

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

ВЕСТНИК

Санкт-Петербургского
государственного университета
технологии и дизайна



Серия 1

Естественные
и технические науки

№ 4/2022

ИССЛЕДОВАНИЕ ЦИРКУЛЯЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ КАК ОБЪЕКТА УПРАВЛЕНИЯ

© В. Н. Суриков, Д. А. Ковалев, А. В. Таянчина, А. П. Мирный, 2022

В данной работе рассматривается проблема нестабильности температуры горячей воды, подаваемой потребителям, в циркуляционной системе горячего водоснабжения в условиях пиковых нагрузок. В статье представлены результаты исследования циркуляционной системы горячего водоснабжения (ГВС) как объекта управления. В качестве базы для исследования были взяты жилые дома с закрытой системой циркуляции. Представлена математическая модель системы ГВС. Работа нацелена на повышение эффективности управления горячим водоснабжением жилых зданий и обеспечение нормативных требований в условиях пиковых нагрузок и случайных возмущений.

Ключевые слова: горячая вода, системы управления горячим водоснабжением, водоснабжение, горячее водоснабжение, циркуляционные системы горячего водоснабжения, температура горячей воды, пластинчатый теплообменник.

Система горячего водоснабжения (ГВС) — это комплекс устройств, расположенный в обособленном помещении (как правило, в подвальном помещении), состоящий из элементов, обеспечивающих присоединение системы отопления и горячего водоснабжения к централизованной тепловой сети [1]. В зависимости от принятой системы теплоснабжения, системы ГВС делятся на открытые и закрытые. Именно последние на данный момент считаются наиболее эффективными, так как открытые системы ГВС не обеспечивают стабильный гидравлический режим и соответствующее нормативным требованиям качество воды (с 01.01.2013 их проектирование запрещено) [2]. Горячая вода, подаваемая потребителям, должна соответствовать ГОСТ 2874–82 «Вода питьевая» и СанПиН 2.1.4.2496–09 «Гигиенические требования к обеспечению безопасности систем горячего водоснабжения» [3].

Ниже, на рис. 1 приведена схема ГВС, на которой обозначены контуры теплоносителя и подачи горячей воды потребителю.

Из рис. 1 видно, что система ГВС делится на два контура. В контуре 1 циркулирует греющий тепло-

носитель, приходящий от котельной, а в контуре 2 — горячая вода, поступающая потребителю с возвратом неиспользованной горячей воды на теплообменник ИТП. Восполнение воды, взятой потребителем, происходит из контура холодного водоснабжения (ХВС). Даже при отсутствии водоразбора горячая вода непрерывно движется по системе ГВС и в индивидуальном тепловом пункте (ИТП) подогревается с помощью пластинчатого теплообменника (ТО). На рис. 1 ИТП обозначен пунктирной линией.

Системы управления обеспечивает необходимый температурный и гидравлический режимы работы циркуляционных систем ГВС. На практике широко используются типовые системы управления на основе средств автоматизации отечественных и зарубежных компаний.

В настоящее время достаточно широко используются циркуляционные системы ГВС. Несмотря на достоинства таких ГВС, при их эксплуатации температура горячей воды, отпускаемой потребителю, может выходить за допустимые пределы требований СанПиНа 2.1.4.2496–09 [4].

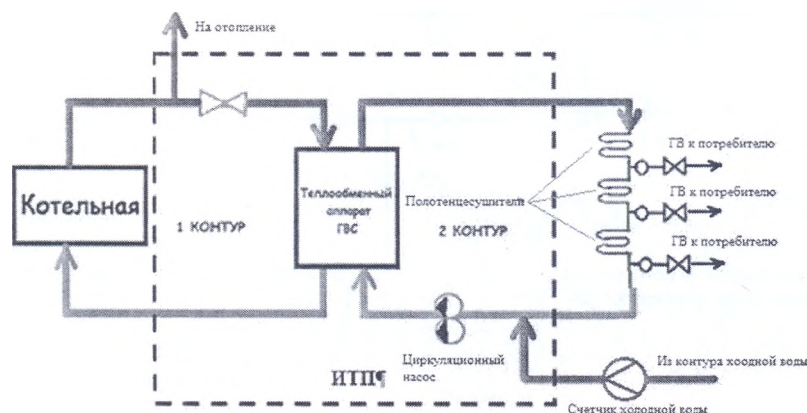


Рис. 1. Схема циркуляционной системы ГВС

В этой связи обеспечение требований СанПиН в циркуляционных системах ГВС является актуальной проблемой, требующей решения.

Решение этой проблемы может быть технологическим, с использованием теплообменников накопительного типа, стабилизирующих температуру горячей воды потребителю. Однако такой способ не всегда может быть реализован, поскольку требует помещения для размещения дополнительного технологического оборудования.

Основным направлением решения указанной проблемы является совершенствование управления ИТП циркуляционных систем ГВС. Для решения этой задачи было проведено исследование циркуляционной системы ГВС как объекта управления с целью дальнейшего синтеза системы автоматического управления (САУ) температурой горячей воды потребителю, обеспечивающей требования СанПиН в процессе эксплуатации.

