27685.06886
21. Quinta A., Santos T., Martins N., Jaf F., Costa V. Enhancing user comfort and environmental performance of domestic tankless gas water heaters: hardware and software strategies. *Ciência 2023 — Encontro com a Ciência e Tecnologia em Portugal*. 2023. DOI: 10.13140/RG.2.2.20480.20488
22. Grigorov N.O., Saenko A.G., Voskanyan K.L. *Methods and means of hydrometeorological measurements. Meteorological instruments: textbook*. St. Petersburg, RGGMU, 2012; 305. EDN YFNPGL. (rus.).
23. Grigorov N.O., Voskanyan K.L., Karavaeva M.S. Sensibility and heat inertia relationship for several kinds of thermometers. *Scientific notes of the Russian State Hydrometeorological University*. 2014; 33:69-76. EDN SCCYNZ. (rus.).

Received November 13, 2023.

Adopted in revised form on January 10, 2024.

Approved for publication on January 10, 2024.

**BIONOTES:** Alexey L. Toropov — Candidate of Technical Sciences, General Director — Chief Designer; Engineering Center “April”; 13 Schelkovskoe shosse, Moscow, 105122, Russian Federation; ID RSCI: 1030472, ORCID: 0000-0002-7457-6948; Toropov@aprilgroup.ru.