



system [Methods and means of complex research and assessment of the technical condition of engineering systems equipment] : monografiya / Moscow: RUSAYNS, 2021. – 284 p. – ISBN 978-5-4365-8471-3. – URL : <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46384408&>.

2. Ilyukhin K. N., Moiseev B. V., Chekardovsky M. N., Chekardovsky S. M., Nalobin N. V. Energotekhnologicheskie komplekxy pri proektirovanii i ekspluatatsii oborudovaniya v sistemakh teplogazosnabzheniya [Energy technology complexes in the design and operation of equipment in heat and gas supply systems] – Tyumen, 2016. – 393 p. – ISBN: 978-5-91392-006-5. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25649054&>.

3. Chekardovsky M. N., Chekardovsky S. M., Chekardovskaya I. A., Mikhaylenko A. I. Research on thermodynamic parameters of a micro-turbine for standalone cogeneration // V sbornike: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2016. P. 012005.

4. Chekardovsky M. N., Chekardovsky S. M., Ilyukhin K. N. Methods for determining the thermodynamic parameters of gas compressor units of main gas pipelines // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2016. P. 012027.

5. Chekardovsky M., Chekardovsky S., Ilyukhin K., Gladenko A. Upgraded algorithm for calculating the turbo-expander of gas distribution stations // MATEC Web of Conferences. 2016. P. 01020.

© М. Н. Чекардовский, К. Н. Илюхин, С. М. Чекардовский, А. Ф. Шаповал, 2022  
Получено: 30.03.2022 г.

УДК 697.956:726.54

**А. И. ЕРЕМКИН<sup>1</sup>**, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой теплогазоснабжения и вентиляции; **А. Г. АВЕРКИН<sup>1</sup>**, д-р техн. наук, проф. кафедры теплогазоснабжения и вентиляции; **И. К. ПОНОМАРЕВА<sup>2</sup>**, канд. экон. наук, доц. кафедры информационного обеспечения управления и производства

### **РАЗРАБОТКА И АПРОБАЦИЯ МЕТОДИКИ РАСЧЕТА ВОЗДУХООБМЕНА НА ОСНОВЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ САЖИ И КОПОТИ В ВОЗДУХЕ ПРИ СГОРАНИИ ЦЕРКОВНЫХ СВЕЧЕЙ В ПРАВОСЛАВНЫХ КУЛЬТОВЫХ СООРУЖЕНИЯХ**

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства»  
Россия, 440028, г. Пенза, ул. Г. Титова, д. 28. Тел.: (8412) 92-94-10;  
эл. почта: [eremkin@pguas.ru](mailto:eremkin@pguas.ru)

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет»  
Россия, 440026, г. Пенза, ул. Красная, д. 40. Тел.: (8412) 66-63-80; эл. почта: [inna.ok007@rambler.ru](mailto:inna.ok007@rambler.ru)  
*Ключевые слова:* зал богослужения, свеча, пламя, продукты сгорания, копоть сажа, воздухообмен.

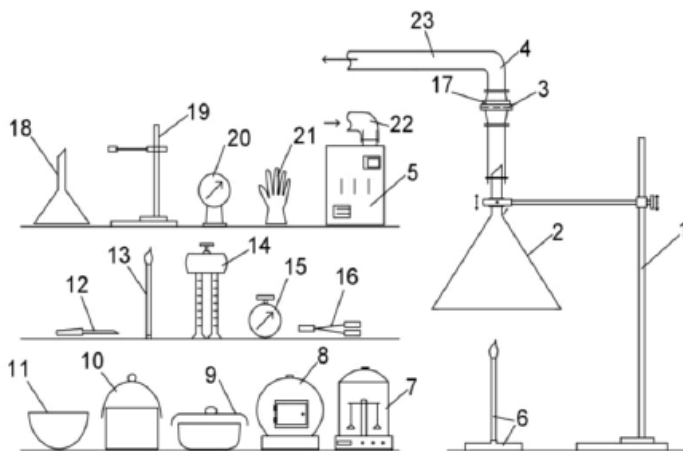
---

*Анализ имеющихся отечественных и зарубежных исследований позволяет сделать вывод, что до настоящего времени отсутствует методика определения концентрации копоти и сажи в воздухе зала богослужения и методика расчета воздухообмена для их ассимиляции. Решение данной задачи будет способствовать созданию комфортных условий для прихожан и персонала, сохранению историко-культурного наследия и убранства в залах богослужения православных культовых сооружений.*

Известно, что горящие свечи и лампадное масло являются обязательной атрибутикой обряда православного богослужения. Сажа и копоть при сгорании свечей и лампадного масла конвективными потоками разносятся внутри зала богослужения и в результате сорбции оседают на стенах, внутренних поверхностях убранства и интерьерах, нанося им существенный ущерб. В связи с этим защита архитектурных элементов, настенных росписей, икон, золочения, иконостаса, церковной утвари от копоти и сажи приобретает особую важность и актуальность. В настоящее время имеются исследования и данные только по определению вредностей в виде теплоты, влаги и углекислого газа при сгорании свечей, а также методы расчета воздухообмена для их ассимиляции.