К технологическим параметрам, влияющим на точность САУ температурой горячей воды, относящейся к потребителю, относятся расход и температура теплоносителя, приходящего от котельной, расход и температура потребляемой горячей воды, расход и температура холодной подпиточной воды.

Основными этапами программы исследований являются:

1. Создание комплекса измерительных средств, обработки и регистрации информации для проведения экспериментальных исследований.
2. Проведение экспериментальных исследований режима работы системы ГВС.
3. Исследование влияния основных факторов на качество управления температурным режимом системы ГВС.
4. Построение математической модели циркуляционной системы ГВС.
5. Подготовка предложений по совершенствованию управления ИТП циркуляционных систем ГВС.

При проведении экспериментальных исследований использовался разработанный комплекс измери-

тельных средств, обработки, регистрации и архивирования данных на базе регулятора Danfoss ecl comfort 210, контроллера «Контар МС8», электромагнитного расходомера и низко инерционных интегральных преобразователей температуры.

В процессе экспериментального исследования проводились:

1. Регистрация и архивирование основных технологических параметров системы ГВС (температура теплоносителя от котельной, расход и температура горячей воды, забираемой потребителем, расход и температура холодной (подпиточной) воды и температура воды в точке смешения).
2. Измерение основных параметры системы ГВС электромагнитным расходомером и дополнительными измерительными средствами (интегральными преобразователями температуры). Полученная информация в цифровом виде архивировалась на персональном компьютере.
3. Обработка полученных данные в программе Excel для получения таблиц и графиков для дальнейшего анализа.

Преобразователи температуры и преобразователь расхода были подключены к контроллеру «Контар МС8», выведенному на персональный компьютер посредством цифрового порта RS-232.

На технологической схеме циркуляционной системы ГВС (рис. 2) изображены точки измерения температур теплоносителя из котельной, горячей воды, подаваемой потребителю, холодной воды, температуры горячей воды, вернувшейся от потребителя после узла смешения с холодной подпиточной водой и расхода холодной подпиточной воды.

Горячая вода, подаваемая потребителю, нагревается пластинчатым теплообменником от теплоносителя, поступающего из котельной на теплообменник. Клапаном с электрическим приводом регулируется количество подаваемого теплоносителя.

В статье рассматриваются основные факторы, влияющие на нестабильность поддержания требуемой

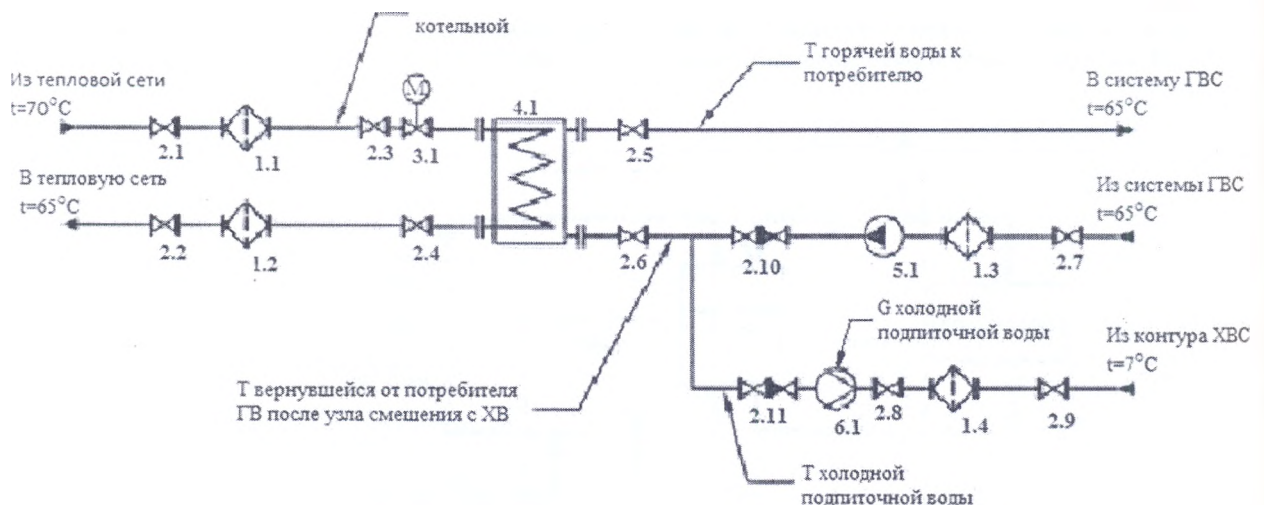


Рис. 2. Технологическая схема циркуляционной ГВС: 1.1–1.4 — фильтр; 2.1–2.9 — клапан; 2.10–2.11 — обратный клапан; 3.1 — клапан с электрическим приводом; 4.1 — теплообменник; 5.1 — насос; 6.1 — расходомер.

температуры горячей воды, подаваемой потребителю, необходимые для построения математической модели циркуляционной системы ГВС как объекта управления. В процессе исследования были изучены режимы работы системы ГВС для зимнего и летнего сезонов.

