

УДК 697.9:621.311.22

**Вячеслав Викторович Бухмиров**

ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина», доктор технических наук, профессор кафедры теоретических основ теплотехники, Россия, Иваново, e-mail: bao6095@mail.ru

**Илья Игоревич Светушков**

ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина», аспирант кафедры теоретических основ теплотехники, Россия, Иваново, e-mail: ilia.svet@gmail.com

**Евгений Николаевич Бушуев**

ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина», доктор технических наук, доцент, зав. кафедрой теоретических основ теплотехники, Россия, Иваново, e-mail: zavkaf@tot.ispu.ru

**Елена Николаевна Темлянцева**

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет», кандидат технических наук, доцент кафедры теплоэнергетики и экологии, Россия, Новокузнецк, e-mail: elena.temlyantseva@yandex.ru

**Мария Владимировна Родионова**

ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина», кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры теоретических основ теплотехники, Россия, Иваново, e-mail: prorokova\_mv@list.ru

## Экспериментальное исследование микроклимата на ТЭЦ

### Авторское резюме

**Состояние вопроса.** Организация требуемого нормативными документами качества микроклимата в главном корпусе ТЭС необходима для оптимального ведения технологического процесса и соблюдения требований охраны труда. В связи с этим получение информации о параметрах микроклимата является актуальной задачей.

**Материалы и методы.** Параметры микроклимата в главном корпусе ТЭЦ получены путем проведения пассивного эксперимента при помощи современных измерительных приборов.

**Результаты.** Получены основные (температура и относительная влажность) и дополнительные (CO<sub>2</sub>, PM2.5, tVOC) характеристики воздушной среды в объеме турбинного и котельного отделений главного корпуса Ивановской ТЭЦ-2. В результате анализа экспериментальных данных установлено соответствие параметров микроклимата на ТЭЦ существующим нормативным документам.

**Выводы.** Информация о состоянии микроклимата в зависимости от технологического режима работы ТЭС и окружающей среды позволит разработать энергосберегающие мероприятия в целях сокращения потребления энергии на собственные нужды станции и может быть полезна для проверки достоверности существующих и новых методов расчета микроклимата.

**Ключевые слова:** тепловая электрическая станция, параметры микроклимата, энергосбережение, технологические режимы работы ТЭС

**Vyacheslav Viktorovich Bukhmirov**

Ivanovo State Power Engineering University, Doctor of Engineering Sciences (Postdoctoral degree), Professor of Theoretical Foundations of Heat Engineering Department, Russia, Ivanovo, e-mail: bao6095@mail.ru

**Ilya Igorevich Svetushkov**

Ivanovo State Power Engineering University, Postgraduate student of Theoretical Foundations of Heat Engineering Department, Russia, Ivanovo, e-mail: ilia.svet@gmail.com

**Evgeniy Nikolayevich Bushuev**

Ivanovo State Power Engineering University, Doctor of Engineering Sciences, Postdoctoral degree), Associate Professor, Head of Theoretical Foundations of Heat Engineering Department, Russia, Ivanovo, e-mail: zavkaf@tot.ispu.ru

**Elena Nikolaevna Temlyantseva**

Siberian State Industrial University, Candidate of Engineering Sciences, (PhD), Associate Professor of Heat Power Engineering and Ecology Department, Russia, Novokuznetsk, e-mail: elena.temlyantseva@yandex.ru

**Maria Vladimirovna Rodionova**

Ivanovo State Power Engineering University, Candidate of Engineering Sciences (PhD), Associate Professor, Associate Professor of Theoretical Foundations of Heat Engineering Department, Russia, Ivanovo, e-mail: prorokova\_mv@list.ru

## Experimental study of microclimate at thermal power plant

### Abstract

**Background.** Microclimate quality required by regulatory documents in the main housing of the thermal power plant is necessary to manage the technological process and comply with labor protection requirements. Thus, obtaining information about microclimate parameters is an urgent task.

**Materials and methods.** A passive experiment using state-of-the-industry measuring instruments is carried out to obtain the microclimate parameters in the main housing of the thermal power plant.

**Results.** The main (temperature and relative humidity) and auxiliary ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{PM}_{2.5}$ ,  $\text{tVOC}$ ) characteristics of the air environment in the turbine and boiler sections of the main housing of the Ivanovo CHPP-2 are obtained. Analysis of experimental data allows us to draw conclusions that the microclimate parameters at the thermal power plant are in compliance with the current regulatory documents.

**Conclusions.** Information about the state of the microclimate depending on the technological operating mode of the thermal station and the environment will allow us to develop energy-saving measures to reduce energy consumption for in-house needs. It can be useful to check the reliability of the existing and new methods to calculate the microclimate at thermal power plants.

**Key words:** thermal power plant, microclimate parameters, energy saving, technological operating modes of thermal power plants

**DOI:** 10.17588/2072-2672.2023.6.013-022

**Введение.** Производство тепловой и электрической энергии является одним из ключевых направлений развития техники и технологий в современном мире. Основное производство энергии происходит в главном корпусе ТЭС (в котло-турбинном цехе), в котором установлены паровые котлы для получения тепловой внутренней энергии пара из энергии топлива и паровые турбины для преобразования тепловой энергии в механическую, а потом в электрогенераторе и в электрическую энергию. В главном корпусе станции также находится и вспомогательное оборудование – насосы, деаэраторы, подогреватели. Основное и вспомогательное оборудование ТЭС оказывает значительное влияние на микроклимат в главном корпусе станции, поскольку станция работает в непрерывном режиме. Температура, влажность, подвижность воздуха, концентрация твердых и химических веществ оказывают непосредственное влияние на состояние здоровья персонала станции, а также на энергетические затраты на собственные нужды электростанции. В связи с этим информация о параметрах микроклимата в главном корпусе ТЭС является весьма важной и необходимой для решения задач энергосбережения и создания требуемых по санитарным нормам условий труда работников станции.

Решению проблем микроклимата в производственных и общественных зданиях посвящены монографии и научные статьи, например [1–8].

