

УДК 614.842.847

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ДЫМОХОДОВ ПЕЧЕЙ

И. В. ПЕНЬКОВ, А. А. ЛАЗАРЕВ, О. Е. СТОРОНКИНА, А. А. ОСМОЛОВСКАЯ

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,

Российская Федерация, г. Иваново

E-mail: penkov_iv@37.mchs.gov.ru, oleg1968@mail.ru

Решение проблемы недопущения перекала печей при их топке является одним из направлений предупреждения пожара в малоэтажных жилых домах. Разработка и совершенствование средств пожарной автоматики необходимо осуществлять после проведения оценочных расчетов. Отсутствие формул, позволяющих рассчитывать температуру в технических средствах для мониторинга пожарной безопасности дымоходов печей, вынуждает проводить детальные расчеты. Вместе с тем, необходимо определить зависимости температуры от продолжительности теплового воздействия в различных точках опытных образцов, с учетом мест установки в них термодатчиков. Это будет влиять на время обнаружения перекала печи и реагирования для предотвращения возможного пожара. Такой подход позволит в перспективе включать улучшенное техническое средство в систему «умный дом».

Для проведения испытаний был собран стенд на базе установки для определения группы воспламеняемости строительных материалов. После измерения в четырех точках температуры устройства для определения пожарной опасности печных труб описаны эмпирические данные, которые позволяют проводить оценочный расчет при конструировании рассматриваемых устройств.

Полученные приближенные уравнения могут быть использованы для расчета температуры срабатывания устройств в зависимости от времени теплового воздействия на них. Полученные эмпирические зависимости обладают элементами научной новизны.

Ключевые слова: нагрев шамотного кирпича, устройство для определения пожарной опасности печных труб, перекал печей, уравнение, аппроксимация.

TEST RESULTS OF TECHNICAL MEANS FOR MONITORING FIRE SAFETY OF FURNACE CHIMNEYS

I. V. PENKOV, A. A. LAZAREV, O. E. STORONKINA, A. A. OSMOLOVSKAYA

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education

«Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation
for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,

Russian Federation, Ivanovo

E-mail: penkov_iv@37.mchs.gov.ru, oleg1968@mail.ru

Solving the problem of preventing furnaces from overflowing during their heating is one of the ways to prevent fires in low-rise residential buildings. The development and improvement of fire automation equipment must be carried out after carrying out estimated calculations. The lack of formulas for calculating temperature in technical means for monitoring the fire safety of furnace chimneys forces detailed calculations. It is required to obtain temperature dependences at various points for installing a thermocouple in the device on the duration of thermal exposure. This will affect the time it takes for the furnace to detect a fire and respond to prevent a possible fire. This approach will allow for the future inclusion of improved hardware in the smart home system.

For testing, a stand was assembled on the basis of an installation for determining the flammability group of building materials. After measuring the temperature of the device at four points to determine the fire hazard of the chimneys, empirical data are described. These data allow for an estimated calculation when designing the devices in question.

The obtained approximate equations can be used to calculate the operating temperature of the devices depending on the time of thermal exposure to them. The empirical dependences obtained have elements of scientific novelty.

Keywords: fireclay brick heating, a device for determining the fire hazard of chimneys, furnace rolling, equation, approximation.

Обеспечение пожарной безопасности при эксплуатации дымоходов (дымовых каналов, дымовых труб) во многом обусловлено недопущением перегрева печей. Запрет на данный перегрев установлен в пункте 80 Правил противопожарного режима¹ без каких-либо указаний на то, как его соблюсти. Возможным решением по выполнению данного пункта правил может быть установка устройства [1], предложенного для определения пожарной опасности печных труб. Однако возникает вопрос о необходимости определения момента времени, когда требуется прекратить топку печи в целях предотвращения её перегрева. Для подготовки ответа на данный вопрос требуется провести серию стендовых испытаний устройства [1].

