

<https://doi.org/10.24223/1999-5555-2021-14-2-124-131>

УДК 681.513

## Исследование энергоэффективности комбинированной системы воздушного и водяного отопления общественного здания

**Игнатъев К. А.\*, Гиниятуллин Э. Р., Зиганшин М. Г.**

Казанский государственный энергетический университет  
ул. Красносельская, д. 51, 420066, г. Казань, Россия

Поступила / Received 30.05.2021

Принята к печати / Accepted for publication 22.06.2021

В последнее время при обогреве общественных и жилых помещений активно используются схемы комбинированного воздушного и водяного отопления. Они имеют определенные преимущества в странах с теплым климатом, а в условиях умеренного климата их применение может быть не оправдано. Можно ожидать максимально эффективного регулирования системы отопления в здании, если принимаются во внимание все особенности технологии как по назначению помещения, так и по способам регулирования. Система, ориентированная только на погодное регулирование, еще не соответствует энергоэффективным классам регулирования: теплоноситель с одинаковой температурой раздается по помещениям с различными требованиями к температурно-влажностным характеристикам. Рассмотрены вопросы обеспечения энергоэффективности комбинированной системы воздушного и водяного отопления в общественных зданиях для умеренного континентального климата России — учебного (УК) и лабораторного (ЛК) корпусов Казанского государственного энергетического университета (КГЭУ). Отопительные приборы системы обогрева КГЭУ имеют в помещениях арматуру ручного регулирования или радиаторные клапаны с термостатирующими головками, но без комнатных контроллеров, что не соответствует энергоэффективным классам регулирования. Проведено опытное обследование функционирования системы обогрева корпусов КГЭУ в отопительные периоды 2019–2020 гг. и 2020–2021 гг. Методом оптической пирометрии выполнялись замеры температуры поверхностей окон, стен и элементов системы отопления, а также температуры и влажности воздуха в аудиториях и коридорах УК и ЛК КГЭУ. Установлено соответствие санитарно-гигиеническим требованиям параметров отопительных приборов и воздуха помещений различного назначения. При этом выявлена необходимость перехода на более высокий класс регулирования, так как при существующей ситуации параметры внутреннего воздуха зависят от наружной температуры: в аномально теплую зиму 2020 г. температура воздуха в помещениях находилась на границе максимально допустимого значения, а в нормальную по климатологии зиму 2021 г. — на границе минимально допустимого.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** Энергоэффективность, воздушное отопление, водяное отопление, микроклимат помещения, тепловой комфорт

### Адрес для переписки:

Игнатъев К. А.  
ФГБОУ ВО «КГЭУ», кафедра ТЭС  
ул. Красносельская, д.51, 420066, г. Казань, Россия  
e-mail: eretekosyk@mail.ru

### Address for correspondence:

Ignatiev K. A.  
Kazan State Power Engineering University, Department HPS  
st. Krasnoselskaya, 51, 420066, Kazan, Russia  
e-mail: eretekosyk@mail.ru

### Для цитирования:

Игнатъев К. А., Гиниятуллин Э. Р., Зиганшин М. Г. Исследование энергоэффективности комбинированной системы воздушного и водяного отопления общественного здания. 2021. – Т. 14, №2. – С. 124–131.  
<https://doi.org/10.24223/1999-5555-2021-14-2-124-131>

### For citation:

Ignatiev K. A., Giniyatullin E. R., Ziganshin M. G. [Research of the energy efficiency of a combined air and water heating of a public building]. *Nadezhnost' i bezopasnost' energetiki = Safety and Reliability of Power Industry*. 2021. vol. 14, no. 2, pp. 124–131 (in Russian).  
<https://doi.org/10.24223/1999-5555-2021-14-2-124-131>

## Research of the energy efficiency of a combined air and water heating of a public building

**Ignatiev K. A.\*, Giniyatullin E. R., Ziganshin M. G.**

Kazan State Power Engineering University  
st. Krasnoselskaya, 51, 420066, Kazan, Russia

Combined air and water heating schemes have been actively used recently for heating public and residential premises. They have certain advantages in countries with a warm climate, whereas in a temperate climate, their use may be unfeasible. The most effective regulation of the heating system in the building can be expected, if all the technology specifics are taken into account, in terms of both the purpose of the room and the methods of regulation. A system focused only on weather-based regulation falls short of meeting to energy-efficient control classes: a heat carrier with the same temperature is distributed among rooms with different requirements for temperature and humidity characteristics. The issues of ensuring the energy efficiency of the combined air and water heating system in public buildings for the temperate continental climate of Russia — the academic building (AB) and laboratory building (LB) of the Kazan State Energy University (KSEU) have been considered. Heating devices of the KSEU heating system have manual control valves installed in the premises, or radiator valves with thermostatic heads, but without room controllers, which does not meet the energy-efficient control classes. An experimental survey of the functioning of the heating system of the KSEU buildings during the 2019–2020 and 2020–2021 heating seasons was conducted. The optical pyrometry method was used to measure the temperature of the surfaces of windows, walls and elements of the heating system, as well as the temperature and humidity of the air in lecture rooms and corridors of the AB and LB of the KSEU. The parameters of heating devices and indoor air in rooms of various purposes were found compliant with the current sanitary and hygienic requirements. At the same time, the need to switch to a higher class of regulation has been revealed, since, under the current situation, the parameters of the indoor air depend on the outdoor temperature: in the abnormally warm winter of 2020, the indoor air temperature was at the edge of the maximum permissible value, while in the normal climate of winter of 2021, it was at the edge of the minimum permissible value.