**Методы исследования.** Для оценки качества микроклимата в производственном помещении используют следующие основные и дополнительные физические параметры. Основные пара-

метры микроклимата (температура  $T$ , °C, относительная влажность  $W$ , %) и воздушной среды<sup>1</sup> были измерены метеометром МЭС-200А. Абсолютная погрешность измерения этим прибором составляет  $\pm 3\%$  для относительной влажности и  $\pm 0,2\text{ °C}$  для температуры. К дополнительным параметрам микроклимата относят содержание углекислого газа в атмосфере  $\text{CO}_2$ ,  $\text{см}^3/\text{м}^3$  (ppm), массовую концентрацию микрочастиц  $\text{PM}_{2.5}$ ,  $\text{мг}/\text{м}^3$ , и концентрацию летучих органических соединений (ЛОС), характеризуемую параметром  $\text{tVOC}$ ,  $\text{мг}/\text{м}^3$ . Дополнительные характеристики воздушной среды были измерены детектором воздуха Qingping, который измеряет массовую концентрацию микрочастиц  $\text{PM}_{2.5}$  с погрешностью  $\pm 10\text{ мкг}/\text{м}^3$ , концентрацию летучих органических соединений  $\text{tVOC}$  с погрешностью  $\pm 20\%$  и концентрацию углекислого газа  $\text{CO}_2$  с погрешностью  $\pm 15\%^2$ .

По ГОСТу<sup>3</sup> оптимальным для здоровья человека уровнем  $\text{CO}_2$  считается величина 800–1000 ppm. Концентрация углекислого газа в воздухе 1000–1400 ppm является верхней границей допустимой нормы, при которой у человека наблюдается вялость, проблемы с внимательностью и обработкой информации, тяжелое дыхание и проблемы с носоглоткой. При концентрации  $\text{CO}_2$  в воздухе выше 1400 ppm у людей проявляется сильная усталость, безынициативность, неспособность сосредоточиться, сухость слизистых и возникают проблемы со сном.

Показатель  $\text{PM}_{2.5}$  характеризует концентрацию мелкодисперсных взвешенных частиц размером от 0,001 до 2,5 микрометра (мкм), находящихся в воздухе и легко проникающих

<sup>1</sup> СанПин 1.2.3685-21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания. – М., 2021. – 452 с.

<sup>2</sup> Qingping: официальный сайт. URL: <https://www.qingping.com> (дата обращения: 17.09.2023).

<sup>3</sup> ГОСТ 12.1.005-88 Межгосударственный стандарт. Система безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. – М., 1988. – 78 с.

сквозь биологические барьеры организма. Показатель концентрации тонкодисперсной пыли в воздухе PM<sub>2.5</sub> является ключевым параметром для оценки качества воздуха и его угрозы для здоровья человека<sup>4</sup>. По требованиям СанПиН<sup>5</sup> среднегодовая концентрация микрочастиц не должна превышать 0,025 мг/м<sup>3</sup>.

Показатель tVOC, мг/м<sup>3</sup>, учитывает наличие летучих органических соединений, к которым относят продукты сгорания органических топлив, газообразные выделения в технологических процессах и в быту, детергенты (поверхностно-активные вещества и другие органические газы). В главном корпусе ТЭС показатель tVOC может свидетельствовать об утечках водорода, используемого для охлаждения генератора турбоагрегата, и других газов и паров органического происхождения. По данным ГОСТа<sup>6</sup>, данный показатель не должен превышать величину 1 мг/м<sup>3</sup>, потому что превышение нормы по этому показателю вызывает дисбаланс иммунитета организма и влияет на функционирование центральной нервной системы и системы пищеварения, вызывая тяжелые повреждения легких, печени и кроветворной системы человека.

Исследования микроклимата были проведены в котлотурбинном цехе Ивановской ТЭЦ-2 (ИвТЭЦ-2), на которой установлено 8 паровых котлов и 5 паровых турбин (в настоящее время в работе находится 4 турбоагрегата). В этом цехе между котельным и турбинным отделениями установлена разделительная стена. Ворота между этими отделениями имеют тепловую завесу.

В главном корпусе были выбраны характерные точки для контроля параметров микроклимата в объеме около теплоэнергетического оборудования и в местах его обслуживания. Измерения параметров микроклимата были выполнены в период с января 2020 года по август 2023 года в 16 точках на отметках 0.00, 8.00 и 16.00 в турбинном отделении и в 23 точках на отметках 0.00, 8.00 и 25.60 в котельном отделении (табл. 1). Фронтальный разрез и планы котлотурбинного цеха ИвТЭЦ-2 для названных выше отметок с указанием точек измерения параметров микроклимата приведены на рис. 1–5. Особо отметим точки в зонах обслуживания и на щитах управления турбинных и котельных агрегатов. Это точки 0-1, 0-2, 0-4, 0-6, 0-8 на нулевой отметке, точки 8-1, 8-2, 8-3, 8-4, 8-5, 8-7, 8-9, 8-11, 8-12, 8-15, 8-17, 8-18, 8-20, 8-21, 8-22 на отметке 8.00 мет-

ров, 16-1, 16-2, 16-3, 16-4 на отметке 16.00 метров в турбинном отделении и точки 25-1, 25-2, 25-3, 25-4 в котельном отделении.

Таблица 1. Точки для измерения параметров микроклимата

Номер точки	Точки замеров
<b>Отметка 0.00</b>	
0-1	Ряд А, ТА №1
0-3	Ряд А, ТА №2
0-2	Ряд А, ТА №3
0-4	Ряд А, ТА №5
0-5	КА №1
0-6	КА №4
0-7	КА №6
0-8	КА №8
0-9	Ряд В
<b>Отметка 8.00</b>	
8-1	ТА №1, зона обслуживания
8-3	ТА №2, зона обслуживания
8-4	ТА №3, зона обслуживания
8-6	ТА №4, зона обслуживания
8-7	ТА №5, зона обслуживания
8-9	КА №1
8-11	КА №3
8-13	КА №6
8-15	КА №8
8-8	КА №1 щит управления
8-10	КА №3 щит управления
8-12	КА №6 щит управления
8-14	КА №8 щит управления
<b>Отметка 16.00 (деаэрационная)</b>	
16-1	Д пт/с №1
16-2	Д6 ата №3
16-3	Д6 ата №4
16-4	Д пт/с №4
<b>Отметка 25.6</b>	
25-1	КА №1
25-2	КА №3
25-3	КА №6
25-4	КА №8
<b>Рабочие места</b>	
8-2	Рабочее место машиниста турбин ТА 1,2
8-5	Рабочее место машиниста турбин ТА 3,4
8-16	Рабочее место машиниста котлов № 1-2
8-17	Рабочее место машиниста котлов 3-4
8-18	Рабочее место машиниста котлов № 5-6
8-19	Рабочее место машиниста котлов № 7-8
8-20	Кабинет начальника смены
8-21	Кабинет старшего машиниста КО
8-22	Кабинет дежурного слесаря цеха АСУ ТП

<sup>4</sup> СанПиН 1.2.3685-21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания. – М., 2021. – 452 с.

<sup>5</sup> Там же.

<sup>6</sup> ГОСТ 12.1.005-88 Межгосударственный стандарт. Система безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. – М., 1988. – 78 с.