Анализ публикаций показывает, что внимание исследователей неоднократно обращалось к средствам контроля температуры печей. Самойлов В. М., Овсянников Н. Е., Бубненко И. А., Степарёва Н. Н., Гареев А. Р., Фатеева М. А., Шило Д. В., Находнова А. В., Осмова М. А., Вербец Д. Б. определяли эффективную температуру работы высокотемпературных печей [2]. Гнездов Е. Н., Нагорная О. Ю., Ракутина Д. В., Журакова Т. Н., Корнев А. В. в рамках экспериментов измеряли температуру в блоке для укладки керамических изделий туннельной печи [3]. Нестеровым С. В. и Нестеровым А. В. изучались характеристики работы хлебопекарной печи ФТЛ-2 [4]. Сибгатуллин С. К., Харченко А. С., Девятченко Л. Д. оценивали условия использования доменной печи [5]. Шевяков В. В. занимался определением температур в топке бытовой печи [6]. Фогель Д. Ю. была предложена беспроводная

система измерения температуры трехзонной проходной печи [7]. Авторскими коллективами Академии ГПС МЧС России разрабатывались средства противопожарной защиты печей для промышленности [8, 9]. В Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России также изучались проблемы обеспечения пожарной безопасности печей [10, 11]. Однако, вопрос определения момента времени, когда требуется прекратить топку печи в целях предотвращения её перегрева, изучен не был.

Целью проведенного исследования являлось определение в рамках стендовых испытаний времени и температуры нагрева устройства [1] в зависимости от места установки термодатчиков внутри него.

Задачи исследования:

1. Определить составные элементы стенда и порядок проведения экспериментов для испытания опытных образцов устройства [1] из шамотного кирпича.

2. Установить закономерность изменения температуры внутри опытных образцов устройства [1] от времени нагрева и места установки термодатчиков внутри образца.

3. Определить универсальные уравнения для описания зависимости температуры внутри опытных образцов устройства [1] от времени нагрева и места установки термодатчиков внутри образца.

Методы исследования. Для проведения испытаний были созданы опытные образцы устройства [1], которые представлены на рис. 1. На рис. 1б) обозначена передняя сторона (1) образца устройства [1] и технологические отверстия (2) в нем.

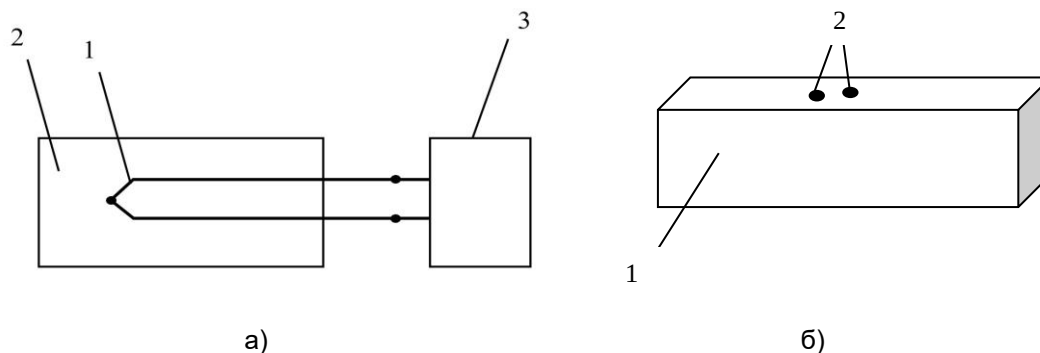


Рис. 1. Устройство для определения пожарной опасности печных труб [1]: а) схема: 1 – термопара, 2 – шамотный кирпич, 3 – блок автоматического управления, снабжённый интерфейсом; б) вид: 1 – передняя сторона, 2 – технологические отверстия.

¹Постановление Правительства РФ от 16.09.2020 №1479.

Испытания проводились в 2 этапа. Нагрев осуществлялся передней стороны образцов. На первом этапе измерения температуры внутри образцов осуществлялись на расстоянии 2,5 (первая точка) и 5 см (вторая точка) от нагреваемой передней стороны. На втором этапе – на расстоянии 7,5 (третья точка) и 10 см (четвертая точка) от передней стороны.

Для проведения экспериментов использовалась установка для определения воспламеняемости строительных конструкций (рис. 2) с учетом стандартной методики². Перед началом проведения исследований данная установка была откалибрована.

