

Academia. Архитектура и строительство, № 2, стр. 142–147.

Academia. Architecture and Construction, no. 2, pp. 142–147.

Исследования и теория

Научная статья

УДК 697.92

DOI: 10.22337/2077-9038-2026-2-142-147

Обеспечение микроклимата фондохранилищ экспонатов культурного наследия

Шубин Игорь Любимович (Москва). Доктор технических наук, профессор, член-корреспондент РААСН. Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук. Эл. почта: niisf@niisf.ru

Стронгин Андрей Семёнович (Москва). Кандидат технических наук. Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук. Эл. почта: strongin@yandex.ru

Разаков Мухаммет Азатович (Москва). Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук. Эл. почта: RazakovMA@mpei.ru

Аннотация. В статье представлен обзор зданий и помещений, в которых можно размещать музейные экспозиции и необходимо поддерживать определённый микроклимат. Проводится численное компьютерное моделирование распределения воздуха в помещениях для хранения исторических артефактов. Определены поля скоростей воздуха в объёме помещения, выявлены непроветриваемые зоны и зоны с повышенными скоростями. Даются рекомендации по организации систем вентиляции и кондиционирования воздуха в помещениях с распределённым хранением больших экспонатов, а также в помещениях с рельсовыми системами для хранения картин.

Ключевые слова: вентиляция, компьютерное моделирование, культурное наследие, скорость воздуха, распределение воздуха

Для цитирования. Шубин И.Л., Стронгин А.С., Разаков М.А. Обеспечение микроклимата фондохранилищ экспонатов культурного наследия // Academia. Архитектура и строительство. 2026. № 2. С. 142–147. DOI: 10.22337/2077-9038-2026-2-142-147.

Microclimate Systems Problems for Storage Facilities of Cultural Heritage Exhibits

Shubin Igor L. (Moscow). Doctor of Sciences in Technology, Professor, Corresponding Member of RAACS. The Research Institute of Building Physics of Russian Academy of Architecture and Construction Sciences. E-mail: niisf@niisf.ru

Strongin Andrei S. (Moscow). Candidate of Science in Technology. The Research Institute of Building Physics of Russian Academy of Architecture and Construction Sciences. E-mail: strongin@yandex.ru

Razakov Muhammet A. (Moscow). The Research Institute of Building Physics of Russian Academy of Architecture and Construction Sciences. E-mail: RazakovMA@mpei.ru

Annotation. The article provides an overview of buildings and premises in which museum exhibitions can be placed, and it is necessary to maintain a certain microclimate. Numerical computer simulation of air distribution in rooms for storing historical artifacts is carried out. The air velocity fields in the volume of the room are determined, non-ventilated areas and areas with increased speeds are identified. Recommendations are given on the organization of ventilation and air conditioning systems in rooms with distributed storage of large exhibits. and also in rooms with rail systems for storing paintings.

Keywords: ventilation, computer modeling, cultural heritage, air velocity, air distribution

For citation. Shubin I.L., Strongin A.S., Razakov M.A. Microclimate Systems Problems for Storage Facilities of Cultural Heritage Exhibits. In: *Academia. Architecture and Construction*, 2026, no. 2, pp. 142–147, doi: 10.22337/2077-9038-2026-2-142-147.

Введение

Хранение художественных произведений, памятников материальной и духовной культуры, исторических документов регламентируется законом¹. Важным требованием указанного закона является строгое поддержание нормативных условий микроклимата в помещениях хранения. Задача современных инженеров – сохранить исторические артефакты и ценности для последующих поколений. В процессе хранения артефакты подвергаются различного рода воздействиям внешней среды, таким как окисление, переувлажнение, усушка и т.п. Системы обеспечения микроклимата необходимы для максимального продления жизни исторических ценностей [1].

Оценка эффективности систем обеспечения микроклимата может быть выполнена с помощью компьютерного моделирования.

В настоящей статье рассмотрена эффективность системы вентиляции и кондиционирования воздуха в помещениях хранения культурных исторических артефактов.

Согласно Инструкции по учёту и хранению музейных ценностей [2] все помещения должны быть оборудованы системами, поддерживающими требуемый тепло-влажностный режим (далее – ТРВ) в зависимости от индивидуальных условий хранения коллекций. Для исключения старения и разрушения музейных экспонатов не допускается установление единого универсального диапазона температуры и относительной влажности для всех видов коллекций. Для каждого помещения хранения необходимо разрабатывать алгоритм управления приточно-вытяжным оборудованием в зависимости от режима работы помещения.