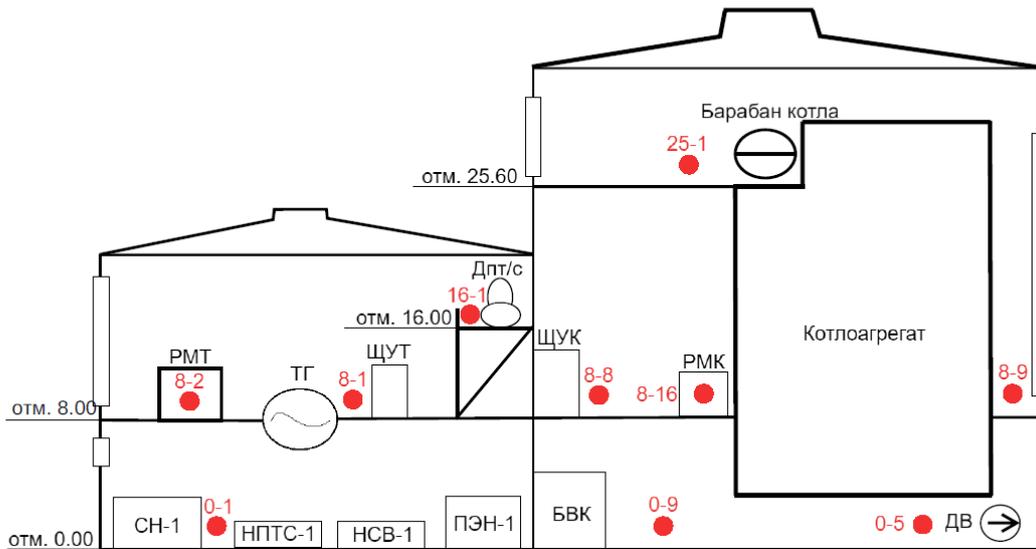


Рис. 1. Фронтальный разрез котлотурбинного цеха: РМТ – рабочее место машиниста паровых турбин; ЩУТ – щит управления турбинной; ТГ – турбогенератор; Дпт/с – деаэрактор подпитки теплосети; СН-1 – сетевой насос; НПТС-1 – насос подпитки теплосети; ПЭН-1 – питательный электронасос №1; БВК – бак возврата конденсата; ДВ – дутьевой вентилятор; РМК – рабочее место машиниста котла; ЩУК – щит управления котлом

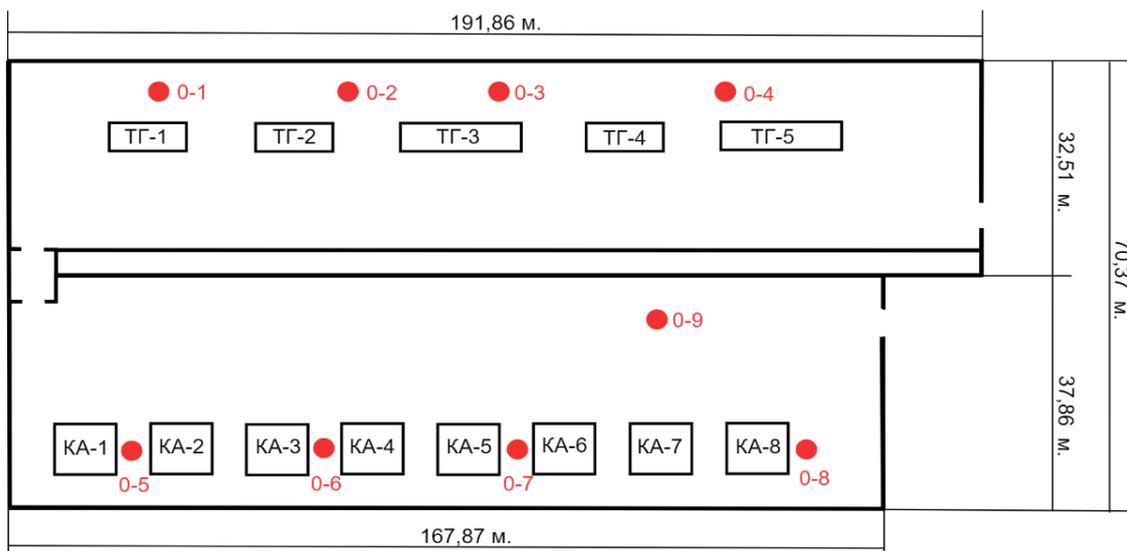


Рис. 2. План котлотурбинного цеха на отметке 0.00 с указанием точек измерения параметров микроклимата: КА-1, ..., КА-8 – котлоагрегаты №1–8; ТГ-1, ..., ТГ-5 – турбогенераторы №1–5

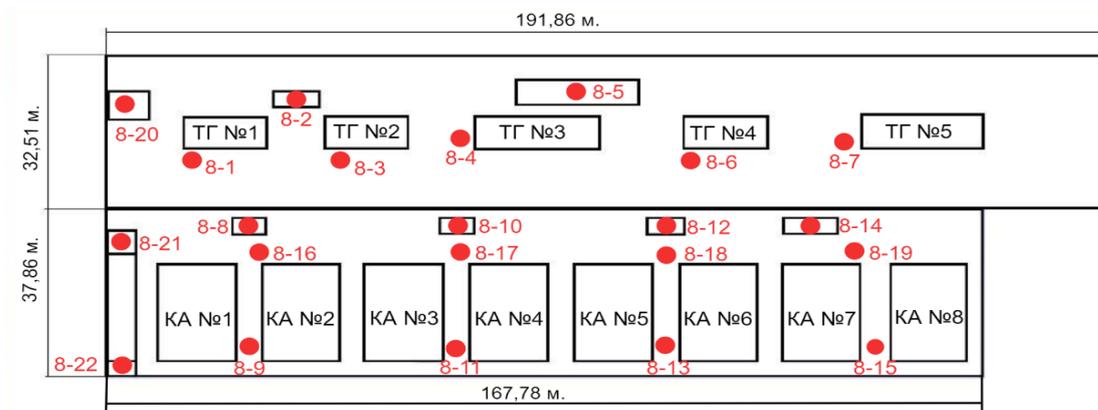


Рис. 3. План котлотурбинного цеха на отметке 8.00 м с указанием точек измерения параметров микроклимата