**KEYWORDS:** Energy efficiency, air heating, water heating, indoor microclimate, thermal comfort

В Российской Федерации по данным Росстата имеется около 70 млн жилых квартир в многоэтажных домах, отапливаемых от централизованного теплоснабжения. Суммарная мощность источников теплоснабжения в 2019 г. составила 589,6 тыс. Гкал/ч, а количество отпущенного потребителям тепла — 1309 млн Гкал. Сюда входит и количество тепла на обогрев общественных зданий. В последнее время в России активизировалось применение схем комбинированного воздушного и водяного отопления помещений как жилых, так и общественных зданий. Такие схемы имеют определенные преимущества в странах с теплым климатом, а в условиях умеренного климата их применение может быть и не оправдано. Рынок тепловой энергии в РФ исчисляется сотнями миллиардов рублей в год, ввиду чего важно использовать схемы отопления и многоквартирных домов, и общественных зданий, которые обеспечивают нормативы теплового комфорта, и в то же время максимально отвечают критериям энергоэффективности и надежности.

Если в холодный и переходный периоды года в помещения подается столько теплоты, сколько требуется для поддержания необходимого температурного режима, с учетом их назначения и актуальных внешних параметров, то можно считать, что эксплуатация системы отопления здания энергоэффективна. Можно ожидать максимально эффективной и экономичной работы системы отопления в здании, если при ее регу-

лировании по назначению помещения во взаимосвязи с погодным регулированием принимается во внимание время суток, график посещаемости здания и число посетителей, особенности технологии. Некоторые исследователи [1] считают, что ключом к энергоэффективности зданий является правильно выбранная стратегия регулирования систем отопления и вентиляции. Также для оптимального планирования отопительной нагрузки предлагается учитывать вместе с погодными условиями и технологией колебания стоимости энергии [2].

Здания по наличию систем автоматизации (building automation and control systems, BACS) и использованию методов технического управления (technical building management; TBM) подразделяются на четыре класса энергоэффективности<sup>1</sup>. Низший, неэнергоэффективный, класс D включает в себя объекты без автоматических систем и методы ручного регулирования, что с 2012 г. не закладывается в проектные решения, а к высшему классу А отнесены здания с высокоэффективными системами и методами. К промежуточным классам отнесены здания с использованием по классу С упрощенных BACS, а по классу В — усовершенствованных BACS и некоторых отдельных функций TBM. В соответствии с ко-

<sup>1</sup> ГОСТ Р 54862-2011 Энергоэффективность зданий. Методы определения влияния автоматизации, управления и эксплуатации здания.

эффицентом эффективности ВАС по ГОСТ Р 54862-2011 при использовании систем и методов класса энергоэффективности А, затраты тепловой энергии при обогреве учебных заведений должны снижаться в 2,5 раза.

Система с автоматическим регулированием температуры отопления в ЦТП или в ИТП только с погодным регулированием соответствует неэффективному классу D, так как теплоноситель с одинаковой температурой раздается по зданиям и/или помещениям с разными тепловыми характеристиками и разной потребностью в отоплении. Для соответствия стандартному классу С необходимо регулирование температуры каждой комнаты, которое можно осуществить с помощью радиаторных вентилей, термостатов или комнатных контроллеров. Система отопления КГЭУ во всех помещениях имеет радиаторные вентили и в ряде помещений — термостатирующие головки к радиаторным клапанам, но без комнатных контроллеров, что соответствует переходной ситуации из класса D в класс С. Для соответствия классу В необходимо дополнительно обеспечить покомнатное регулирование температуры с контроллерами и с обратной связью с ИТП, что может дать дополнительную экономию [3]. Для обеспечения условий класса А необходимо дополнить условия класса В системой контроля присутствия человека в помещении (при отсутствии людей температуру понижают).

В процессе эксплуатации здания с классом энергоэффективности D неизбежен перерасход энергии и по субъективным причинам. Так, по результатам устного анкетирования сотрудников КГЭУ было выявлено, что в тех помещениях учебного (УК) и лабораторного (ЛК) корпусов, где комфортность по теплу отсутствует, люди стремятся установить ее самостоятельно — увеличивают или теплопритоки с помощью альтернативных отопительных приборов (электрообогревателей), или теплопотери, создавая сквозняки одновременным открыванием окон и дверей. Это ведет к нерациональному расходу энергоресурсов. По данным опроса сотрудников, необеспеченность теплового комфорта в помещениях, как правило, возникала вследствие «недотопы» как в условиях экстремально мягкой зимы в г. Казани в январе 2020 г., так и в климатически нормальных условиях зимы 2021 г., хотя зимой 2020 г. имели место и «перетопы».

Допущение ошибок при проектировании, монтаже и эксплуатации может привести к отсутствию теплового комфорта в зданиях и помещениях. В УК и ЛК ситуация осложнена наличием системы комбинированного водяного и воздушного отопления. Как показал опыт эксплуатации этих зданий, при регулировании по классам D и С невозможно добиться от такой системы обеспечения заложенных в проекте нормативных требований по температуре. Чтобы оптимизировать совместную работу водяного и воздушного отопления, необходимо

найти минимум всех эксплуатационных затрат на обе системы в течение отопительного сезона. Теоретического решения такая задача не имеет. Пока имеются упрощенные подходы к ней, учитывающие, например, затраты только тепловой и электрической энергии, или рассматривающие несколько большее число параметров на предельно упрощенной модели комбинированной системы из одного прибора водяного и одного источника воздушного отопления [4, 5]. Попытки учесть большое количество статических и динамических характеристик отапливаемого здания приводят к излишне сложным моделям, работа с которыми затруднена.