Авторами статьи разработаны стенд (рисунок) и методика экспериментальных исследований для определения массовой концентрации копоти и сажи при сжигании свечей и расчет воздухообмена для их ассимиляции в залах богослужения соборов, храмов и церквей с учетом имеющейся нормативной базы [3, 6, 7, 11, 16].

Для проведения экспериментальных исследований использовалось следующее оборудование и материалы (ГОСТ Р ИСО 5725-1-2002 Государственный стандарт Российской Федерации. Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Федеральный закон «Об обеспечении единства измерений» от 26.06.2008 № 102-ФЗ): штатив с держателем; стеклянная воронка; фильтр бумажный – АФА-ВП-20-1,  $\Delta P = 1,8-1,4$  мм вод. ст.; бюкс; эксикатор, заполненный твердым осушителем; весы аналитические СартоГОСМ СЕ 124-С с пределами взвешиваний 200–0,00015 г; свечи парафиновые различных номеров (20, 40, 80, 120, 140) [1]; психрометр; барометр-анероид; секундомер; медицинские латексные перчатки; пинцет; аппарат для отбора проб воздуха «Воздух» (пробоотборник); сушильный шкаф лабораторный.



Экспериментальный стенд и оборудование для измерений массовой концентрации копоти и сажи при сжигании церковных свечей в храмах и соборах: 1, 19 – штатив; 2, 18 – стеклянная воронка; 3, 17 – фильтродержатель с бумажным фильтром; 4, 22, 23 – пластиковый воздуховод для соединения с воронкой, фильтром, пробоотборником; 5 – пробоотборник; 6, 13 – свеча; 7 – аналитические весы; 8 – муфельная печь; 9 – эксикатор; 10 – бюкса; 11 – фарфоровая чашка; 12 – шпатель; 14 – психрометр; 15 – секундомер; 16 – пинцет; 20 – барометр; 21 – медицинские перчатки



При подготовке к проведению экспериментов в лаборатории измерялись температура и относительная влажность внутреннего воздуха с использованием психрометра. В процессе работы использовались медицинские латексные перчатки. В начале эксперимента, с учетом температуры и относительной влажности воздуха, осуществлялась подготовка бумажного фильтра АФА-ВП-20-1,  $\Delta P = 1,8-1,4$  мм вод. ст. для исследования. Для определения массы бумажного фильтра его помещают в бюкс, который предварительно доводят до постоянного веса, затем бюкс с фильтром помещают в эксикатор на 30 минут и взвешивают на аналитических весах СартоГОСМ SE 124-С. После чего бумажный фильтр помещают в фильтродержатель и закрепляют в нем [8, 9, 12].

Выходной патрубков воронки при помощи пластиковой трубки соединяют с фильтродержателем. Загрязненный воздух копотью и сажей с помощью вентилятора пробоотборника, производительностью 35 л/мин (паспортные данные) прокачивается через фильтр. Для получения загрязненного воздуха снизу стеклянной воронки устанавливают парафиновую свечу. Предварительно свеча взвешивается на аналитических весах. Затем свеча поджигается и включается насос пробоотборника и секундомер. Сажа и копоть, образующиеся при сжигании свечи, оседают на поверхности бумажного фильтра и воронки.

По мере сгорания свечи от нижней кромки воронки до верха горячей свечи температура горения поддерживалась на постоянном уровне за счет периодического перемещения крепления и воронки на штативе.

По окончании контрольного времени сжигание свечей прекращается, отключается насос пробоотборника, фильтр из фильтродержателя извлекают пинцетом и помещают в бюкс, который предварительно доводят до постоянного веса. Бюкс с фильтром и осажденными на нем компонентами копоти и сажи помещают в эксикатор, где выдерживают до 30 минут, затем производится взвешивание бюкса с фильтром на аналитических весах для определения осаженных компонентов копоти и сажи. Далее, предварительно взвешенная на аналитических весах воронка повторно взвешивается с осаженными на стенках копотью и сажей.