Поддержание нормативных значений параметров микроклимата и качества воздуха в конечном счёте определяется распределением вентиляционных воздушных потоков в помещении. Рассчитывать распределение воздушных потоков можно путём проведения компьютерного моделирования [3], либо приближённым инженерным расчётом² [4]. Оценка тепловоздушного режима в помещении производится с помощью анализа распределения основных параметров микроклимата (скоростных, температурных и влажностных полей) по объёму помещения.

В качестве метода исследования выбрано компьютерное CFD-моделирование скоростных полей с помощью комплекса ANSYS.

¹ Федеральный закон от 26 мая 1996 г. № 54 «О Музейном фонде Российской Федерации и музеях в Российской Федерации» / Принят Государственной Думой 24.04.1996 г. (<http://www.kremlin.ru/acts/bank/9425>).

² Р НП АВОК 5.3.2-2020 «Рекомендации по подбору и расчёту воздухораспределительных устройств» (М. : АВОК, 2020. 36 с. ISBN: 978-5-98267-107-3).

Наиболее показательными являются музейные комплексы, в которых хранятся различные виды исторических ценностей. К ним можно отнести как художественные произведения (книги, картины, одежда и т.п.), так и древние предметы быта определённого исторического времени [2].

К каждому артефакту необходим индивидуальный подход, так как существует большое количество видов материалов, из которых изготовлены изделия. Показательным являются разновидности картин в зависимости от вида используемых красок. Для каждого из них необходим определённый вид микроклимата. Поэтому часто при поддержании микроклимата применяются локальные устройства, например, увлажнители [5]. В музеях и иных зданиях, в которых присутствуют исторические предметы (в том числе и сами здания) обычно применяются центральные системы кондиционирования воздуха [1]. В некоторых случаях их применение ограничено из-за особенностей планировки помещений и отсутствия при изначальном проектировании данных систем. К таким зданиям можно отнести общественные исторические здания, доходные дома и ряд других зданий [6; 7]. Для зданий, построенных в XX веке, возможно найти нестандартные решения в области обеспечения микроклимата. Так, например, в доме архитектора Мельникова существует механическая приточная система вентиляции, что для того времени, когда было построено здание, являлось большой редкостью [8].

Для музеев и зданий, в которых имеются исторические предметы, наиболее частой проблемой является усушка предметов. В исследовании Абрамкиной Д.В. отмечено, что это может приводить к повреждению картин. В статье [9] отмечается достаточная близость отопительных приборов и данных исторических ценностей.

Наиболее экстремальные воздействия на исторические предметы являются в храмах. В них из-за особенностей проводимых обрядов возможно возникновение сажи и копоти, что является дополнительным возмущающим воздействием на объекты культурного наследия при их наличии [10; 11].

Все вредные избытки (газовые соединения, тепло, влага) в помещениях удаляются с помощью приточно-вытяжных систем вентиляции и кондиционирования воздуха.

В данной работе рассмотрено уникальное здание фондохранилища, которое с позиции условий микроклимата сочетает несколько типов помещений – хранение, экспозиция и реставрация исторических ценностей. Материалы экспонатов различны – бронза, стекло, костный материал, дерево, краски, ткани и пр.

При выполнении предпроектных и проектных работ целесообразно использование инструментов компьютерного

моделирования. Наиболее популярным математическим пакетом для такого вида работ является программный комплекс ANSYS. В частности, комплекс применялся для определения варианта организации воздухообмена в музее [3].

Наиболее распространенными являются два типа хранения: размещение крупных экспонатов распределено по площади и по высоте помещения; размещение экспонатов на стеллажах. Далее рассмотрены примеры указанных типов помещений.

Моделирование воздушных потоков в помещении распределённого хранения крупных экспонатов

Крупные экспонаты из различных материалов распределяются по площади и по высоте хранилища. На рисунке 1 приведён пример помещения для хранения исторических люстр.

Для данного типа помещений наиболее опасно выдувание частиц изделий сильными воздушными потоками, перувлажнение или сильная усадка экспонатов. Поддержание определённых температурно-влажностных параметров обеспечивается равномерностью распределения воздушных потоков. Скорость приточного воздуха, истекающего из каждого воздухоораспределителя принята равной 3 м/с. На рисунке 2 приведены результаты моделирования аэродинамических потоков в исследуемом помещении.