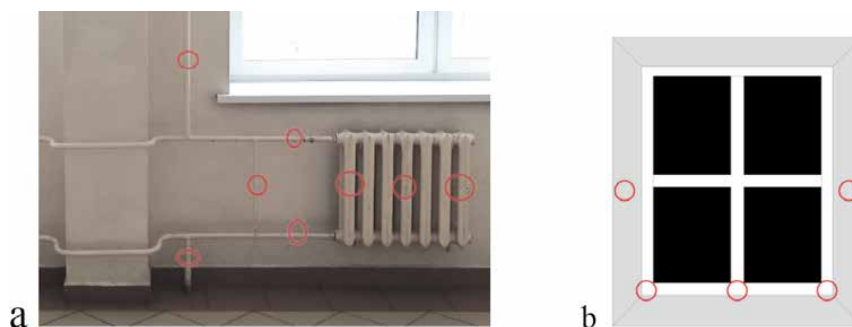
Работы по прогнозному регулированию обогрева зданий имеют особый интерес в последнее время и достаточно интенсивно развиваются [6, 7], однако реальные результаты повышения эффективности управления комбинированными системами отопления в основном можно получить в результате опытных исследований [8].

## 1. Методы

### 1.1. Методы выполнения опытных измерений

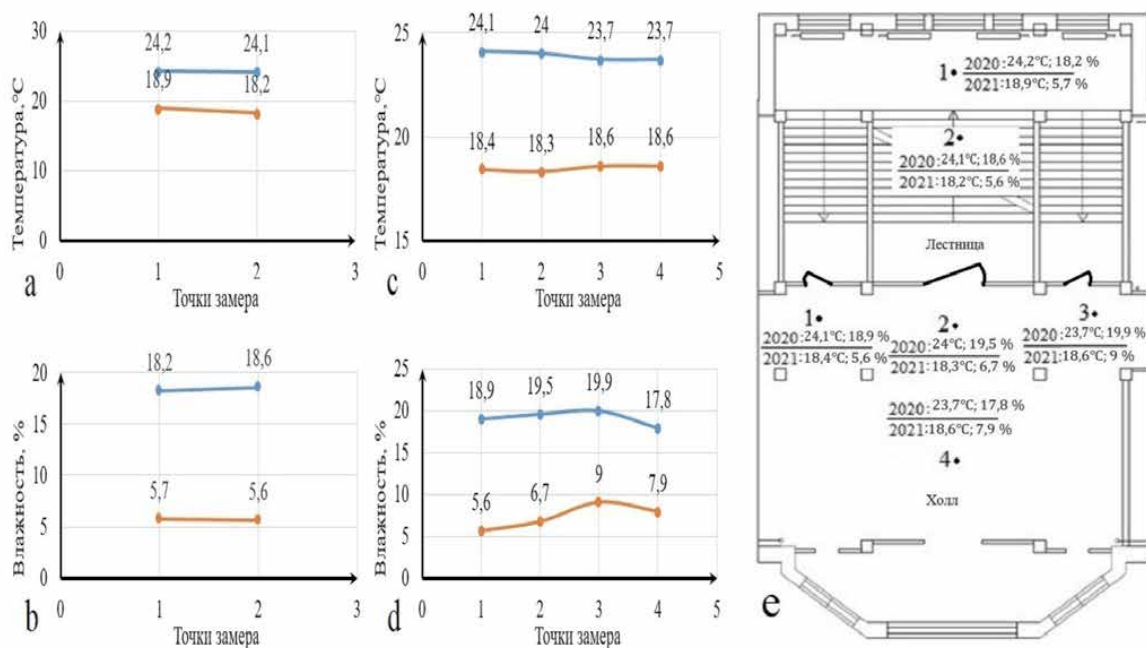
В опытных обследованиях проводились замеры температуры поверхностей окон, стен и элементов системы отопления, а также температуры и влажности воздуха в аудиториях и коридорах УК и ЛК КГЭУ. На рисунке 1а показаны точки замеров температуры поверхностей стояка, подводок, замыкающего участка и отопительного прибора марки MC-140 в коридоре УК, а на рисунке 1б — ограждений в оконных проемах служебных помещений ЛК. Температура поверхности наружных стен со стороны помещения измерена на расстоянии 1 м, а потолка и пола — на расстоянии 1,5 м, от окна.

Замеры температур поверхностей проводились методом оптической пирометрии при помощи портативного инфракрасного пирометра модели TESTO 830-T1. Прибор предназначен для бесконтактного определения температуры объекта в диапазоне от –30 до 400°C. Он оборудован 2-точечным лазерным целеуказателем на центр пятна измерения, процессором, дисплеем с подсветкой для считывания результатов замеров и оптикой 12:1. Погрешность измерений при корректном вы-



**Рисунок 1.** Схемы замеров температуры: а — поверхностей трубопроводов и приборов системы отопления, б — оконных ограждений

**Figure 1.** Temperature measurements schemes: a — the surfaces of pipelines and heating devices, b — of the window protections



**Рисунок 2.** Результаты замера температуры и влажности на лестнице (a, b) и в холле (c, d) 1-го этажа УК (e). Синими линиями представлены результаты замеров 2020 г., красными 2021 г

**Figure 2.** The results of measuring the temperature and humidity on the stairs (a, b) and in the hall (c, d) of the 1st floor of the educational building (e). The blue lines represent the results of measurements in 2020, red 2021

полнении замеров не превышает 1°C. Для этого перед каждым замером оптику прибора (линзу) проверяли на отсутствие загрязнения и запотеваний, а также освобождали обследуемые поверхности от пыли, грязи, влаги и других препятствий для прохождения лазерного луча. При этом избегали поверхностей труб и радиаторов со ржавчиной, с отошедшей краской, с металлическим блеском, и отражающих свет поверхностей полимерных материалов, так как на пирометре установлен коэффициент излучения 0,95, что соответствует измерению поверхностей неметаллов. Замеры производились на минимальном расстоянии рабочей поверхности прибора до объекта, так как площадь пятна измерений растет с расстоянием, а процессор выводит на дисплей усредненную по площади температуру.