Известно, что одним из главных факторов, влияющих на режим работы систем ГВС, является изменение суточного потребления горячей воды. Основной расход приходится на утренние и вечерние максимумы. Нагрузка горячего водоснабжения жилых и общественных зданий имеет ярко выраженный пикообразный характер, резко изменяющийся по часам в течение суток и по дням недели, что проиллюстрировано на рис. 3 [5].

Суточный график потребления горячей воды широко используется при анализе работы системы ГВС. Однако следует отметить, что влияние потребления горячей воды на температурный режим поступления ГВ потребителю требует дополнительного исследования для оценки изменения расхода в пиковом режиме.

Внутри пиков потребления расход ГВ также неравномерен и может значительно меняться в течение нескольких минут. В этой связи потребовалось исследование изменения расхода горячей воды в реальном времени. На рис. 4 показан график изменения потребления горячей воды в течение 2-х часов.

Из графика видно, что за 2 часа расход горячей воды менялся в диапазоне от 885 до 7234 литров. Характер изменения расхода скачкообразный, по некоторым пикам видно, что в течение 1–2 минут расход

горячей воды может изменяться более, чем в 2 раза. Такое изменение является сильным возмущающим воздействием на САУ температуры горячей воды на выходе ИТП.

Дальнейшие экспериментальные исследования циркуляционной системы ГВС проводилось с целью изучения влияния температуры теплоносителя с котельной на температуру горячей воды на выходе ТО ИТП. Было установлено, что в летнее время, при температуре теплоносителя 65°C параметр температуры горячей воды, поступающей к потребителю, стабилен, и не имеет значительных отклонений. Однако в зимний период времени температура горячей воды, поступающей потребителю, принимает колебательный характер и выходит за пределы допустимых значений.

На рис. 5 показано изменение температуры горячей воды потребителю в зимнее время при подаче теплоносителя с котельной с температурой 98°C . На графике наглядно виден скачкообразный характер изменения температуры.

На графике:

Т_{гн} — температура теплоносителя, приходящего от котельной; Т_{гв} — температура горячей воды, подаваемой потребителю; пунктирными линиями отмечены Т_{гв макс} — максимальная допустимая температура ГВ; Т_{гв мин} — минимальная допустимая температура ГВ.

Из графика видно, что за 25 минут температура Т_{гв}, поступающей потребителю, менялась в диапазоне



Рис. 3. Суточный график потребления горячей воды в жилом доме



Рис. 4. График изменения расхода горячей воды в пиковом режиме потребления

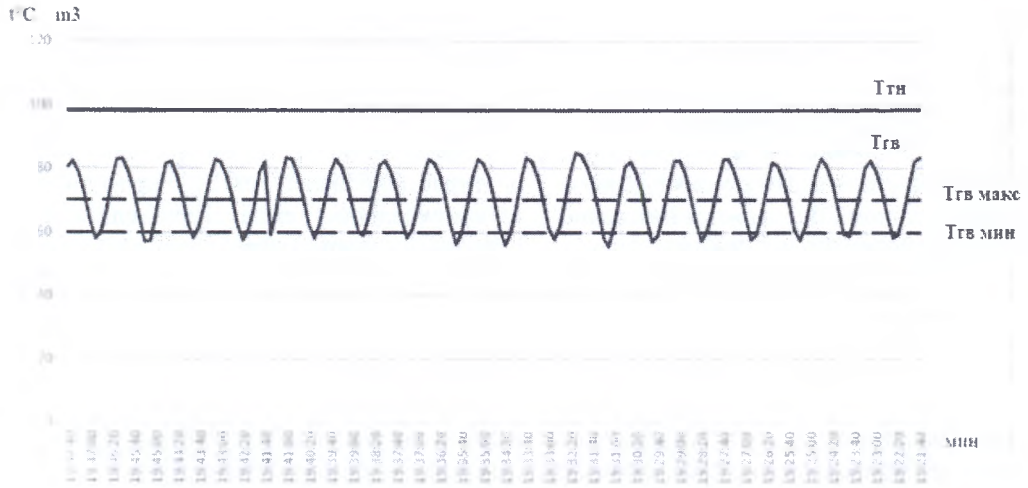


Рис. 5. График изменения температуры горячей воды, поступающей потребителю в зимнее время при температуре теплоносителя 98 °С

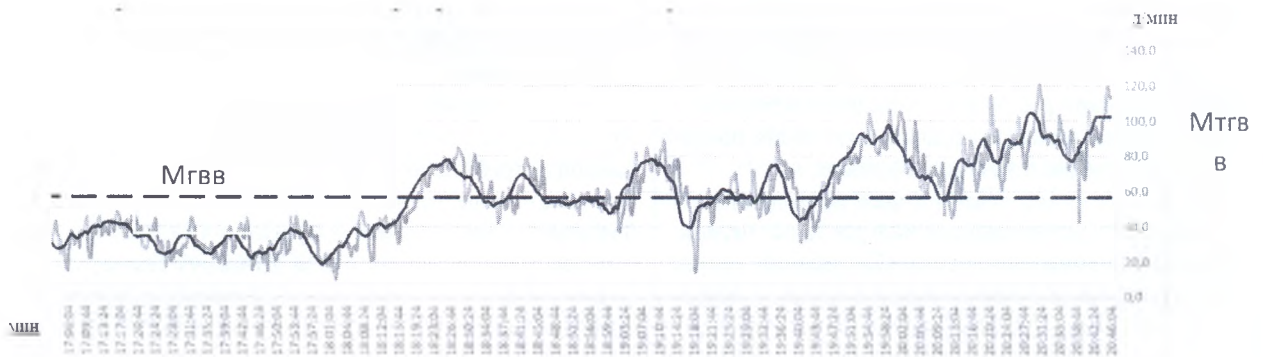


Рис. 6. График изменения текущего математического ожидания расхода горячей воды $M_{тгв}$ ($n=60$)