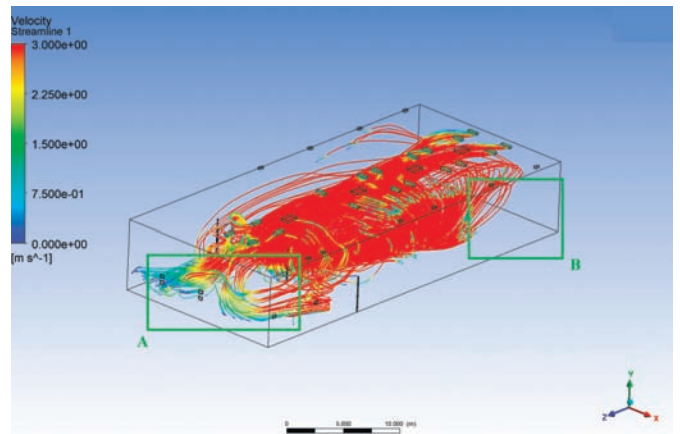
Рис. 1³. Помещение хранения исторических люстр (распределённое хранение)

В помещении наблюдаются как турбулизованные, так и застойные зоны. Для устранения турбулизованных и застойных зон наилучшим вариантом для данного помещения является изменение схемы подачи и удаления вентиляционного воздуха. Подачу приточного воздуха следует осуществлять в нижнюю зону помещения через низкоскоростные воздухоораспределительные устройства, реализуя принцип вытесняющей вентиляции. Удаление воздуха следует осуществлять из верхней зоны помещения. Аксонометрическая схема предлагаемой вентиляции приведена на рисунке 3.

Расчёт предлагаемой системы воздухоораспределения выполнен по инженерной методике⁴.

³ Статья проиллюстрирована авторскими рисунками и фотографиями.

⁴ Р НП АВОК 5.3.2-2020 «Рекомендации по подбору и расчёту воздухоораспределительных устройств» (М. : АВОК, 2020. 36 с. ISBN: 978-5-98267-107-3).



А – турбулированная зона; В – застойная зона

Рис. 2. Результаты моделирования аэродинамических потоков хранилища с распределённым размещением крупных экспонатов

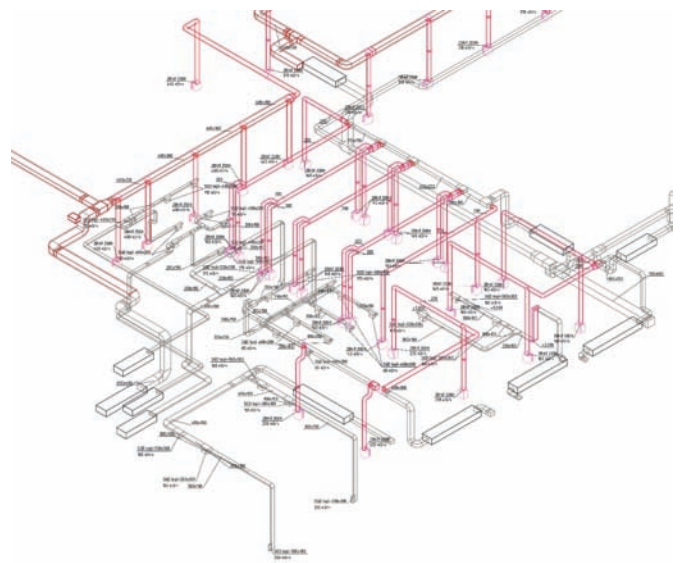


Рис. 3. Аксонометрическая схема подачи приточного воздуха в нижнюю зону помещения через низкоскоростные воздухоораспределительные устройства. Фрагмент

Общее количество приточного воздуха составляет 5320 м³/час. Для компенсации теплоизбытков в зал подаётся охлаждённый воздух с перепадом температур 3,0 °С. Предлагается установка воздухораспределителей для вытесняющей вентиляции диаметром 315 мм в количестве девяти штук. Количество воздуха, подаваемое каждым воздухораспределителем, составляет $L_0 = 0,166 \text{ м}^3/\text{с}$.