Для замеров уровня влажности и температуры воздуха в помещении использовали бесконтактный гигрометр — портативный цифровой влагомер марки AR827, который за счет интегрированного датчика позволяет также измерить температуру воздуха. Измерение влажности и температуры производится влагомером. У электронного влагомера модели AR827 данные выводятся на ЖК дисплей. Диапазон измерений температуры  $t$  от  $-10^{\circ}\text{C}$  до  $+50^{\circ}\text{C}$  ( $14^{\circ}\text{F}$  –  $122^{\circ}\text{F}$ ), влажности  $\varphi$  от 10% до 99%. Точность измерений по температуре  $\pm 1^{\circ}\text{C}$  ( $\pm 2,8^{\circ}\text{F}$ ), по влажности  $\pm 3\%$  при  $t=25^{\circ}\text{C}$ ,  $\varphi=30-99\%$  и  $\pm 5\%$  при  $t=25^{\circ}\text{C}$ ,  $\varphi=10-30\%$ . Разрешение по  $t$   $0,1^{\circ}\text{C}$  ( $0,1^{\circ}\text{F}$ ), по  $\varphi$   $0,1\%$ . Условия эксплуатации по температуре (от  $0^{\circ}\text{C}$  до  $+40^{\circ}\text{C}$ ) позволяли определять характеристики только внутреннего воздуха. Ввиду большого количества замеров все показания приборов на месте заносились в заранее подготовленные замерные карты с номерами стояков и помещений. Далее результаты измерений па-

раметров помещений размещались непосредственно на планах помещений, что позволяло своевременно исправлять неточности и избегать грубых ошибок.

## 1.2. Расчетные методы

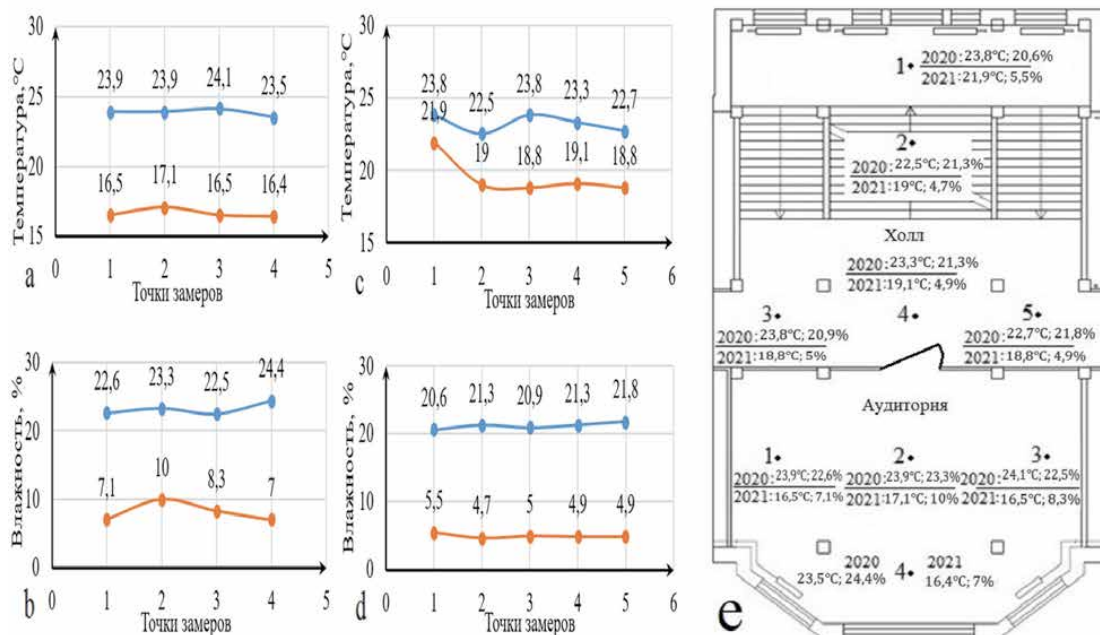
Для расчета энергетических потерь систем отопления помещения используют методы коэффициента полезного действия, эквивалентной внутренней температуры, а также вспомогательной энергии, которыми по рекомендациям ГОСТ Р 56778-2015<sup>2</sup> можно дополнять предыдущие методы. В теплотери от отопительных приборов дополнительно к проектным должны включаться энергетические потери от расслоения температуры по вертикали с тепловой подушкой под потолком, от повышенной теплоотдачи вблизи окон, от теплоотдачи конвекцией и излучением через наружную стенку за радиатором. Также предлагается учитывать теплотери вследствие неидеально работающего регулирования температуры внутри помещения<sup>2</sup>.

В данной работе основные и дополнительные теплотери помещений рассчитывались в соответствии с нормативами, а для проверки необходимости включения в расчеты указанных выше дополнительных теплотери от отопительных приборов были проведены экспериментальные исследования в УК КГЭУ в отопительные периоды 2019–2020 гг. и 2020–2021 гг.

## 2. Результаты и обсуждение

Во время экспериментальных исследований были вы-

<sup>2</sup> ГОСТ Р 56778-2015 Системы передачи тепла для отопления помещений. Методика расчета энергопотребления и эффективности.