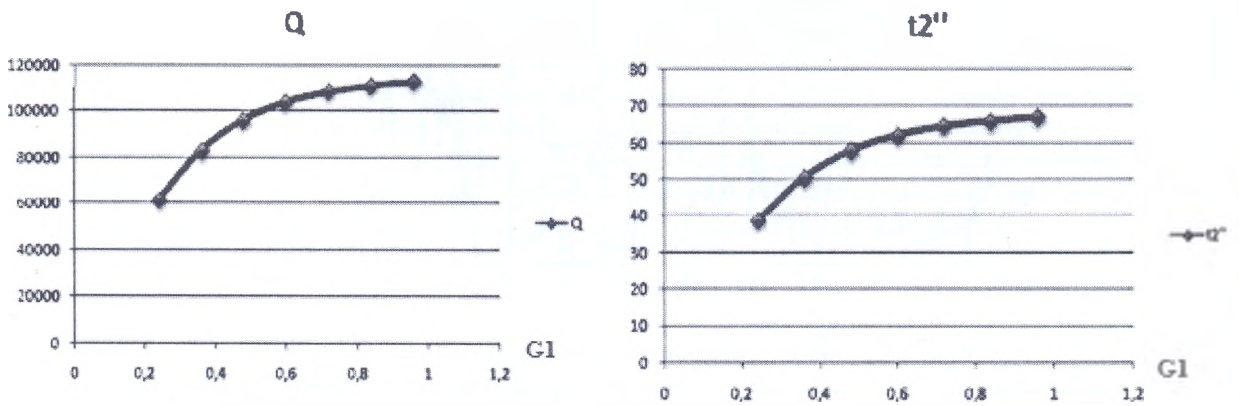


Рис. 7. Графики зависимости количества теплоты и температуры нагреваемой воды на выходе теплообменника от расхода теплоносителя

от 56 °С до 84 °С. Такой разброс значительно превышает нормативные требования. Кроме этого, температура $T_{гв}$ горячей воды меняется от минимального до максимального значения (на 28 °С) в течение практически одной минуты, что создает серьезные неудобства потребителю, вынужденному постоянно регулировать температуру воды смесителем, либо понижать ее.

Проведенное исследование показало, что при высокой температуре теплоносителя, поступающего в зимний период от котельной, и при пиковых нагрузках система управления температурой горячей воды не обеспечивает поддержание температуры горячей воды в допустимых пределах.

При анализе циркуляционной системы ГВС как объекта управления было установлено, что основными

возмущениями, действующими на систему управления Тгв, являются изменения температуры и расхода теплоносителя от котельной, расхода горячей воды потребителями, а также изменения расхода и температуры холодной (подпиточной) воды, поступающей в систему ГВС.

Для дальнейшего анализа влияния расхода горячей воды на САУ температурой горячей воды были исследованы изменения текущего математического ожидания расхода горячей воды Мт гв при различных выборках.

Из графика на рис. 6 видно отклонение текущего математического ожидания расхода горячей воды Мтгв от математического ожидания Мгв на всем диапазоне измерений. За 2 часа расход горячей воды менялся в диапазоне от 9 до 120 л/мин. По некоторым пикам видно, что в течение 1–2 минут расход горячей воды может изменяться более чем в 2 раза.

Для расчета математического ожидания были взяты первые 60 точек ($n=60$) значений расхода горячей воды и для этого участка было рассчитано среднее арифметическое значение расхода горячей воды. Затем данный участок сдвигался на одну точку вправо, и далее для каждого нового участка так же вычислялось среднее арифметическое значение расхода горячей воды.

Процесс изменения расхода горячей воды является нестационарным случайным процессом. Такой процесс в значительной мере влияет на качество управления САУ температурой горячей воды в циркуляционной системе ГВС. Температура горячей воды, поступающей потребителю, может выходить за допустимые пределы, как это показано на рис. 5.

К одним из важных факторов, влияющих на температурный режим системы ГВС, являются характеристики и режим работы теплообменника ИТП. В работе [6] представлены результаты исследования зависимости количества теплоты и температуры нагреваемого теплоносителя на входе и выходе теплообменника от расхода теплоносителя. Данное исследование показывает нелинейный характер зависимости количества теплоты и температуры нагреваемого теплоносителя на выходе теплообменника от расхода теплоносителя (рис. 7).

На графике: Q — количество теплоты, Дж; G_1 — расход теплоносителя, кг/с; t_2'' — температура нагреваемой воды на выходе теплообменника, °С.