На основе полученных экспериментальных исследований авторами разработана методика расчета объемной концентрации в твердой фазе сажи и копоти в воздухе помещения,  $C_2^v$ , мг/м<sup>3</sup>, образующихся при сжигании свечей в зале богослужения, определяется по формулам (1–3):

$$C_2^v = \frac{m_{sv} + m_{sf}}{L \cdot \tau_s}, \quad (1)$$

$$m_{sv} = m_1 - m_v, \quad (2)$$

$$m_{sf} = m_2 - m_f, \quad (3)$$

где  $m_{sv}$  – масса сажи и копоти, осажденные на поверхности воронки, мг;  $m_{sf}$  – масса сажи и копоти, отфильтрованные на поверхности фильтра, мг;  $m_1$ ,  $m_v$  – соответственно масса воронки с сажей и копотью, осаженные на его поверхности, и масса чистой воронки, мг;  $m_2$ ,  $m_f$  – соответственно масса фильтра с сажей и копотью, осаженные на его поверхности, и масса чистого фильтра, мг;  $L$  – объемный расход воздуха, прокачиваемый вентилятором пробоотборника через воронку и фильтр, м<sup>3</sup>/с.

Определение удельного расхода массы сажи и копоти при сгорании одной свечи  $C_{ud}$ , мг/г осуществляется по формуле (4):

$$C_{ud} = \frac{m_{sv} + m_{sf}}{m_s}, \quad (4)$$

где  $m_s$  – масса свечи, г.



Данный показатель  $C_{ud}$  рассчитывается при сгорании парафиновых свечей для каждого номера свечи [1]. Расчетный воздухообмен  $L_{ks}$  м<sup>3</sup>/ч для ассимиляции копоти и сажи в воздухе зала богослужения определяется по формуле (5):

$$L_{ks} = \frac{G_{ks}}{C_{yx} - C_{pr}}, \quad (5)$$

где  $G_{ks}$  – количество сажи и копоти, выделяющееся в воздух зала богослужения при сжигании свечей, мг/ч;  $C_{yx}$  – концентрация сажи и копоти в удаляемом воздухе из помещения, мг/м<sup>3</sup>;  $C_{pr}$  – концентрация сажи и копоти в приточном наружном воздухе, мг/м<sup>3</sup> ( $C_1 = 0,3$  ПДК, для сажи и копоти ПДК = 0,05 мг/м<sup>3</sup> СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания»).

Количество сажи и копоти, выделяющихся в зал богослужения при сжигании свечей, определяется по формуле (6):

$$G_{ks} = \frac{C_{ud} \sum m_s}{\tau_s}; \quad C_{yx} = \frac{C_{ud} \sum m_s}{V_v}, \quad (6.1, 6.2)$$

где  $\tau_s$  – время горения свечей, ч,  $V_v$  – внутренний объем зала Храма, м<sup>3</sup>.

Результаты теоретических и экспериментальных исследований по апробации разработанной методики расчета воздухообменов для ассимиляции копоти и сажи при сгорании свечей в залах богослужения представлены в табл. 1.

Приведенные в таблице данные позволяют рассчитать количество воздуха, необходимого для ассимиляции копоти и сажи, выделяющихся в зале богослужения при сжигании парафиновых свечей.

Апробация разработанной методики представлена в виде примера расчета требуемого объема воздухообмена для ассимиляции копоти и сажи, выделяющихся в православных культовых сооружениях (расчеты основаны на вышеприведенных результатах исследований).

#### Экспериментальные и расчетные данные по определению количества копоти и сажи в твердой фазе при сгорании парафиновых свечей в зале богослужения

Номер свечи	Масса одной свечи, г	Высота одной свечи, см	Время горения одной свечи, мин	Масса сажи и копоти при сгорании одной свечи, мг	Расход воздуха через пробоотборник при сжигании одной свечи, м <sup>3</sup> /с	Объемная концентрация сажи и копоти в воздухе, мг/м <sup>3</sup>
20	20	30	84,6	$1,4439 \cdot 10^3$	$5,83 \cdot 10^{-4}$	1962
40	10	26	73,8	$0,6986 \cdot 10^3$	$5,83 \cdot 10^{-4}$	983
80	5	18	51,4	$0,3698 \cdot 10^3$	$5,83 \cdot 10^{-4}$	528
120	3,3	15,5	45,1	$0,2341 \cdot 10^3$	$5,83 \cdot 10^{-4}$	330
140	2,86	15	40,9	$0,2073 \cdot 10^3$	$5,83 \cdot 10^{-4}$	289

Исходные данные на примере храма размером 40×30×14 метров: продолжительность богослужения – 1 час; количество сжигаемых парафиновых свечей (из расчета 10 подсвечников по 25 парафиновых свечей); количество прихожан – 250 чел. (одна свеча на одного человека), то есть общее количество свечей равно 500 шт.; масса одной свечи 5,0401 г (номер свечи 80).