**Рисунок 3.** Результаты замера температуры и влажности в аудитории (а, б) и в холле (с, д) 4-ого этажа УК (е). Синими линиями представлены результаты замеров 2020 г., красными 2021 г

**Figure 3.** The results of measuring the temperature and humidity on the stairs (a, b) and in the hall (c, d) of the 4th floor of the educational building (e). The blue lines represent the results of measurements in 2020, red 2021

полнены замеры температуры и влажности на лестничных пролетах и площадках, в холлах и аудиториях 1–7 этажей УК КГЭУ. На рисунках 2–5 представлены примеры результатов замеров для наиболее характерных помещений.

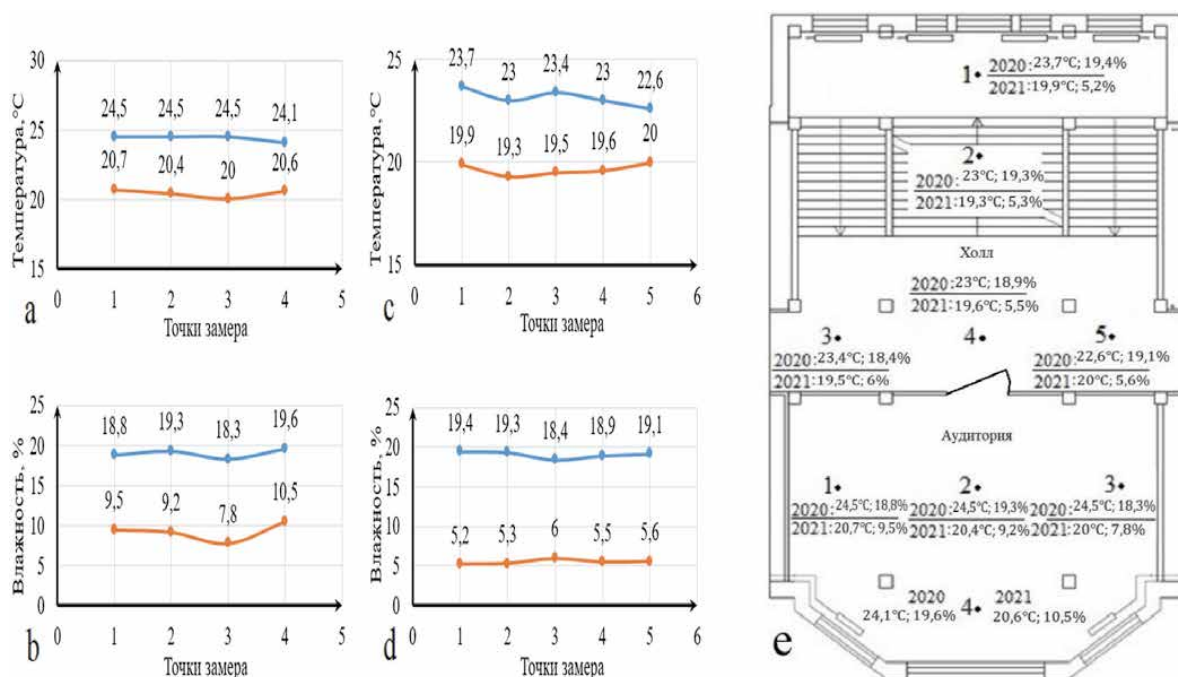
В соответствии с графиками рисунка 2а, наблюдается различие температур между 1-ой и 2-ой точками замера на 0,1°C в 2020 и на 0,7°C в 2021 гг. В то же время можно видеть, что температура и в 2020 и 2021 гг. достаточно равномерна. По рисунку 2б разность влажности между двумя точками замеров в 2020 г. составляет 0,4%, а в 2021 г. 0,1%. На графиках рисунка 2с можно наблюдать, что различие температур не значительно, разность между максимальным и минимальным значением в 2020 г. составляет 0,4°C, а в 2021 г. 0,3°C. Показания разности между максимальным и минимальным значениями влажности на графике 2д в 2020 г. составляет 2,1%, в 2021 г. эта разность имеет значение в 3,4%. С учетом того что в холл 1-ого этажа может прорываться холодный воздух через наружные двери, можно практически считать, что неравномерность температуры по помещениям отсутствует. Это связано с надлежащей работой воздушной завесы в тамбуре. В то же время видно, что на температурный уровень в помещении оказывает сильное влияние температура наружного воздуха<sup>3</sup>. Его влияние также можно проследить по графикам замеров влажности. Так, например, на лестнице в точках 1, 2 влажность распределена практически равномерно, а в точках 1, 2, 3, 4 холла имеются перекосы, связанные, очевидно, с турбулизацией во-

рвавшегося в холл воздуха вследствие движения людей.

В учебной аудитории (рисунок 3а) наблюдается различие между замерами температуры в 2020 и 2021 гг. на 7 – 7,1°C, а в холле и на лестнице отличие замеров составляет от 1,9 до 3,7°C (рисунок 3с). Разница между максимальными и минимальными значениями температуры в аудитории в 2020 г. составила 0,6°C, а в 2021 г. 0,7°C; в холле разница между максимальным и минимальным замеренными значениями температуры в 2020 г. составила 1,3°C, а в 2021 г. 3,1°C. Различие во влажности воздуха в аудитории в 2020 и 2021 гг. составило 14,4 – 15,5% (рисунок 3б), а в холле и на лестнице отличие замеров составляет от 15,9 до 16,3% (рисунок 3д). Разница между максимальным и минимальным значением в аудитории в 2020 г. составила 1,9%, а в 2021 г. 3%, а в холле и на лестнице разница между максимальным и минимальным замеренными значениями в 2020 г. составила 1,2%, а в 2021 г. 0,8%. Графики показывают, что распределение температуры в аудитории практически равномерное, а в холле наблюдается максимум на лестничной площадке около отопительных приборов — точка 1 на рисунке 3с. В остальной части холла распределение температуры практически так же равномерное. Вместе с тем можно видеть, что в 2021 г. температура намного ниже, чем в 2020 г. Таким образом, несмотря на погодное регулирование в ИТП, температура воздуха в помещении существенно зависит от состояния наружного воздуха. Это является экспериментальным подтверждением недостаточности регулирования по классу D, так как требуемый температурный норматив в помещениях не достигается.