Нелинейный характер приведенных зависимостей, связанный с режимом работы системы ГВС, влияет на качество управления температурой горячей воды на выходе теплообменника.

На управляемость технологического процесса в системе ГВС также влияет коэффициент усиления K_{po} клапана (регулирующего органа) теплообменника, который определяется как отношение величины изменения расхода к изменению степени открытия в рабочей точке расходной характеристики.

В производственных условиях изменение режимов технологических процессов могут значительно влиять на коэффициент усиления регулирующего

органа. На рис. 8 показаны графики изменения коэффициента усиления K_{po} шаровых регулирующих клапанов с линейной пропускной характеристикой в зависимости от степени открытия L для различных значений гидромодуля n работе [7].

При значении n , близком к единице, K_{po} в процессе работы практически не меняется. Управляемость процесса сохраняется на всем диапазоне от 0,2 до 0,8 степени открытия L . При этом может обеспечиваться необходимая точность управления. При увеличении n , зависимость K_{po} от изменения степени открытия клапана в диапазоне от 0,2 до 0,8 L становится существенной. Коэффициент усиления клапана K_{po} изменяется в диапазоне 0,1–3,0. Это может привести к выходу регулируемого параметра за допустимые пределы или к потере устойчивости системы управления.

В дальнейшем при исследовании системы ГВС как объекта управления использовалось уравнение теплового баланса теплообменника в отклонениях от состояния равновесия (1).

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = \Delta Q_{тн} + \Delta Q_{обр} - \Delta Q_{хв} - \Delta Q_{гв}, \quad (1)$$

где Q — количество тепла в рабочем объеме системы ГВС, кДж, $Q_{тн}$, $Q_{обр}$, $Q_{хв}$, $Q_{гв}$ — количество тепла с теплоносителем, приходящим от котельной, с вернувшейся от потребителя горячей водой, с холодной подпиточной водой и с горячей водой, забранной потребителем. Потери тепла в уравнении не учитываются.

На основе уравнения (1) построена алгоритмическая структурная схема математической модели системы ГВС, приведенной на рис. 9, учитывающая внутренние связи и динамические свойства процесса теплообмена в данной системе.

На данной схеме: Тгв — температура горячей воды, подаваемой потребителю; Ггв — расход горячей воды, подаваемой потребителю; Ттн — температура теплоносителя; Гтн — расход теплоносителя; Тобр — температура горячей воды, вернувшейся к узлу смешения; Гобр — расход горячей воды, подаваемый к узлу смешения; Тхв — температура холодной подпиточной воды; Гхв — расход холодной подпиточной воды,

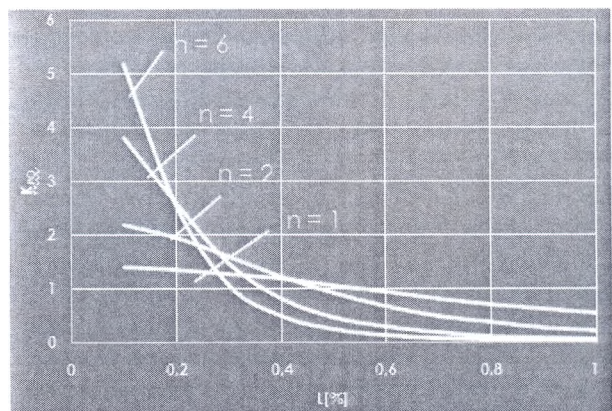


Рис. 8. Графики изменения K_{po} от степени открытия L при различных значениях гидромодуля n