Масса сажи и копоти, осажённые на поверхности воронки, рассчитываются по формуле (2):

$$m_{sv} = m_1 - m_v = 34,3493 - 34,0943 = 0,2550 \text{ г.}$$

Масса сажи и копоти, осажённые на поверхности фильтра, рассчитываются по формуле (3):

$$m_{sf} = m_2 - m_f = 0,1266 - 0,0118 = 0,1148 \text{ г.}$$

Объёмная концентрация сажи и копоти в воздухе храма рассчитывается по формуле (1):

$$C_2^v = \frac{m_{sv} + m_{sf}}{L \cdot \tau_s} = \frac{(0,2550 + 0,1148) \cdot 10^3}{35 \cdot 10^{-3} \cdot 20} = 528 \text{ мг/м}^3,$$

где 35 л/мин – производительность пробоотборника по отсасываемому воздушно-му потоку (рисунок); 20 мин – продолжительность работы пробоотборника.

Удельный расход массы сажи и копоти при сгорании одной парафиновой свечи рассчитывается по формуле (4):

$$C_{ud} = \frac{m_{sv} + m_{sf}}{m_s} = \frac{(0,2550 + 0,1148) \cdot 10^3}{5,0401 - 3,2959} = 212,02 \text{ мг/г,}$$

где  $(5,0401 - 3,2959) = 1,7442 \text{ г}$  – масса сгоревшей свечи.

Количество сажи и копоти, выделяющихся в храме во время богослужения, рассчитывается по формуле (6.1):

$$G_{ks} = \frac{C_{ud} \sum m_s}{\tau_s} = \frac{212,02 \cdot 500 \cdot 5,0401}{1} = 534301 \text{ мг/ч.}$$

На основе полученных данных для расчета воздухообмена определяем концентрацию копоти и сажи в удаляемом воздухе по формуле (6.2):

$$C_{yx} = \frac{C_{ud} \sum m_s}{V_v} = \frac{212,02 \cdot 500 \cdot 5,0401}{40 \cdot 30 \cdot 14} = 31,804 \text{ мг/м}^3.$$

Рассчитываем воздухообмен для ассимиляции копоти и сажи в зале богослужения по формуле (5):

$$L_{ks} = \frac{G_{ks}}{C_{yx} - C_{pr}} = \frac{534301}{31,804 - 0,3 \cdot 0,05} = 16\,807,4 \text{ м}^3/\text{ч,}$$

где  $0,05 \text{ мг/м}^3$  – предельно допустимая концентрация углерода.

Для сравнительного анализа рассчитаем воздухообмен для ассимиляции углекислого газа (двуокиси углерода) для аналогичных исходных данных. Количество углекислого газа, выделяющегося в помещении храма во время богослужения, рассчитывается по формуле (6.1):

$$G_{ks} = \frac{C_{CO_2} \sum m_s}{\tau_s} = \frac{16,47 \cdot 10^3 \cdot 500}{1} = 8\,253 \cdot 10^3 \text{ мг/ч,}$$

где  $16,47 \cdot 10^3 \text{ мг/ч}$  – количество углекислого газа, выделяющегося при сгорании одной парафиновой свечи, то есть за время богослужения (1 час) выделится  $16,47 \cdot 10^3 \text{ мг}$  углекислого газа.

При сгорании одной парафиновой свечи выделяется 9 л/ч углекислого газа [1] или  $9 \cdot 10^{-3} \cdot 1,83 \cdot 10^6 = 16,47 \cdot 10^3 \text{ мг/ч}$  (где  $1,83 \text{ кг/м}^3$  – плотность углекислого газа при  $t = 20 \text{ }^\circ\text{C}$  [17]).