В ходе проведения экспериментов проводился нагрев опытных образцов устройства [1] до температуры 800 °С на установке для проведения стендовых испытаний. Данная температура была принята в соответствии с учетом результатов исследования [12]. Время достижения температуры нагревательного элемента

800 °С для всех образцов составляло 15 минут. По условиям эксперимента после начала нагрева каждого из образцов на первом этапе через 26 мин установка отключалась. В этот момент среднее значение температуры для первой точки была равна 98 °С, для второй: 40 °С, но температура некоторое время продолжала повышаться и ее среднее максимальное значение для первой точки составило 140 °С через 14 мин после отключения, а для второй точки – 72 °С через 28 мин.

На втором этапе после начала нагрева образцов через 60 мин установка отключалась. В этот момент среднее значение температуры для третьей точки была равна 103 °С, для четвертой точки – 72 °С. Температура продолжала расти и ее среднее максимальное значение для третьей точки составило 126 °С через 25 мин после отключения, а для четвертой точки – 72 °С через 33 мин.

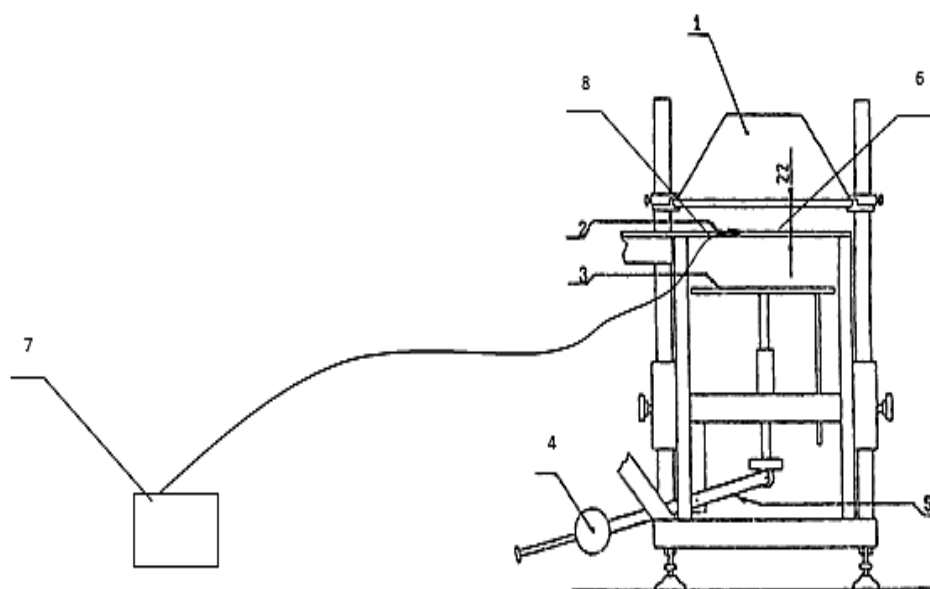


Рис. 2. Установка для проведения стендовых испытаний образца устройства [1]:
1 – радиационная панель, 2 – защитная плита, 3 – подвижная платформа для образца, 4 – противовес, 5 – рычаг, 6 – испытуемый образец, 7 – ТРИД ИСУ 144, 8 – термопара

Измерения температур внутри устройства [1] проводились через технологические отверстия при помощи термопар, подключенных к измерителю-сигнализатору четырехканальному ТРИД ИСУ 144. Результаты измерения представлены на рис. 3.

На рис. 3 видно, что зависимость $T = f(\tau)$ для обеих точек измерения носит полиномиальный (параболический) характер. После аппроксимации получены следующие уравне-

ния для расчета температуры в первой (T_1) и во второй (T_2) точках:

$$T_1 = -0,002 \tau_1^3 + 0,086 \tau_1^2 + 2,042 \tau_1 + 10,291 \quad (1)$$

$$T_2 = -0,001 \tau_1^3 + 0,083 \tau_1^2 - 1,102 \tau_1 + 28,166 \quad (2)$$

где τ_1 – время воздействия установки на устройство [1] на первом этапе проведения испытаний, мин. Коэффициент детерминации для уравнения (1) равен 0,959, для уравнения (2) $R^2 = 0,996$.

² ГОСТ 30402-96 Материалы строительные. Метод испытания на воспламеняемость.