Распределения влажности (рисунки 3б, д) показывают отсутствие заметных перекосов по измеренным на-

<sup>3</sup> В дни замеров температура наружного воздуха в 2020 г. составляла около 0°C, а в 2021 г. –20 ÷ –25°C



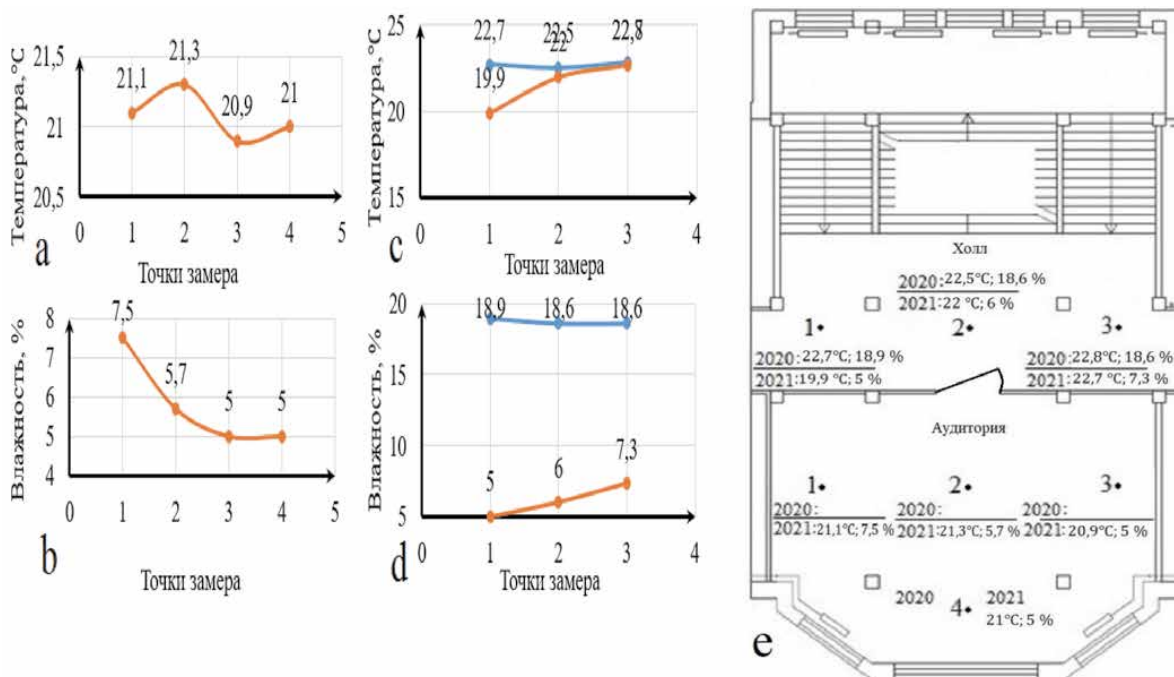
**Рисунок 4.** Результаты замера температуры и влажности в аудитории (а, б) и в холле (с, d) 5 – ого этажа УК (е); синими линиями представлены результаты замеров 2020 г., красными 2021 г

**Figure 4.** The results of measuring the temperature and humidity on the stairs (a, b) and in the hall (c, d) of the 5th floor of the educational building (e). The blue lines represent the results of measurements in 2020, red 2021

правлениям как в аудитории, так и в холле. В то же время видна существенная разница в величинах влажности, замеренных в 2020 и 2021 гг. Достоверность выполненных замеров, подтверждается тем, что как в 2020 г., так и в 2021 г. влажность в холле ниже влажности в аудитории

примерно на 2%, что объясняется постоянным сосредоточенным присутствием людей в аудитории.

По рисунку 4а различие температуры в аудитории в 2020 и 2021 гг. составляет 3,8–4,1°C, а в холле и на лестнице (рисунок 4с) отличие между замерами наблюдает-



**Рисунок 5.** Результаты замера температуры и влажности в холле в аудитории (а, б) и в холле (с, d) 7-ого этажа УК (е). Синими линиями представлены результаты замеров 2020 г., красными 2021 г

**Figure 5.** The results of measuring the temperature and humidity on the stairs (a, b) and in the hall (c, d) of the 7th floor of the educational building (e). The blue lines represent the results of measurements in 2020, red 2021

ся от 3,3 до 3,7°C. Разница температур в аудитории между максимальной и минимальной температурой в 2021 г. составила 0,7°C, в 2020 г. 0,4°C; в холле и на лестнице разница между максимальным и минимальным значением в 2021 г. составляет 0,7°C, а в 20 г. 1,1°C. Различия во влажности воздуха в аудитории в 2020 и 2021 гг. составило 9,1–10,5% (рисунок 4b), а в холле и на лестнице отличие замеров составляет от 13,2 до 13,4% (рисунок 4d). В аудитории разница между максимальным и минимальным значением влажности в 2020 г. составила 1%, в 2021 г. 2,7%; в холле и на лестнице в 2020 г. 1%, а в 2021 г. 0,8%. По результатам замеров в помещениях 5-ого этажа сохраняются тенденции, выявленные по замерам на предыдущем этаже. В то же время можно видеть, что температура в аудитории в 2021 г. была близка к норме. Очевидно, это связано с тем, что в момент замеров подача теплого воздуха производилась только в аудитории 5 этажа, а в аудитории 4 этажа отсутствовала.