1 – картина; 2 – стеллаж с сеткой для картин;
3 – направляющие рельсы

Рис. 4. Хранение картин с помощью системы рельсовых сеточных стеллажей

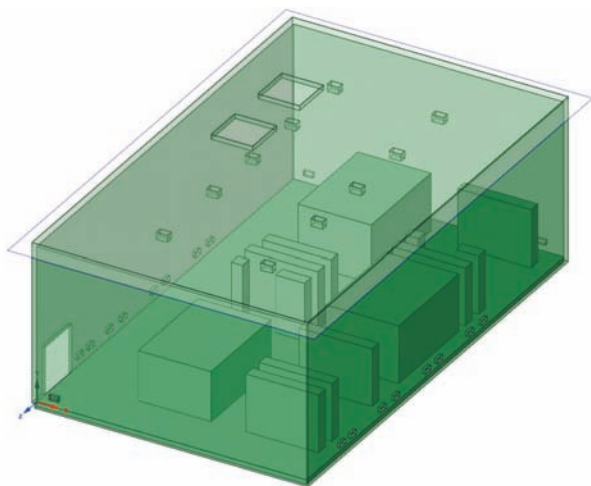


Рис. 5. Расчётная геометрическая модель исследуемого помещения с проектным расположением стеллажей для картин

Размеры обслуживаемого модуля помещения, выбранные из условия обеспечения равномерного распределения температуры и скорости воздуха в обслуживаемой зоне, приняты 4×4 м.

Расстояние от воздухораспределителя до обслуживаемой зоны – 2,0 м.

Нормируемая скорость воздуха на рабочем месте – 0,2 м/с.

Нормируемый перепад температур – 2,0 °С.

Характеристики воздухораспределителя:

– площадь расчётного сечения ВР $F_0 = 0,85 \text{ м}^2$;

– кинематический (или скоростной) коэффициент ВР $m = 1,5$;

– температурный коэффициент ВР $n = 1,4$;

Расчёты показали, что максимальная скорость воздуха по оси приточной струи на входе в обслуживаемую зону составляет 0,14 м/с, а перепад температур – 1,9 °С. Полученные величины не превышают нормируемых значений, расчёт можно считать законченным. Данные расчёта коррелируются с результатами CFD-моделирования, что позволяет их верифицировать с достаточной для инженерных расчётов точностью.

Моделирование воздушных потоков в помещении хранения живописи с рельсовой системой стеллажей

Хранение живописи является сложным технологическим процессом из-за разных компонентов лакокрасочных покрытий. Краски состоят из пигментов и связующих, которые бывают различны даже для картин из одной эпохи. Наравне с историческими особенностями создания произведений возникают требования к процессу хранения. Одним из способов организации процесса хранения является применение рельсовой системы сеточных стеллажей. На рисунке 4 показаны её элементы.

На рисунке 5 представлена расчётная геометрическая модель исследуемого помещения.

В ходе моделирования было принято, что выходная скорость приточных струй из воздухораспределителей одинакова и равна 4 м/с. Температура в помещении изменялась в пределах 1–1,5 °С из-за отсутствия сильных источников теплоты и не могла сильно влиять на аэродинамические показатели. В работе Шепелёва И.А. показатель изотермичности струи находится в диапазоне от 1,2 до 1,5 °С, то есть при значении разности температуры между струей и воздухом в помещении, находящейся в этом диапазоне, на неё не оказывает воздействие внешняя среда [13]. На рисунке 6 представлены результаты моделирования аэродинамических потоков в исследуемом помещении.

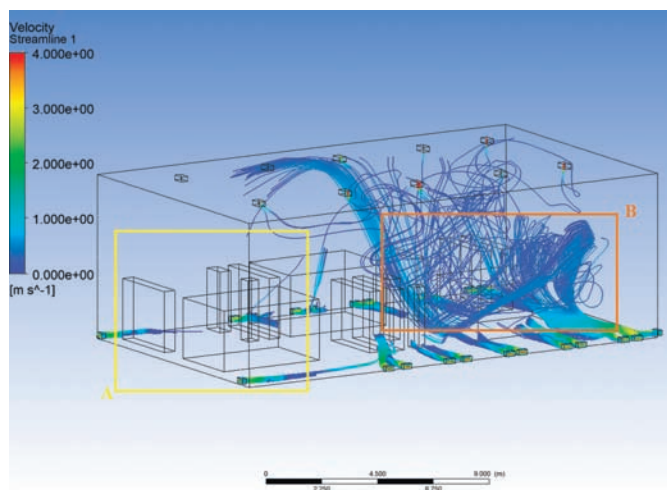
В ходе моделирования было определено, что в данном помещении возможно возникновение как застойных зон, так и зон интенсивной турбулизации потоков воздуха. Это в первую очередь зависит от расположения рельсовых стеллажей в помещении. Данный факт показывает, что необходим пересмотр функционирования вентиляции в помещении. Рекомендуется оставлять достаточное расстояние между

стеллажами, так как при их близком расположении они могут способствовать турбулизации воздушных потоков и возникновению застойных зон.