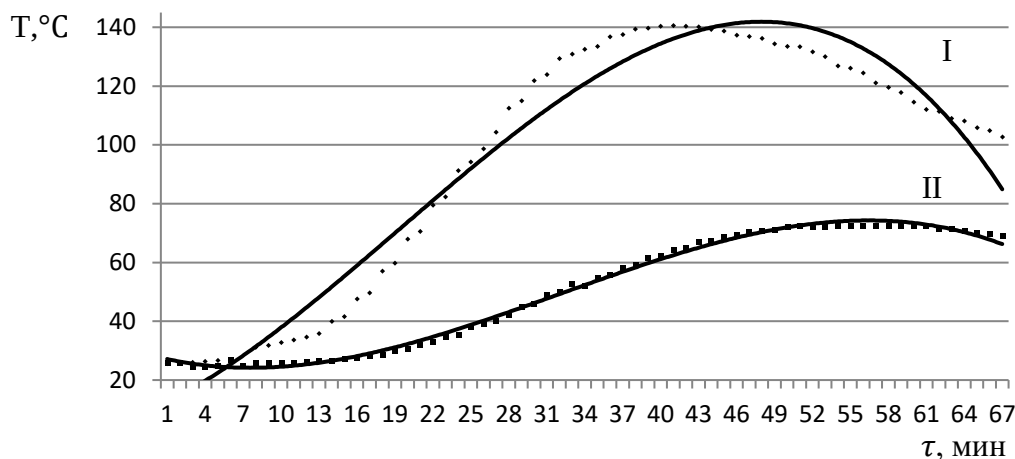


Рис. 3. Результаты стендовых испытаний устройства [1].

Зависимость температуры от времени нагрева (τ_1): I – в первой точке (T_1); II – во второй точке (T_2).

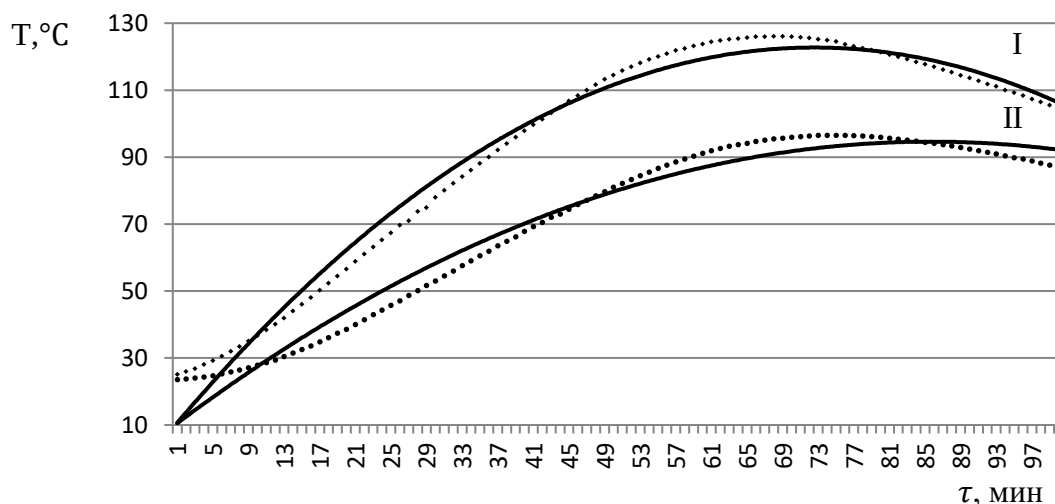


Рис. 4. Результаты стендовых испытаний устройства [1].

Зависимость температуры от времени нагрева (τ_2): I – в третьей точке (T_3); II – в четвертой точке (T_4).

На рис. 4 также видно, что зависимость $T = f(\tau)$ для обеих точек измерения носит полиномиальный (параболический) характер. После аппроксимации были получены следующие уравнения для расчета температуры в третьей (T_3) и в четвертой (T_4) точках:

$$T_3 = -0,022 \tau_2^2 + 3,176 \tau_2 + 7,5 \quad (3)$$

$$T_4 = -0,012 \tau_2^2 + 2,010 \tau_2 + 8,524 \quad (4)$$

где τ_2 – время воздействия установки на устройство [1] на втором этапе проведения испытаний, мин. Коэффициент детерминации для уравнения (3) равен 0,984, для уравнения (4) $R^2 = 0,974$.