На основе полученных данных для расчета воздухообмена определяем кон-



центрацию углекислого газа, выделяющегося в зале богослужения, по формуле (6.2):

$$C_{yx} = \frac{C_{CO_2} \sum m_s}{V_v} = \frac{8235 \cdot 10^3}{40 \cdot 30 \cdot 14} = 0,49 \cdot 10^3 \text{ мг/м}^3.$$

Необходимый воздухообмен для ассимиляции углекислого газа, выделяющегося в зале богослужения при сгорании свечей и от прихожан, рассчитывается по формуле (5):

$$L_{кс} = \frac{G_{кс}}{C_{yx} - C_{пр}} = \frac{8235 \cdot 10^3}{0,49 \cdot 10^3 - 0,3 \cdot 5} = 16\ 858 \text{ м}^3/\text{ч},$$

где  $0,49 \cdot 10^3 \text{ мг/м}^3$  – концентрация углекислого газа в удаляемом воздухе;  $5,0 \text{ мг/м}^3$  – предельно допустимая концентрация углекислого газа (СанПиН 1.2.3685-21).

Из приведенного расчета сравнительного анализа следует, что вредности, выделяющиеся в храме во время богослужения в виде сажи и копоти, требуют обеспечить расчетный воздухообмен в объеме  $16\ 807,4 \text{ м}^3/\text{ч}$ , практически такой же воздухообмен необходим для ассимиляции углекислого газа, который составляет  $16\ 838 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

Следовательно, проблема сохранения культурного наследия в залах богослужения остается актуальной, а именно: копоть и сажа совместно с углекислым газом наносят ощутимый ущерб убранству культового сооружения и здоровью прихожан. Существующую проблему можно решить путем разработки местной вытяжной системы вентиляции за счет улавливания и удаления из помещения вышеуказанных вредностей.

Проведенные авторами экспериментальные исследования позволяют сформулировать следующие выводы:

1. Проведен анализ выделяющихся вредностей, а именно копоти и сажи, образующихся при сжигании, и их отрицательного влияния на убранство и комфортные условия для прихожан и персонала в зале богослужения православных культовых сооружений.

2. Установлено, что для обеспечения комфортных климатических условий в зале богослужения воздухообмен рассчитывается только для ассимиляции теплоты, водяных паров и углекислого газа, образующихся при сгорании церковных свечей от прихожан и персонала, и не учитывается образование копоти и сажи в твердой фазе, которые находятся в воздухе и наносят существенный ущерб убранству, создавая дискомфортные условия для прихожан.

3. Анализ существующих исследований, а также справочная и нормативная литература позволяет сделать вывод, что в настоящее время отсутствуют теоретические и экспериментальные исследования по определению количества выделяющихся копоти и сажи в твердой фазе при сжигании свечей, а также отсутствуют и методы расчета воздухообмена для ассимиляции вредностей.

4. Обоснована актуальность проведенных экспериментальных исследований по разработке способа определения количества копоти и сажи в твердой фазе при сжигании свечей и методика расчета воздухообмена для их ассимиляции.

5. Для решения существующей проблемы авторами проведены исследования, разработан экспериментальный стенд и определена методика массовой концентрации копоти и сажи в твердой фазе для расчета воздухообмена в зале богослужения.

6. В результате теоретических и экспериментальных исследований разработана методика и получены формулы для расчета количества сажи и копоти в твердой фазе, находящейся в воздухе зала богослужения при сжигании парафиновых





свечей в зависимости от удельного расхода массы копоти и сажи, массы свечей, времени горения свечи.

7. Проведенные исследования позволили выявить формулы расчета воздухообмена для ассимиляции копоти и сажи в воздухе зала богослужения в зависимости от их количества и разности концентрации в приточном и удаляемом воздухе.

8. Впервые теоретически и экспериментально получены численные значения количества сажи и копоти в твердой фазе, образующиеся при сгорании парафиновых свечей в зале богослужения на основе апробации разработанной методики.

9. Полученные результаты исследований позволяют исключить отрицательное воздействие копоти и сажи в твердой фазе и газообразной форме и обеспечить сохранность историко-культурного наследия православных культовых сооружений.

10. Проведена апробация разработанной методики расчета воздухообмена для ассимиляции копоти и сажи, образующихся при сгорании парафиновых свечей, в виде практического решения.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Влияние на микроклимат количества людей с разной заполняемостью храмов / Т. В. Щукина, Н. А. Драпалюк, М. Н. Шерлыкина, М. А. Бойченко. – Текст : непосредственный // Сантехника, отопление, кондиционирование. – 2019. – № 11. – С. 66–69.

2. Кочев, А. Г. Микроклимат православных храмов : монография / А. Г. Кочев ; Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород : ННГАСУ, 2004. – 449 с. : ил. – ISBN 5-87941-343-8. – Текст : непосредственный.