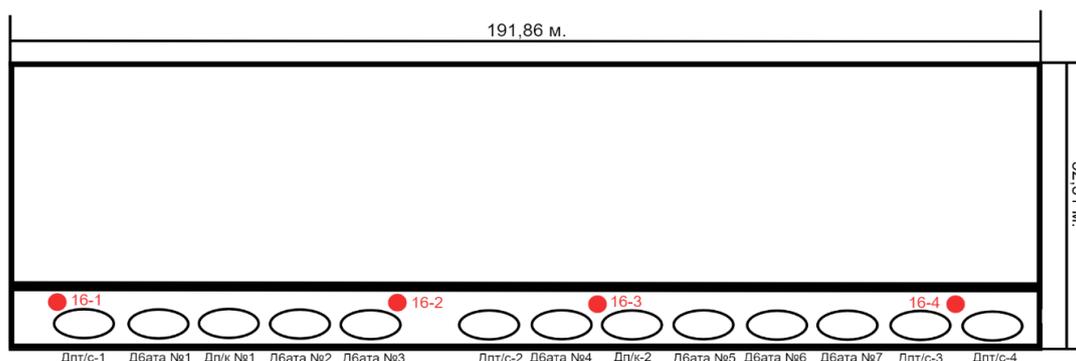


Рис. 4. План турбинного цеха на отметке 16.00 м с указанием точек измерения параметров микроклимата: Дпт/с – деаэратор подпитки теплосети; Дп/к – деаэратор подпитки котлов; Дбата – деаэратор основного цикла

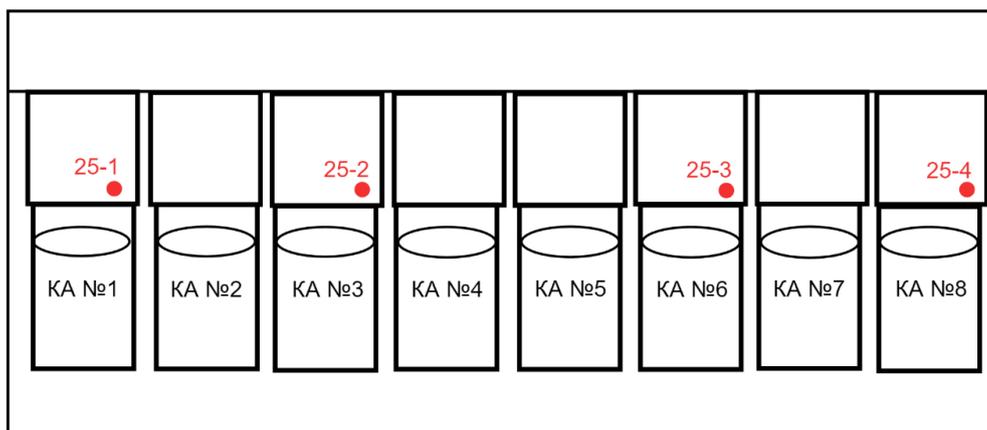


Рис. 5. План котельного цеха на отметке 25.60 с указанием точек измерения параметров микроклимата

**Результаты исследования.** Результаты измерения температуры и относительной влажности воздуха по высоте турбинного цеха около турбоагрегата №3 в теплый и холодный периоды года в представительных точках (см. рис. 1–5) отражены на рис. 6 и 7 соответственно. Изменение температуры и относительной влажности воздуха по высоте котельного отделения около котельного агрегата №8 в тот же временной период представлено на рис. 8 и 9, где штриховые линии показывают изменение основных параметров микроклимата ( $T$  и  $W$ ) в холодный период года, а сплошные – в теплый. Вне зависимости от периода в обоих отделениях станции температура воздуха в верхней части производственного помещения превышает  $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ , что можно объяснить значительными тепловыми потерями от поверхности оборудования, установленного на ТЭЦ. Этот факт позволяет сделать вывод о том, что на ТЭС имеется потенциал энергосбережения за счет уменьшения затрат энергии на собственные нужды, величина которого подлежит дальнейшей теоретической и экспериментальной оценке. Практически постоянная температура по высоте станции и приблизительно равная температуре окружающей среды, зафиксированная 27 мая 2023 г., объясняется остановом оборудования станции для выполнения текущего ремонта.