Выводы:

1) установлены значения температур устройства [1] в четырех точках, где может быть смонтирована термopа на период его эксплуатации;

2) получены полиномиальные уравнения, которые позволяют показать зависимость изменения температуры от продолжительности теплового воздействия (погрешность аппроксимации не превышала 6 %), а также проводить оценочный расчет при конструировании устройств [1] различной модификации, в том числе при определении мест установки термopары внутри них;

3) установлено соответствие результатов экспериментов при сравнении с аналогичными эмпирическими данными в зарубежном исследовании [13].

Список литературы

1. Патент на полезную модель № 230796 U1 Российская Федерация МПК А 62 С 37/00, А 62 С 99/00, F 27 D 1/00. Устройство для определения пожарной опасности печных труб / И. А. Малый, И. Ю. Шарабанова, А. А. Лазарев [и др.]; опубл. 19.12.2024, Бюл. № 35. EDN: FDGQXU
2. Определение эффективной температуры обработки углеродных материалов в высокотемпературных печах по параметрам спектроскопии комбинационного рассеяния образцов-свидетелей / В. М. Самойлов, А. В. Находнова, М. А. Осмова [и др.] // Перспективные материалы. 2021. № 1. С. 67–84. DOI: 10.30791/1028-978X-2021-1-67-84. EDN: SMNJAW.
3. Экспериментальное определение температур в кирпичной садке туннельной печи / Е. Н. Гнездов, О. Ю. Нагорная, Д. В. Ракутина [и др.] // Вопросы тепломассообмена, энергосбережения и экологии в тепло-технологических процессах: сборник статей. Иваново: Ивановский государственный энергетический университет им. В. И. Ленина, 2003. С. 98–100. EDN: JAFYKC.
4. Нестеров С. В., Нестеров А. В. Определение динамических характеристик хлебопекарной печи ФТЛ-2 по каналу «расход топлива – температура основной зоны выпечки» по ее экспериментальной амплитудно-частотной характеристике // Инновации в индустрии питания и сервисе: электронный сборник материалов I Международной научно-практической конференции, посвященной 30-летию кафедры технологии и организации питания. Краснодар: Кубанский государственный технологический университет, 2014. С. 186–187. EDN TLWCRX.
5. Оценка неравномерности распределения шихтовых материалов в доменной печи / С. К. Сибагатуллин, А. С. Харченко, Л. Д. Девятченко // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. 2018. Т. 61, № 10. С. 766–773. DOI: 10.17073/0368-0797-2018-10-766-773. EDN: YNDMIH.
6. Шевяков В. В. Определение температур в топке бытовой печи // Universum: технические науки: электронный научный журнал. 2016. № 7 (28). С. 14. EDN: WFBPPP.
7. Фогель Д. Ю. Реализация беспроводной системы измерения температуры трехзонной проходной печи // Известия ЮФУ. Технические науки. 2008. № 11 (88). С. 202–205.
8. Федоров А. В., Рубцов Д. Н., Оспанов К. К. Контроль и поддержание параметров эффективного использования паровой завесы трубчатой печи // Пожары и возникновение ситуаций: предотвращение, ликвидация. 2023. № 2. С. 73–80. DOI: 10.25257/ФЗ.2023.2.73-80. EDN: CFLUSF.
9. Оспанов К. К., Федоров А. В., Кулькин Д. В. Автоматизация дистанционного контроля давления пара в системе паровой завесы технологической печи // Проблемы техносферной безопасности: материалы международной научно-практической конференции молодых учёных и специалистов. 2023. № 12. С. 190–195. EDN: BUMBJB.
10. Меликян М. Л., Пеньков И. В., Лазарев А. А. Модель совершенствования специальных технических условий по пожарной безопасности // Современные проблемы гражданской защиты. 2024. № 2(51). С. 65–73. EDN: MEDQMT.
11. Лазарев А. А., Пеньков И. В. О проблеме регулирования отношений в целях обеспечения пожарной безопасности печей и дымоходов при строительстве зданий // Наука и инновации в строительстве: сборник докладов VII Международной научно-практической конференции, посвященной 170-летию В. Г. Шухова. Том 2. Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова, 2023. С. 94–98. EDN: JTLUXY.
12. Пожарная опасность нетеплоемких дымовых каналов / В. А. Зуйков, Г. Т. Земский, Н. В. Кондратюк [и др.] // Пожарная безопасность. 2019. № 1. С. 92–95. EDN: YZZZLV.
13. A smart device of data acquisition with emergency safety features for laboratory furnaces M. Hassan, A. Bhattacharjee, Md. S. Azam [et al.]. Results in Engineering, 2023, vol. 19, p. 101357. DOI: 10.1016/j.rineng.2023.101357.