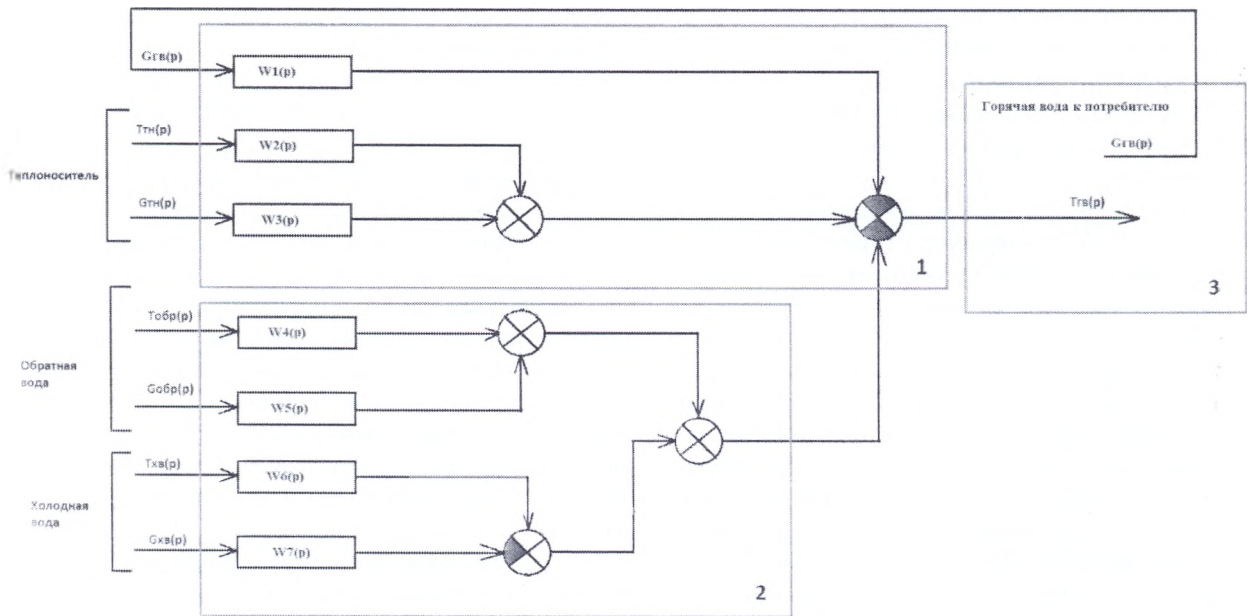


Рис. 9. Алгоритмическая структурная схема математической модели системы горячего водоснабжения

$T_{смеш}$ — температура горячей воды, вернувшейся от потребителя после узла смешения с холодной подпиточной водой.

$W3(p)$ — передаточная функция ТО по каналу управления; $W1(p)$, $W2(p)$, $W4(p)$, $W5(p)$, $W6(p)$, $W7(p)$ — передаточные функции ТО по каналам возмущения.

На схеме цифрами обозначены основные элементы системы горячего водоснабжения. 1 — теплообменник; 2 — узел смешения; 3 — потребитель.

Анализ работы системы ГВС [8]–[10] показывает, что главными возмущениями, действующим на ТО, являются изменение температуры теплоносителя, поступающего от котельной, и расхода горячей воды потребителем. Характер данных возмущений различен. Изменение температуры теплоносителя связано с погодными условиями, особенно в зимнее время, а изменение расхода горячей воды — со случайным расходом ее потребления.

Остальные возмущения: изменения температуры $T_{обр}$ и расхода $G_{обр}$ воды, поступающей к узлу смешения, температуры $T_{хв}$ и расхода $G_{хв}$ холодной подпиточной воды. Их влияние следует также учитывать совместно с главными возмущениями при исследовании математической модели системы ГВС.

Для получения математического описания передаточных функций звеньев математической модели системы ГВС возможно применение аналитического метода, основанного на уравнении теплового баланса теплообменника (1), и экспериментального с обработкой разгонных кривых исследуемого объекта.

В статье использован метод обработки разгонных кривых теплообменника для получения передаточных функций $W3(p)$ теплообменника по управлению. Для получения остальных передаточных функций могут быть применены аналитический или экспериментальный методы.

Обработки данных кривой разгона проводилась с помощью программы IDEN, которая позволяет определить математическую модель объекта исследования (управления). На рис. 10 в качестве примера показано получение передаточной функции $W3(p)$ теплообменника по управлению с применением данной программы.

Для снятия разгонных кривых теплообменника блок управления клапаном на линии подачи теплоносителя в теплообменник был переведен в ручной режим. Затем изменялась величина степени открытия и закрытия клапана от рабочего положения с регистрацией температуры горячей воды подаваемой потребителю. На основе полученных экспериментально данных об изменении температуры горячей воды, подаваемой потребителю после подачи ступенчатого воздействия к объекту управления, была построена кривая разгона, а также построены нормированные переходные функции объекта и оптимальной модели, что показано на рис. 10.

На основе полученных данных программа IDEN выдает возможные типы модели, из которых была выбрана наиболее соответствующая объекту, с дисперсией адекватности, равной $S^2_{ад} = 0,0011194$. Данной модели соответствует передаточная функция звена первого порядка с запаздыванием.

$$W(p) = \frac{K^* e^{-p\tau}}{1 + T_p p}$$

В процессе исследования были сняты 7 разгонных кривых. В табл. 1 представлены параметры передаточной функции $W3(p)$ теплообменника по управлению, полученные при различных условиях экспериментов. Полученные результаты представлены в табл. 1.

Из приведенной таблицы видно, что полученные значения коэффициента передачи, постоянной времени объекта и запаздывания имеют значительный разброс.