Наиболее целесообразно выполнить подачу приточного воздуха низкоскоростными распределителями, реализуя схему вытесняющей вентиляции. Это поможет сделать распределение скорости воздуха более равномерным и снизить возможность возникновения застойных зон. Модель распределения скоростей воздушных потоков в помещении для хранения картин с подачей воздуха в рабочую зону низкоскоростными потоками приведена на рисунке 7.

Выводы

Компьютерное моделирование воздушных потоков показало, что в исследованных помещениях наблюдаются схожие проблемы с обеспечением требуемых параметров микроклимата. Существуют как излишне турбулизованные,



А – застойная зона; В – турбулизованная зона

Рис. 6. Результаты моделирования аэродинамических потоков хранилища с рельсовой системой (подача воздуха в верхнюю зону помещения)

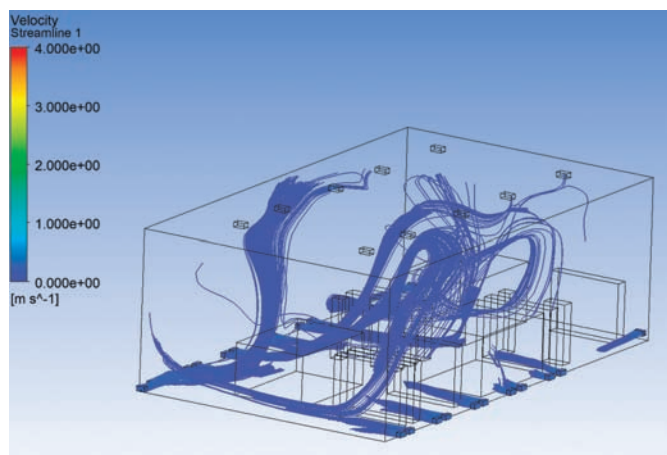


Рис. 7. Модель скоростей воздушных потоков в помещении для стеллажного хранения картин с подачей воздуха в рабочую зону низкоскоростными потоками

так и застойные зоны. Для устранения указанных проблем целесообразно реализовать схему вытесняющей вентиляции, подающей воздух в рабочую зону низкоскоростными потоками.

Список источников / References

1. Болотов, Е.Н. Сохранить наследие: микроклимат музеев / Е.Н. Болотов // АВОК: Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика. 2018. №. 1. С. 4-13.

Bolotov E.N. To Preserve the Heritage: Microclimate of Museums. In: *ABOK*, 2018, no. 1. URL: https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=6835 (Accessed 04/05/2026). (In Russ., abstr. in Engl.)

2. Музейное хранение художественных ценностей / Р.А. Девина, А.Г. Бредняков, Л. И. Душкина [и др.]. М. : ГосНИИР, 1995. 204 с.

Devina R.A., Brednyakov A.G., Dushkina L.I., Rebrikova N.L., Zaitseva G.A. Museum Storage of Artistic Treasures. Moscow, GosNIIR, 1995, 204 p. (In Russ.)

3. Абрамкина, Д.В. Обоснование выбора схемы организации воздухообмена в помещениях музея / Абрамкина Д.В., А.О. Иванова // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2018. № 11(719). С. 78–83.

Abramkina D.V., Ivanova A.O. Justification of Air Distribution Scheme in Museums. In: *News of Higher Educational Institutions. Construction*, 2018, no. 11 (719), pp. 78–83. (In Russ., abstr. in Engl.)

4. Шепелёв И.А. Аэродинамика воздушных потоков в помещении. М. : Стройиздат, 1978. – 146 с.

Shepelev I.A. Aerodynamics of Air Flows in the Room. Moscow, Stroyizdat Publ., 1978. 146 p.

5. Abramkina, D. Local Air Humidifiers in Museums / D. Abramkina, A. Ivanova. DOI 10.1007/978-3-030-19756-8_8 // International Scientific Conference Energy Management of Municipal Facilities and Sustainable Energy Technologies EMMFT 2018 : Conference proceedings info: EMMFT-2018. Vol. 1. P. 78–83. URL: <https://clck.ru/3TRCkJ> (дата обращения 04.05.2026).

Abramkina D., Ivanova A. Local Air Humidifiers in Museums. In: *International Scientific Conference Energy Management of Municipal Facilities and Sustainable Energy Technologies EMMFT 2018*, Conference proceedings info: EMMFT-2018, Vol. 1, pp. 78–83. URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-19756-8_8 (Accessed 05/04/2026). (In Engl.)