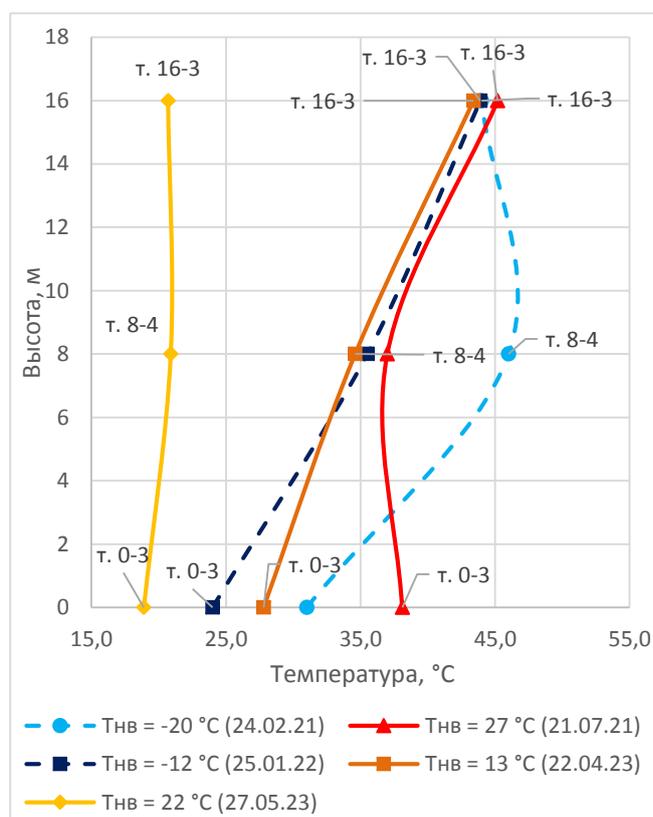


Рис. 6. Температура около турбоагрегата №3

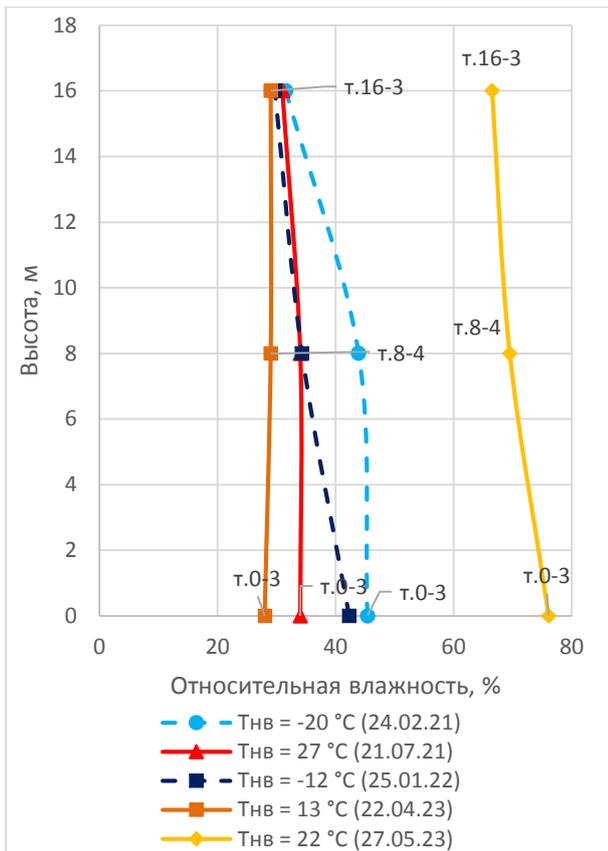


Рис. 7. Относительная влажность около турбоагрегата №3

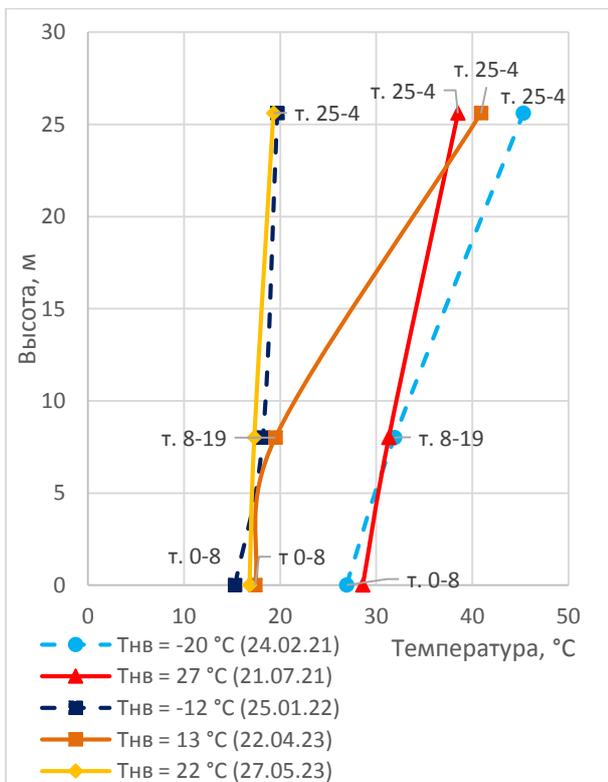


Рис. 8. Температура воздуха около котлоагрегата №8

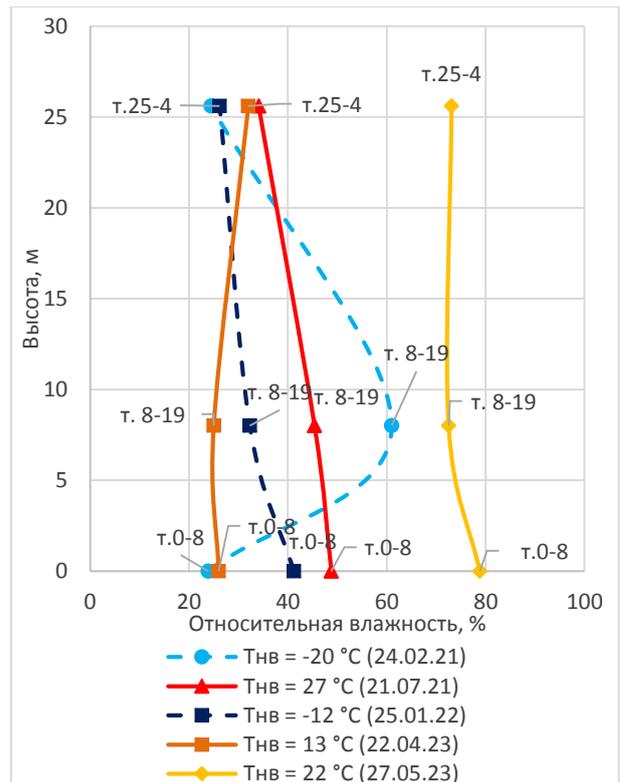


Рис. 9. Относительная влажность около котлоагрегата №8

Относительная влажность воздуха регулируется нормативными документами на рабочих местах персонала и не регулируется в объеме турбинного и котельного отделений. Во время работы ИВТЭЦ-2 и в теплый, и в холодный периоды года относительная влажность незначительно изменяется по высоте станции в интервале 30–45 % в турбинном отделении (рис. 7) и в интервале 25–50 % в котельном отделении (рис. 9). Увеличение относительной влажности до 60 % около котла №8 (рис. 9), которое зафиксировано 24 февраля 2021 года на отметке 8.00, очевидно, можно объяснить утечкой влажного пара от сепаратора непрерывной продувки паровых котлов №7-8, расположенного около точки замера 8-19 (см. рис. 3).

Экспериментальное определение дополнительных характеристик качества воздушной среды ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{PM}_{2.5}$ ,  $\text{tVOC}$ ) в объеме турбинного и котельного отделений показало:

- концентрация углекислого газа  $\text{CO}_2$  в турбинном отделении не превышает 65 %, а в котельном отделении этот показатель составляет не более 60 % от верхней границы допустимого значения;

- массовая концентрация микрочастиц  $\text{PM}_{2.5}$  в объеме турбинного и котельного отделений не превышает 75 % от допустимых по СанПиН значений<sup>7</sup>;

<sup>7</sup> СанПиН 1.2.3685-21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания. – М., 2021. – 452 с.

– показатель летучих органических соединений tVOC в котельном отделении также в норме и не превышает 85 % от максимально допустимого значения.

На трех из четырех работающих на ИвТЭЦ-2 турбоагрегатах (№№1, 2 и 4) установлены электрогенераторы номинальной мощностью 25 МВт с воздушным охлаждением. Электрогенератор турбины №3 более мощный (номинальная мощность 65 МВт) и поэтому охлаждается газобразным водородом, который находится под избыточным давлением 1 кгс/см<sup>2</sup>. При нарушении герметичности разъема корпуса турбогенератора может происходить утечка водорода. Перед остановкой турбогенератора №3 в текущий ремонт 27 мая 2023 г. зафиксирована максимальная утечка водорода, при которой показатель tVOC превысил норматив на отметке 8.00 в ~ 6,5 раз (рис. 10). Превышение показателя tVOC в ~ 2,3 раза на отметке 8.00 также зафиксировано и около турбогенератора №2 с воздушным охлаждением электрогенератора, расположенного рядом с турбиной №3 (рис. 11), что объясняется распространением текучего водорода от турбоагрегата №3 в воздушной среде турбинного цеха.