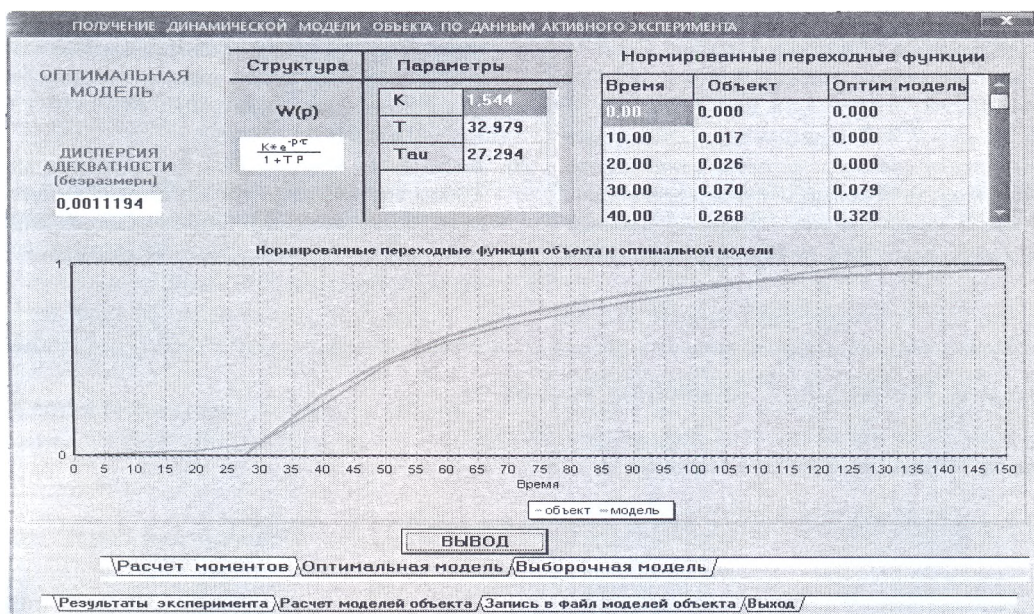


Рис. 10. Нормированные переходные функции объекта и оптимальной модели

Таблица 1. Параметры передаточной функции теплообменника по управлению

№	1	2	3	4	5	6	Итог
K	1,54	3,12	1,83	3,43	2,90	3,52	2,72
T	33,0	28,0	26,8	26,8	23,4	31,9	28,3
τ	27,3	16,0	10,7	12,8	26,4	18,5	15,5

В последнем столбце приведены средние арифметические этих значений. Разброс этих параметров показывает изменение динамических параметров теплообменника при различных режимах системы ГВС. Это связано с нелинейной зависимостью температуры горячей воды на выходе теплообменника от расхода теплоносителя.

Заключение

Анализ циркуляционных систем горячего водоснабжения жилых зданий показал, что данные системы в зимнее время практически не обеспечивают требования СанПиН к температуре горячей воды потребителю. Это связано, в основном, с повышенной температурой теплоносителя и случайным изменением расхода горячей воды при пиковом потреблении.

Кроме того, нелинейный характер зависимостей количества теплоты и температуры нагреваемой воды на выходе теплообменника от расхода теплоносителя, связанных с режимом работы системы ГВС, также влияет на качество управления температурой горячей воды потребителю.

Для исследования циркуляционной системы ГВС как объекта управления была построена алгоритмическая структурная схема математической модели системы горячего водоснабжения. Представлено математическое описание передаточных функций теплообменника по управлению, полученные методом обработки экспериментальных кривых разгона программой IDEN.

Показано, что изменение расхода горячей воды потребителю имеет нестационарный характер и динамические параметры теплообменника системы ГВС изменяются в зависимости от режима ее работы. Также показано влияние регулирующего клапана на качество управления САУ температурой горячей воды.

Алгоритмическая структурная схема математической модели системы ГВС является основой для синтеза САУ температурой горячей воды потребителю, обеспечивающей требования СанПиН.

Список литературы

- СП 347.1325800.2017. Внутренние системы отопления, горячего и холодного водоснабжения. Правила эксплуатации.
- Липовка Ю. Л., Венин А. С., Михайлова А. С. Гидравлический режим тепловой сети при переходе с открытой на закрытую систему теплоснабжения // Энергосбережение и водоподготовка. 2019. № 6 (122). С. 53–56. EDN GBYQX.
- СанПиН 2.1.4.2496–09 Гигиенические требования к обеспечению безопасности систем горячего водоснабжения. Изменение к СанПиН 2.1.4.1074–01.
- Егорова Н. А., Букутук А. А., Красовский Г. Н. Гигиенические проблемы горячего водоснабжения населения (обзор) // Гигиена и санитария. 2012. Т. 91. № 2. С. 4–8. EDN PFFGXZ.
- Чистович С. А., Харитонов В. В. Автоматизированные системы теплофикации, теплоснабжения и отопления. СПб.: Авок Северо-Запад, 2008. 399 с. ISBN 978-5-902146-23-0. EDN QNNIUI.
- Февралев А. А., Гибадуллина В. В. Моделирование пластинчатого теплообменника. Исследование эксплуатационных режимов // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2015. Т. 15. № 1. С. 52–57. EDN THLDTF.
- Суриков В. Н., Горобченко С. Л., Ковалев Д. А. Повышение эффективности применения регулирующей арматуры в современных системах управления технологическими

- процессами // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 1: Естественные и технические науки. 2020. № 4. С. 105–111. DOI 10.46418/2079-8199_2020_4_18. EDN FWSQWZ.
8. *Бобух А. А., Ковалев Д. А.* Повышение энергосбережения закрытого централизованного теплоснабжения города при реконструкции Центрального и модернизации индивидуального тепловых пунктов // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. 2014. № 3 (121). С. 12–18. EDN SDAEIV.
 9. *Ковалев Д. А., Бобух А. А.* Исследование объектов управления закрытой системы централизованного теплоснабжения на их физических моделях // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. 2012. № 10 (104). С. 35–40. EDN SHDTJN.
 10. *Бобух А. А., Ковалев Д. А.* Компьютерно-интегрированная система автоматизации технологических объектов управления централизованным теплоснабжением: монография / под ред. А. А. Бобуха. Харьков: ХНУГХ им. А. Н. Бекетова, 2013. 226 с.