References

1. I. A. Maly, I. Yu. Sharabanova, A. A. Lazarev [et al.] Ustrojstvo dlya opredeleniya pozharnoy opasnosti pechnykh trub [Device for determining the fire hazard of stove pipes], Patent 230796 U1 (RU), Rossiyskaya Federatsiya IPC A 62 C 37/00, A 62 C 99/00, F 27 D 1/00. opubl. 19.12.2024, Byul. № 35. EDN: FDGQXU.
2. Opredeleniye effektivnoy temperatury obrabotki uglerodnykh materialov v vysokotemperaturnykh pechakh po parametram spektroskopii kombinatsionnogo rasseyaniya obraztsov-svideteley [Determination of the effective processing temperature of carbon materials in high-temperature furnaces based on the parameters of Raman spectroscopy of witness samples] / V. M. Samoilov, A. V. Nakhodnova, M. A. Osmova [et al.]. Perspektivnyye materialy, 2021, issue 1, pp. 67–84. DOI: 10.30791/1028-978X-2021-1-67-84. EDN: SMNJAW.
3. Eksperimental'noye opredeleniye temperatur v kirpichnoy sadke tunnel'noy pechi

[Experimental determination of temperatures in the brick load of a tunnel kiln] / E. N. Gnezdov, O. Yu. Nagornaya, D. V. Rakutina [et al.]. *Voprosy teplomassoobmena, energosberezheniya i ekologii v teplotekhnologicheskikh protsessakh: sbornik statey*. Ivanovo: Ivanovskiy gosudarstvennyy energeticheskiy universitet im. V. I. Lenina, 2003, pp. 98–100. EDN: JAFYKC.

4. Nesterov S. V., Nesterov A. V. *Opredeleniye dinamicheskikh kharakteristik khlebopekarnoy pechi FTL-2 po kanalu «raskhod topliva – temperatura osnovnoy zony vypechki» po yeye eksperimental'noy amplitudno-chastotnoy kharakteristike* [Determination of dynamic characteristics of the FTL-2 bread oven by the channel «fuel consumption – temperature of the main baking zone» according to its experimental amplitude-frequency characteristic]. *Innovatsii v industrii pitaniya i servise: elektronnyy sbornik materialov I Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy 30-letiyu kafedry tekhnologii i organizatsii pitaniya*. Krasnodar: Kubanskiy gosudarstvennyy tekhnologicheskiy universitet, 2014, pp. 186–187. EDN: TLWCRX.

5. Sibagatullin S. K., Kharchenko A. S., Devyatchenko L. D. *Otsenka neravnomernosti raspredeleniya shikhtovykh materialov v domennoy pechi* [Evaluation of uneven distribution of charge materials in a blast furnace]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Chernaya metallurgiya*, 2018, vol. 61, issue 10, pp. 766–773. DOI: 10.17073/0368-0797-2018-10-766-773. EDN: YNDMIH.