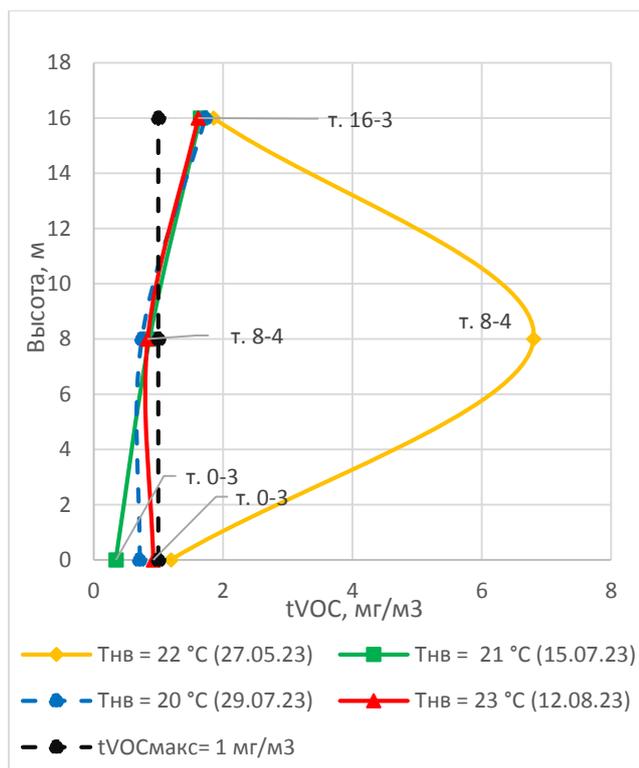


Рис. 10. Показатель tVOC около турбоагрегата №3

Особо отметим наличие летучих органических соединений (ЛОС) в воздухе на отметке 16.00 турбинного цеха и после вывода в ремонт турбогенератора №3 и, соответственно, отсут-

ствие водорода в атмосфере ТЭС. При этом показатель tVOC был превышен в ~ 1,65 раза (рис. 10 и 11). Данный факт можно объяснить испарениями машинного масла при повышенных температурах в системе маслоснабжения подшипников турбины.

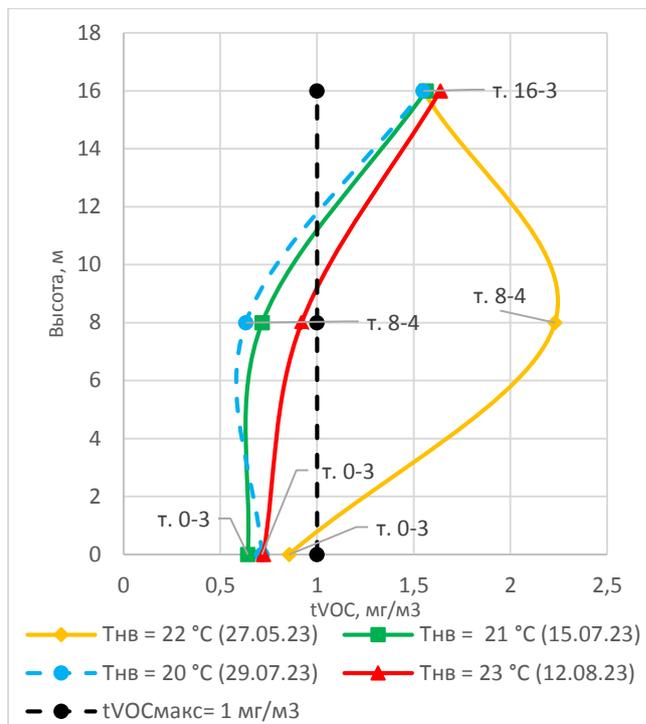


Рис. 11. Показатель tVOC около турбоагрегата №2

На рабочих местах персонала станции строго нормируются СанПиН<sup>8</sup> основные (температура и относительная влажность воздуха) и дополнительные (CO<sub>2</sub>, PM2.5, tVOC) показатели качества воздуха. На рис. 12 и 13 приведены экспериментальные значения температуры воздуха и относительной влажности на рабочих местах обслуживающего персонала за весь период наблюдения с февраля 2020 г. по август 2023 года. На рис. 12, 13 штриховыми линиями обозначены допустимые границы температуры воздуха и относительной влажности воздуха на рабочих местах постоянного пребывания сотрудников, установленные СанПиН [6]. Анализ полученных данных позволяет сделать однозначный вывод о грубом нарушении температурного и влажностного режимов на рабочих местах машинистов котлов и турбин. Отклонение от нормы составляет до 100 % и по температуре, и по влажности.

В период с мая по август 2023 г. на рабочих местах персонала ИвТЭЦ-2 осуществлен контроль дополнительных параметров микроклимата – содержания углекислого газа CO<sub>2</sub>,

<sup>8</sup> СанПиН 1.2.3685-21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания. – М., 2021. – 452 с.

содержания твердых микрочастиц PM 2.5 и концентрации летучих органических соединений tVOC. В результате измерений было установлено, что на рабочих местах персонала станции концентрация CO<sub>2</sub> не превышает 60–90 % от допустимого значения, показатель концентрации микрочастиц PM 2.5 430 в среднем равен 570 см<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>, что практически в два раза ниже требуемой нормы. Изменение показателя ЛОС за весенне-летний период наблюдений в 2023 г. показано на рис. 14. Заметим, что, несмотря на

утечки водорода от турбогенератора №3, на рабочих местах персонала показатель tVOC не превышает нормативного значения (точка 8-5), что свидетельствует о качественной организации воздухообмена на рабочем месте машиниста турбины. Однако значение показателя tVOC на рабочем месте машиниста турбины (точки 8-2 и 8-5) несколько превышает данный показатель на рабочем месте машиниста котла (точки 8-16, 8-17 и 8-18).