6. Натурные инженерные обследования объекта культурного наследия «Церковь Ильи Пророка с колокольней, 1650 г.» в городе Ярославле / Ю.А. Табунщиков, М.М. Бродяч, Н.В. Шилкин, А.Н. Чебан // Наука, образование и экспериментальное проектирование в МАРХИ : Тезисы докладов международной научно-практической конференции профессорско-преподавательского состава, молодых учёных и студентов.

Москва, 08–12 апреля 2019 года. Том 2. М. : Московский архитектурный институт (государственная академия), 2019. С. 188–190.

Tabunschikov Yu.A., Brodach M.M., Shilkin N.V., Cheban A.N. Field Engineering Surveys of a Cultural Heritage Site "The Church of Elijah the Prophet with a Bell Tower, 1650" in Yaroslavl. In: *Proceedings of International Scientific and Practical Conference of Faculty, Young Scientists and Students, Moscow, April 8–12, 2019*. Vol. 2. Moscow, Moscow Architectural Institute (State Academy) Publ., 2019, pp. 188–190. (In Russ.)

7. Разаков, М.А. Результаты применения энергосберегающих мероприятий в «доходных домах» Санкт-Петербурга / М.А. Разаков, Е.В. Рудакова, Г.А. Рябев // Сантехника, Отопление, Кондиционирование. 2019. № 2 (206). С. 79–81.

Razakov M.A., Rudakova E.V., Ryabev G.A. Results of Energy-Saving Measures in St. Petersburg Apartment Buildings. In: *Plumbing, Heating, Air-Conditioning*, 2019, no. 2 (206), pp. 79–81. (In Russ.)

8. Саргсян, С.В. Исследование инженерных систем и температурно-влажностного режима помещений Дома архитектора Мельникова / С.В. Саргсян, В.А. Шалунова // Сантехника, Отопление, Кондиционирование. 2020. № 2 (218). С. 52–58.

Sargsyan S.V., Shalunova V.A. Inspection of Heating and Ventilation Systems, Study of Temperature and Humidity Conditions of the Premises of the Architectural Monument "The Melnikov house" in Moscow. In: *Plumbing, Heating, Air-Conditioning*, 2020, no. 2 (218), pp. 52–58. (In Russ.)

9. Abramkina, D.V. Indoor Temperature Monitoring for Cultural Heritage / D.V. Abramkina, K.M. Agakhanova DOI 10.1088/1757-899X/775/1/012064 // IOP Conference Series:

Materials Science and Engineering. Т. 775. 2020. С. 012064. URL: <https://clck.ru/3TRDsG> (дата обращения 04.05.2026).

Abramkina D. V., Agakhanova K.M. Indoor Temperature Monitoring for Cultural Heritage. In: *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Vol. 775, 2020, p. 012064. DOI 10.1088/1757-899X/775/1/012064. URL: <https://clck.ru/3TRDsG>. 8 (Accessed 05/04/2026). (In Engl.)

10. Комплексное решение локализации загрязнений в процессе сгорания церковных свечей в православных сооружениях / А.И. Ерёмкин, А.Г. Аверкин, И.К. Пономарёва [и др.]. DOI 10.54734/20722958_2022_2_104 // Региональная архитектура и строительство. 2022. № 2 (51). С. 104–116.

Eremkin A.I., Averkina A.G., Orlova N.A., Mishin A.A., Mochalov A.V., Ponomareva I.K. Integrated Solution for Localization of Pollution in the Process of Combustion of Church Candles in Orthodox Buildings. In: *Regional Architecture and Engineering*, 2022, 2 (51). pp. 104–116. DOI 10.54734/20722958_2022_2_104. (In Russ., abstr. in Engl.)

11. Теоретические и экспериментальные исследования по определению массовой концентрации сажи и копоти в воздухе залов богослужения / А.И. Ерёмкин, А.Г. Аверкин, И.К. Пономарёва [и др.]. DOI 10.54734/20722958_2022_1_81 // Региональная архитектура и строительство. 2022. № 1 (50). С. 81–87.

Eremkin A.I., Averkina A.G., Mishin A.A., Mochalov A.V., Ponomareva I.K. Theoretical and Experimental Studies to Determine Mass Concentration of Soot in the Air of Worship Halls. In: *Regional Architecture and Engineering*, 2022, 1 (50), pp. 81–87. DOI 10.54734/20722958_2022_1_81. (In Russ., abstr. in Engl.)