6. Shevyakov V. V. *Opredeleniye temperatur v topke bytovoy pechi* [Determination of temperatures in the firebox of a household stove]. *Universum: tekhnicheskiye nauki: elektronnyy nauchnyy zhurnal*, 2016, vol. 7 (28), p. 14. EDN: WFBPPB

7. Fogel D. Yu. *Realizatsiya besprovodnoy sistemy izmereniya temperatury trekhzonnoy prokhodnoy pechi* [Implementation of a wireless temperature measurement system for a three-zone continuous furnace]. *Izvestiya YUFU. Tekhnicheskiye nauki*, 2008, vol. 11 (88), pp. 202–205

8. Fedorov A. V., Rubtsov D. N., Ospanov K. K. *Kontrol' i podderzhaniye parametrov effektivnogo ispol'zovaniya parovoy zavesy*

trubchatoy pechi [Control and maintenance of parameters for the effective use of the steam curtain of a tubular furnace]. *Pozhary i vozniknoveniye situatsiy: predotvrashcheniye, likvidatsiya*, 2023, issue 2, pp. 73–80. DOI: 10.25257/FE.2023.2.73-80. EDN: CFLUSF.

9. Ospanov K. K., Fedorov A. V., Kulkin D. V. *Avtomatizatsiya distantsionnogo kontrolya davleniya para v sisteme paro-voy zavesy tekhnologicheskoy pechi* [Automation of remote control of steam pressure in the steam curtain system of a process furnace]. *Problemy tekhnno-sfernoy bezopasnosti: materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii molodykh ucho-nykh i spetsialistov*, 2023, issue 12, pp. 190–195. EDN: BUMBJB.

10. Melikyan M. L., Penkov I. V., Lazarev A. A. *Model' sovershenstvovaniya spetsial'nykh tekhnicheskikh usloviy po po-zharnoy bezopasnosti* [Model for improving special technical conditions for fire safety]. *Sovremennyye problemy grazhdanskoй zashchity*, 2024, vol. 2 (51), pp. 65–733. EDN: MEDQMT.

11. Lazarev A. A., Penkov I. V. *O probleme regulirovaniya otnosheniy v tselyakh obespecheniya pozharnoy bezopasnosti pechey i dymokhodov pri stroitel'stve zdaniy* [On the problem of regulating relations in order to ensure fire safety of furnaces and chimneys during the construction of buildings]. *Nauka i innovatsii v stroitel'stve: sbornik dokladov VII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy 170-letiyu V. G. Shukhova*, vol. 2. Belgorod: Belgorodskiy gosudarstvennyy tekhnologicheskiy universitet im. V. G. Shukhova, 2023, pp. 94–98. EDN: JTLUXY.

12. *Pozharnaya opasnost' neteployemkikh dymovykh kanalov* [Fire hazard of non-heat-intensive smoke channels] / V. A. Zuikov, G. T. Zemsky, N. V. Kondratyuk [et al.]. *Pozharnaya bezopasnost'*, 2019, issue 1, pp. 92–95. EDN: YZZZLV.

13. *A smart device of data acquisition with emergency safety features for laboratory furnaces* M. Hassan, A. Bhattacharjee, Md. S. Azam [et al.]. *Results in Engineering*, 2023, vol. 19, p. 101357. DOI: 10.1016/j.rineng.2023.101357.

Пеньков Иван Вячеславович

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново
адъюнкт адъюнктуры
E-mail: penkov_iv@37.mchs.gov.ru

Penkov Ivan Vyacheslavovich

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,
Russian Federation, Ivanovo
adjunct of the adjunct
E-mail: penkov_iv@37.mchs.gov.ru

Лазарев Александр Александрович

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново
кандидат педагогических наук, кандидат технических наук, доцент, начальник кафедры
E-mail: kpond@edufire37.ru

Lazarev Alexander Alexandrovich

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,
Russian Federation, Ivanovo
candidate of pedagogical sciences, candidate of technical sciences, associate professor, head of the department
E-mail: kpond@edufire37.ru

Сторонкина Ольга Евгеньевна

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново
кандидат химических наук, доцент, доцент кафедры
E-mail: oleg1968@mail.ru

Storonkina Ol'ga Evgen'evna

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,
Russian Federation, Ivanovo
candidate of chemical sciences, associate professor, associate professor at the department
E-mail: oleg1968@mail.ru

Осмоловская Анастасия Александровна

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
Российская Федерация, г. Иваново
преподаватель кафедры
E-mail: anastasia-2000.06@mail.ru

Osmolovskaya Anastasia Aleksandrovna

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,
Russian Federation, Ivanovo
lecturer at the department
E-mail: anastasia-2000.06@mail.ru