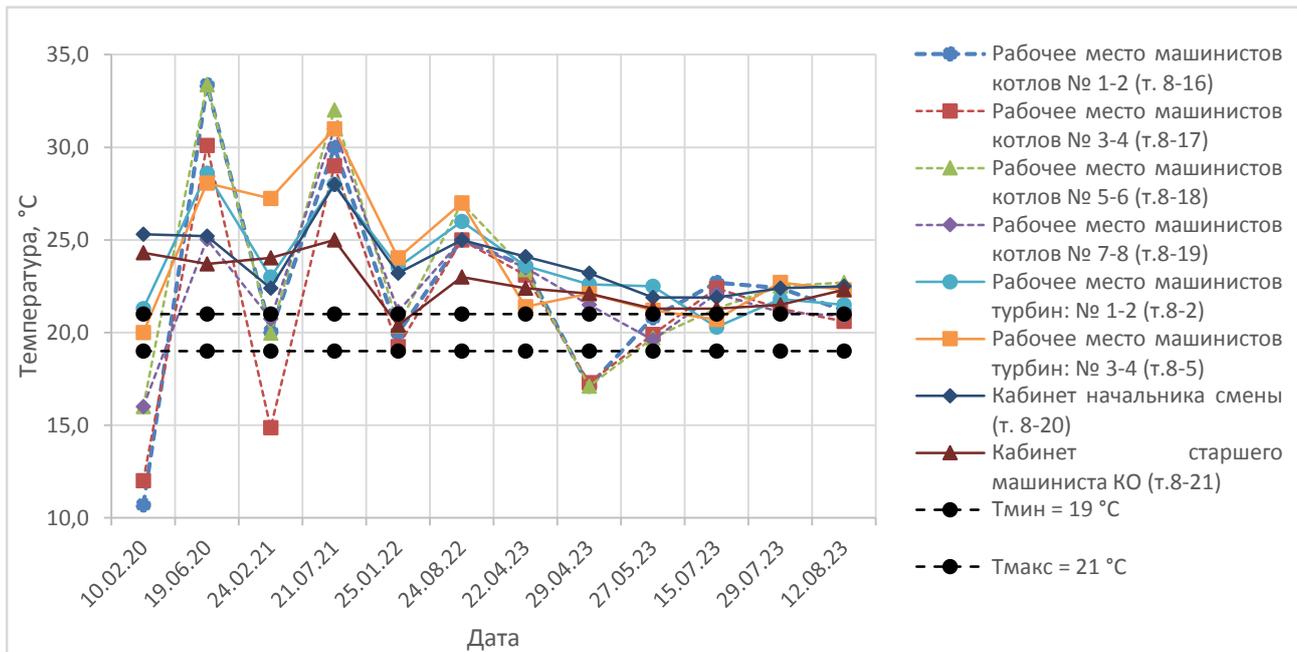


Рис.12. Температура воздуха на рабочих местах

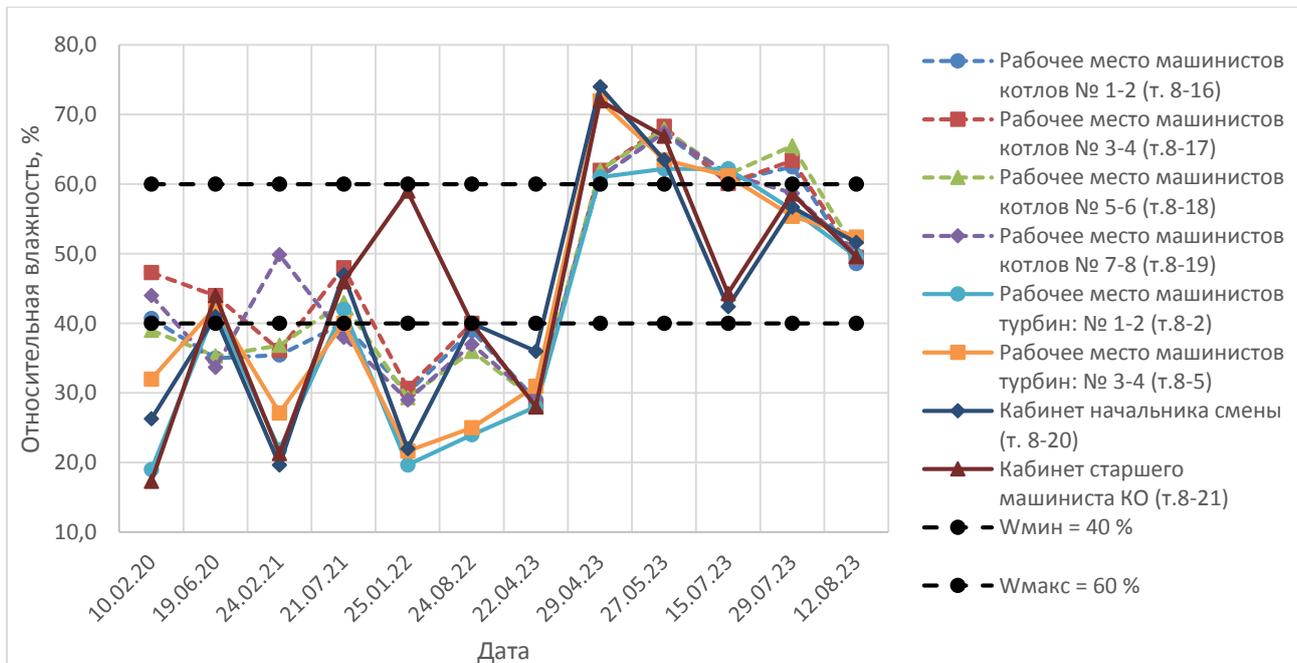


Рис.13. Относительная-влажность воздуха на рабочих местах

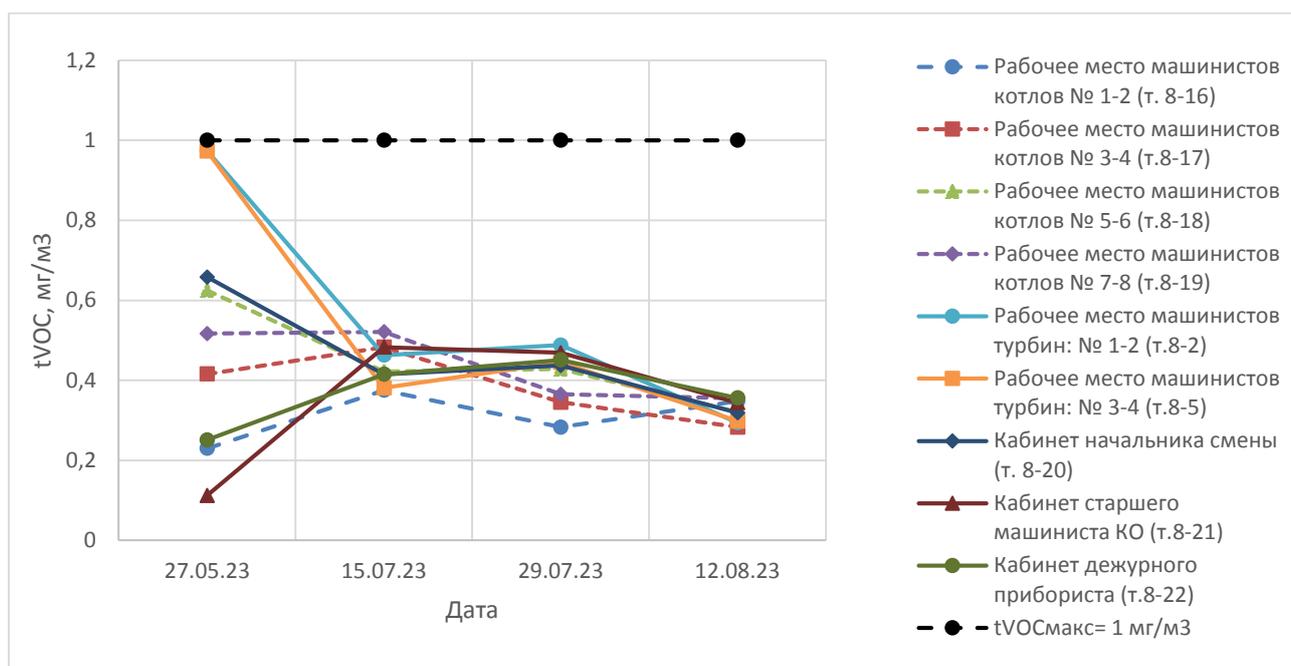


Рис. 14. Показатель tVOC на рабочих местах

**Выводы.** Экспериментальное исследование основных и дополнительных параметров микроклимата в турбинном и котельном отделениях главного корпуса Ивановской ТЭС-2 показало, что существует потенциал энергосбережения за счет уменьшения тепловых потерь от основного и вспомогательного оборудования станции.

Основные параметры микроклимата на рабочих местах персонала имеют существенные отклонения от нормативных значений по температуре и относительной влажности. При этом дополнительные параметры (концентрация углекислого газа, концентрация мелкодисперсных частиц и концентрация летучих органических соединений) на рабочих местах не превышают допустимых нормативных значений.

Экспериментально подтверждены утечки водорода из системы охлаждения электрогенератора №3 мощностью 65 МВт.

Экспериментальные данные о параметрах микроклимата могут быть использованы для расчета потенциала энергосбережения, разработки устройств и методов создания оптимального микроклимата на рабочих местах персонала и для проверки достоверности существующих и новых методов расчета микроклимата на ТЭС.

#### Список литературы

1. Мачкаши А., Банхиди Л. Лучистое отопление / пер. с венгерского; под ред. В.Н. Боголюбовского, Л.М. Махова. – М.: Стройиздат, 1985. – 464 с.
2. Бухмиров В.В., Ракутина Д.В., Гильмутдинов А.Ю. Совершенствование системы тепловозду-

снабжения главного корпуса ТЭС на основе математического моделирования // Вестник ИГЭУ. – 2011. – Вып. 1. – С. 4–7.

3. Бухмиров В.В., Пророкова М.В. Оценка микроклимата в помещениях жилых, общественных и административных зданий // Вестник ИГЭУ. – 2015. – Вып. 4. – С. 5–10.

4. Бухмиров В.В., Пророкова М.В. Энергосбережение и качество микроклимата // Вестник Череповецкого государственного университета. – 2015. – № 2. – С. 32–35.

5. Использование окон с регулируемым сопротивлением теплопередаче для повышения энергетической эффективности систем динамического микроклимата помещений / Н.Н. Смирнов, В.К. Пыжов, В.М. Захаров и др. // Вестник ИГЭУ. – 2016. – Вып. 6. – С. 26–42.

6. Старостин И.И., Гапонюк Н.А. Исследование микроклимата воздуха рабочих зон производственных помещений. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2016. – 22 с.