Различия температуры в холле (рисунок 5с) в 2020 г. и в 2021 г. составляет 0,1–2,6°C. Разница между максимальной и минимальной температурой в 2020 г. составляет 0,3°C, а в 2021 г. 2,6°C. Влажность в холле (рисунок 5d) в 2020 г. и 2021 г. имеет различия от 11,6 до 13,6%. Разница между максимальной и минимальной влажностью в 2020 г. составляет 0,3%, а в 2021 г. 2,3%. Разница между максимальным и минимальным значением температуры в аудитории (рисунок 5a) в 2021 г. составляет 0,4°C, а разница влажности (рисунок 5b) составляет 2,5%. Замеры параметров внутреннего воздуха в холле и аудитории 7 этажа показали следующее. Температурный режим помещений в 2020 и 2021 гг. близок к норме. Очевидно это связано с попаданием прогретого воздуха с нижних этажей. В то же время влажность по замерам 2021 г. значительно ниже, чем по замерам 2020 г., что объясняется более низкой температурой наружного воздуха и, соответственно, его более низкой влажностью.

Полученные результаты во время поэтажных замеров температуры поверхностей стояков, подводок, окон, оконных стен, потолков, пола показали равномерность прогрева отопительных приборов. Температура отопительных приборов на смежных этажах понижается на 0,5–2°C, что является показателем равномерности прогрева системы водяного отопления в целом.

По выходным данным полученных во время замеров параметров воздуха и приборов отопления, для обнаружения температурных перекосов по каждому помещению были построены графики профилей влажности и температуры в продольном и поперечном направлениях. Они показали, что в помещениях заметных температурных и влажностных неравномерностей не наблюдается. Неравномерность регулирования температуры также незначительная. За исключением одного случая, не обнаружено и повышенной теплоотдачи вблизи окон. Результаты теплотехнических расчетов ограждений и системы отопления УК и ЛК также показали их соответствие современным требованиям энергоэффективности по СП 50.13330.2012<sup>4</sup>. Теплопотери через наружные сте-

ны за отопительными приборами были учтены при проектировании системы отопления здания. Поэтому для данной системы рекомендации ГОСТ Р 56778-2015 по расчету энергоэффективности систем обогрева, отмеченные ранее в разделе 2, оказались неактуальны, хотя она далека от совершенства.

Стоит так же заметить, что в период выполнения замеров в 2020 г. система воздушного отопления здания была отключена, ввиду аномально высокой температуры наружного воздуха, а в 2021 г. система воздушного отопления работала. Учет указанных выше дополнительных теплопотерь может оказаться актуальным при совместной работе систем водяного и воздушного отопления в неаномальные по климатическим нормам отопительные сезоны.

Также в ходе обследования системы воздушного отопления лекционных аудиторий было выявлено наличие определенных резервов повышения эффективности данной системы за счет внедрения системы рекуперации.

### 3. Заключение

Результатами исследований, проведенных в 2020–2021 гг., было установлено, что повышение эффективности эксплуатации комбинированного водяного и воздушного отопления исследованных корпусов КГЭУ может быть реализовано на основе перехода системы их регулирования из классов D и C в классы B или A. Так, обнаруживается зависимость температуры в помещениях от температуры наружного воздуха. В аномально теплую зиму 2020 г. температура воздуха в помещениях находилась на границе максимально допустимого значения, а в нормальную по климатологии зиму 2021 г. – на границе минимально допустимого. При этом различия температуры, измерявшейся в помещениях в 2020 и 2021 гг., с увеличением этажности становится меньше — на первом этаже 6°C, на седьмом 2,5°C. Это также подтверждает зависимость качества работы системы отопления от наружных условий.

Необходимо также отметить, что для оптимизации обогрева зданий с комбинированной системой отопления в условиях аномально теплого отопительного периода, когда воздушное отопление практически не работает (что имело место в период исследований 2020 г.) можно воспользоваться методом минимизации затрат систем водяного отопления, по которому разработан и апробирован на практике ряд приложений прогнозируемого регулирования с соответствующими программными функциями, например, "Predictive Heating Control" компании Сименс [3, 9]. Исследования модели прогнозируемого управления многоквартирными домами с тепловыми насосами и электрическими нагревателями были так же проведены в Латвии [10]. Работа системы в подобных приложениях прогнозируется на двое-трое суток в виде кривой значений уставок температуры в помещении по прогнозу температуры наружного воздуха и по присутствию людей (дневной, ночной графики, учет выходных дней), а также по другим параметрам.

<sup>4</sup> СП 50.13330.2012 Тепловая защита зданий.

Такие приложения в настоящее время для комбинированных систем отсутствуют, но имеют принципиальную возможность адаптации к ним, так как могут регулировать подачи насосов и вентиляторов. Продолжение совершенствования систем прогнозируемого управления возможно также в направлении модели искусственной нейронной сети (ИНС), по подобию модели ИНС жилого дома в Онтарио, Канада [11]. Вместе с тем ситуация, сложившаяся в последнее время в связи с коронавирусной инфекцией, может потребовать внесения в функции предиктивного управления изменений алгоритмов по части оптимизации времени включения — выключения систем. При этом на комбинированных системах влияние последнего сказывается значительно сильнее, чем на обычных системах водяного отопления.