N. V. Surikov, D. A. Kovalev, A. V. Tayanchina, A. P. Mirny

St. Petersburg State University of Industrial Technologies and Design
191186 Russia, St. Petersburg, Bolshaya Morskaya str., 18

RESEARCH OF THE HOT WATER CIRCULATION SYSTEM AS A CONTROL OBJECT

This paper considers the problem of instability of the temperature of hot water supplied to consumers in the circulating hot water supply system under conditions of peak loads. The article presents the results of a study of the circulating hot water supply system (DHW) as a control object. Residential buildings with a closed circulation system were taken as the base for the study. A mathematical model of the hot water supply system is presented. The work is aimed at improving the efficiency of managing the hot water supply of residential buildings and ensuring regulatory requirements under conditions of peak loads and random disturbances.

Keywords: hot water, hot water control systems, water supply, hot water supply, hot water circulation systems, hot water temperature, plate heat exchanger.

References

1. *SP 347.1325800.2017. Vnutrennie sistemy otopenija, gorjachego i holodnogo vodosnabzhenija. Pravila jekspluatcii* [SP 347.1325800.2017. Internal heating systems, hot and cold water supply. Operating rules] (in Rus.).
2. *Lipovka Ju. L., Venin A. S., Mihajlova A. S. Gidravlicheskiy rezhim teplovoj seti pri perehode s otkrytoj na zakrytuyu sistemu teplosnabzhenija* [Hydraulic mode of the heat network during the transition from open to closed heat supply system] // Jenergosberezenie i vodopodgotovka. 2019. № 6 (122). pp. 53–56. EDN GBYQX (in Rus.).
3. *SanPiN 2.1.4.2496–09 Gигиенические требования к обеспечению безопасности систем горjachego vodosnabzhenija. Izmenenie k SanPiN 2.1.4.1074–01* [SanPiN 2.1.4.2496–09 Hygienic requirements for ensuring the safety of hot water supply systems. Amendment to SanPiN 2.1.4.1074–01] (in Rus.).
4. *Egorova N. A., Bukshuk A. A., Krasovsky G. V. Gигиенические проблемы горjachego vodosnabzhenija naselenija (obzor)* [Hygienic problems of hot water supply of the population (review)] // Hygiene and sanitation. 2012. V. 91. № 2. pp. 4–8. EDN PFFGXZ. (in Rus.).
5. *Chistovich S. A., Kharitonov V. B. Avtomatizirovannye sistemy teplofikatsii, teplosnabzheniya i otopeniya* [Automated systems of heat supply, heat supply and heating]. Sankt-Peterburg: Avok Severo-Zapad, 2008. 399 p. ISBN 978-5-902146-23-0. EDN QNNIJJ (in Rus.).
6. *Fevralev A. A., Gibadullina V. V. Modelirovanie plastinchatogo teploobmennika. Issledovanie jekspluatatsionnyh rezhimov* [Modeling of a plate heat exchanger. Study of operating conditions] // Vestnik Juzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Stroitel'stvo i arhitektura. 2015. V. 15. № 1. pp. 52–57. EDN THLDTF (in Rus.).
7. *Surikov V. N., Gorodchenko S. A., Kovalev D. A. Povyshenie jeffektivnosti primeneniya regulirujushhej armatury v sovremennyh sistemah upravlenija tehnologicheskimi processami* [Improving the efficiency of control valves in modern process control systems] // Vestnik Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo universiteta tehnologii i dizajna. Serija 1: Estestvennye i tehnicheskie nauki. 2020. № 4. pp. 105–111. DOI 10.46418/2079-8199_2020_4_18. EDN FWSQWZ (in Rus.).
8. *Bobuh A. A., Kovalev D. A. Povyshenie jenergosberezenija zakrytogo centralizovannogo teplosnabzhenija goroda pri rekonstrukcii Central'nogo i modernizatsii individual'nogo teplovyh punktov* [Increasing the energy saving of the closed centralized heat supply of the city during the reconstruction of the Central and modernization of individual heating points] // Jenergosberezenie. Jenergetika. Jenergoaudit. 2014. № 3 (121). pp. 12–18. EDN SDAEIV (in Rus.).
9. *Kovalev D. A., Bobuh A. A. Issledovanie ob#ektov upravlenija zakrytoj sistemy centralizovannogo teplosnabzhenija na ih fizicheskijh modeljah* [The study of control objects of a closed system of district heating on their physical models] // Jenergosberezenie. Jenergetika. Jenergoaudit. 2012. № 10 (104). pp. 35–40. EDN SHDTJN (in Rus.).
10. *Bobuh A. A., Kovaljov D. A. Komp'juterno-integrirovannaja sistema avtomatizatsii tehnologicheskijh ob#ektov upravlenija centralizovannym teplosnabzheniem: monografija* [Computer-integrated automation system for technological objects of centralized heat supply management: monograph] / ed. A. A. Bobuh. Kharkov: A. N. Beketov HNUGH, 2013. 226 p. (in Rus.).