7. Кислицына В.В., Мотуз И.Ю., Штайгер В.А. Особенности микроклимата на рабочих местах работников топливно-энергетического комплекса // Инновационная наука. – 2016. – № 6-3. – С. 188–189.

8. Гарькавый К.А., Бегдай С.Н. Анализ эффективности микроклимата помещений // Энергосбережение и водоподготовка. – 2006. – № 6. – С. 76–77.

#### References

1. Machkashi, A., Bankhidi, L. *Luchistoe otoplenie* [Radiant heating]. Moscow: Stroyizdat, 1985. 464 p.
2. Bukhmirov, V.V., Rakutina, D.V., Gil'mutdinov, A.Y. *Sovershenstvovanie sistemy teplovozdukhosnabzheniya glavnogo korpusa TES na osnove matematicheskogo modelirovaniya* [Improving the heat and air supply system of the steam power station main building on the basis of mathematical modeling]. *Vestnik IGEU*, 2011, issue 1, pp. 4–7.
3. Bukhmirov, V.V., Prorokova, M.V. *Otsenka mikroklimate v pomeshcheniyakh zhilykh, obshchest-*

vennykh i administrativnykh zdaniy [Microclimate estimation in the rooms of residential, public and office buildings]. *Vestnik IGEU*, 2015, issue 4, pp. 5–10.

4. Bukhmirov, V.V., Prorokova, M.V. Energoberezhenie i kachestvo mikroklimata [Energy saving and microclimate quality]. *Vestnik Cherepovetskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2015, no. 2, pp. 32–35.

5. Smirnov, N.N., Pyzhov, V.K., Zakharov, V.M., Avdyunin, E.G., Lapateev, D.A. Ispol'zovanie okon s reguliruemym soprotivleniem teploperedache dlya povysheniya energeticheskoy effektivnosti sistem dinamicheskogo mikroklimata pomeshcheniy [Using windows with controlled heat transfer resistance to improve energy efficiency of dynamic indoor microclimate]. *Vestnik IGEU*, 2016, issue 6, pp. 26–42.

6. Starostin, I.I., Gaponyuk, N.A. *Issledovanie mikroklimata vozdukhа rabochikh zon proizvodstvennykh pomeshcheniy* [Study of air microclimate of working areas of industrial premises]. Moscow: MGTU im. N.E. Bauman, 2016. 22 p.

7. Kislitsyna, V.V., Motuz, I.Yu., Shtayger, V.A. Osobennosti mikroklimata na rabochikh mestakh rabotnikov toplivno-energeticheskogo kompleksa [Peculiarities of microclimate in the workplaces of Fuel and Energy Complex]. *Innovatsionnaya nauka*, 2016, no. 6-3, pp. 188–189.

8. Gar'kavyi, K.A., Begday, S.N. Analiz effektivnosti mikroklimata pomeshcheniy [Analysis of efficiency of indoor microclimate]. *Energoberezhenie i vodopodgotovka*, 2006, no. 6, pp. 76–77.