### Список использованных источников

1. Zakia Afroz, GM Shafiullah, Tania Urme, Gary Higgins. Modeling techniques used in building HVAC control systems: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2018. (83): 64–84. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.10.044>
2. Nadine Aoun, Roland Bavière, Mathieu Vallée, Antoine Arousseau, Guillaume Sandou. Modelling and flexible predictive control of buildings space-heating demand in district heating systems. *In Energy*. 2019; 188. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.116042>
3. Тарасенко Ю. А. Энергоэффективное управление инженерными системами. Автоматизация и безопасность зданий. 2019; 70. <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:55de0e88-bfcc-42de-b7e6-14356bd1d4a0/energyefficiency-management-of-engineering-systems-brochure-ru.pdf>
4. Шилин А. С. Математическая модель оптимизации систем обеспечения микроклимата общественных зданий. Низкотемпературные и пищевые технологии в XXI веке: IX Международная научно-техническая конференция. Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики 2019;: 273–278.
5. Захаров А. А., Захарова И. Г., Ромазанов А. Р. Моделирование теплового режима и управление теплоснабжением помещений умного здания. Вестник Тюменского государственного университета. Физико-математическое моделирование. Нефть, газ, энергетика 2018; 4(2): 105–119.
6. Бисмарк М. Использование прогноза погоды для оптимизации энергозатрат при оптимальных условиях комфорта. АВОК. 2018. [http://www.sauter-bc.ru/rru/download/file\\_pdf/Meteoromodul\\_Unidom.pdf](http://www.sauter-bc.ru/rru/download/file_pdf/Meteoromodul_Unidom.pdf)
7. Бисмарк М. Предиктивное управление с использованием метеоданных-интеллектуальный инструмент управления климатизацией здания. АВОК 2020; (3): 52–57.
8. Germán Ramos Ruiz, Eva Lucas Segarra, Carlos Fernández Bandera. Model Predictive Control Optimization via Genetic Algorithm Using a Detailed Building Energy Model. *Energies* 2019, 12(1), 34; <https://doi.org/10.3390/en12010034>
9. Тарасенко Ю. А. Предиктивное управление отоплением. 2019. <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:ce9eebd6-ad34-473d-925d-b93b3acc4c80/predictive-management-of-heating-article-ru.pdf>
10. Martins Miezi, Dzintars Jaunzems, Nicholas Stancioff. Predictive

Control of a Building Heating System. *Energy Procedia* 2017; (113): 501–508. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.04.051>

11. Abdul Afram, Farrokh Janabi-Sharifi, Alan S. Fung, Kaamran Raahemifar. Artificial neural network (ANN) based model predictive control (MPC) and optimization of HVAC systems: A state of the art review and case study of a residential HVAC system. *Energy and Buildings* 2017; (141): 96–113. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.02.012>

### References

1. Zakia Afroz, GM Shafiullah, Tania Urme, Gary Higgins. Modeling techniques used in building HVAC control systems: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2018. (83): 64–84. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.10.044> (In Eng.)
2. Nadine Aoun, Roland Bavière, Mathieu Vallée, Antoine Arousseau, Guillaume Sandou. Modelling and flexible predictive control of buildings space-heating demand in district heating systems. *In Energy*. 2019; (188). <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.116042> (In Eng.)
3. Tarasenko Yu. A. Energy efficient management of engineering systems. *Building Automation and Safety*. 2019; (70). <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:55de0e88-bfcc-42de-b7e6-14356bd1d4a0/energyefficiency-management-of-engineering-systems-brochure-ru.pdf> (In Russ.)
4. Shilin A. S. Mathematical model of optimization of systems for providing microclimate in public buildings. Low-temperature and food technologies in the XXI century: IX International scientific and technical conference. St. Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics 2019;: 273–278. (In Russ.)
5. Zakharov A. A., Zakharova I. G., Romazanov A. R., Shirokikh A. V. The Thermal Regime Simulation and the Heat Management of a Smart Building. *Tyumen State University Herald. Physical and Mathematical Modeling. Oil, Gas, Energy* 2018; 4(2): 105–119. (In Russ.)
6. Bismarck M. Using weather forecast to optimize energy consumption under optimal comfort conditions. АВОК. 2018. [http://www.sauter-bc.ru/rru/download/file\\_pdf/Meteoromodul\\_Unidom.pdf](http://www.sauter-bc.ru/rru/download/file_pdf/Meteoromodul_Unidom.pdf). (In Russ.)
7. Bismarck M. Predictive control using meteorological data – an intelligent tool for managing building climate control. АВОК 2020; (3): 52–57 (In Russ.)
8. Germán Ramos Ruiz, Eva Lucas Segarra, Carlos Fernández Bandera. Model Predictive Control Optimization via Genetic Algorithm Using a Detailed Building Energy Model. *Energies* 2019, 12(1), 34; <https://doi.org/10.3390/en12010034> (In Eng.)
9. Tarasenko Yu. A. Predictive heating control. 2019. <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:ce9eebd6-ad34-473d-925d-b93b3acc4c80/predictive-management-of-heating-article-ru.pdf> (In Russ.)
10. Martins Miezi, Dzintars Jaunzems, Nicholas Stancioff. Predictive Control of a Building Heating System. *Energy Procedia* 2017; (113): 501–508. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.04.051> (In Eng.)
11. Abdul Afram, Farrokh Janabi-Sharifi, Alan S. Fung, Kaamran Raahemifar. Artificial neural network (ANN) based model predictive control (MPC) and optimization of HVAC systems: A state of the art review and case study of a residential HVAC system. *Energy and Buildings* 2017; (141): 96–113. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.02.012> (In Eng.)