3. Зяблов, А. Н. Аналитическая химия: учебно-методическое пособие / А. Н. Зяблов ; Воронежский государственный университет. – Воронеж : ВГУ, 2006. – 75 с. – Текст : непосредственный.

4. Кочев, А. Г. Системы кондиционирования микроклимата в православных храмах / А. Г. Кочев. – Москва : АВОК – ПРЕСС, 2009. – 230 с. – Текст : непосредственный.

5. Чем дышат храмы? – URL: <http://blagovest.ru/blog/chem-dyshathphramy> (дата обращения: 11.12.2021). – Текст : электронный.

6. Беляевская, О. Как защитить храм от сажи / О. Беляевская, И. Фомин. – Текст : непосредственный // Храмовоздатель. – 2013. – № 2. – С. 20–25.

7. Мачулин, Л. Золушка углеродного мира / Л. Мачулин. – Текст : непосредственный // Наука и жизнь. – 2021. – № 1. – С. 40–47.

8. Еремкин, А. И. Методика расчета воздухообмена системы кондиционирования воздуха вытесняющего типа в залах богослужения православных соборов / А. И. Еремкин, И. К. Пономарева. – Текст : непосредственный // Региональная архитектура и строительство. – 2020. – № 3. – С. 161–168.

9. Пути повышения качества микроклимата в зале богослужения Спасского кафедрального собора г. Пензы / А. И. Еремкин, И. К. Пономарева, К. А. Петрова, А. Г. Багдасарян. – Текст : непосредственный // Региональная архитектура и строительство. – 2020. – № 4. – С. 125–136.

10. Таршилов, Ю. Н. Анализ систем микроклимата для православных храмов / Ю. Н. Таршилов, Т. Н. Ильина. – URL: [https://www.elibrary.ru/download/elibrary\\_41549056\\_35663735.pdf](https://www.elibrary.ru/download/elibrary_41549056_35663735.pdf), свободный (дата обращения: 01.12.2021). – Текст : электронный.

11. Кеслер, М. Ю. Основы храмового строительства / М. Ю. Кеслер. – URL: <http://expsovet.ru/systems-engineering-provision-in-xr> (дата обращения: 01.12.2021). – Текст : электронный.

12. Бродач, М. М. Отопление соборов – практика альтернативных решений / М. М. Бродач. – URL: [https://www.abok.ru/for\\_spec/articles.php?nid=2342](https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=2342) (дата обращения: 01.12.2021). – Текст : электронный.



13. Михеева, Ю. Л. Влияние климатических факторов на температурно-влажностный режим ограждающих конструкций православных храмов XVIII–XIX веков / Ю. Л. Михеева. – Текст : непосредственный // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. – 2017. – № 1. – С. 20–29.

14. Михеева, Ю. Л. Результаты исследования температурно-влажностного режима Петропавловского собора г. Симферополь / Ю. Л. Михеева. – Текст : непосредственный // Промышленное и гражданское строительство. – 2017. – № 7. – С. 46–51.

15. Чебан, А. Н. Интеллектуальные системы управления зданиями православных храмов / А. Н. Чебан. – URL: <https://elima.ru/articles/?id=913> (дата обращения: 01.12.2021). – Текст : электронный.

16. Беляевская, О. Копоть в храме / О. Беляевская, И. Фомин. – Текст : непосредственный // Благоукраситель. – 2013. – № 39. – С. 30–35.

17. Варгафтик, Н. Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей / Н. Б. Варгафтик. – Москва : Наука, 1972. – 720 с. – Текст : непосредственный.

**EREMKIN Aleksandr Ivanovich<sup>1</sup>, doctor of technical sciences, professor, holder of the chair of heat and gas supply and ventilation; AVERKIN Aleksandr Grigorevich<sup>1</sup>, doctor of technical sciences, professor of the chair of heat and gas supply and ventilation; PONOMARYOVA Inna Konstantinovna<sup>2</sup>, candidate of economic sciences, associate professor of the chair of information support for management and production**

#### **DEVELOPMENT AND TESTING OF A METHOD FOR CALCULATING AIR EXCHANGE BASED ON DETERMINING THE SOOT CONCENTRATION IN THE AIR DURING THE BURNING OF CHURCH CANDLES IN ORTHODOX RELIGIOUS BUILDINGS**

<sup>1</sup>Penza State University of architecture and construction

28, G. Titova St., Penza, 440028, Russia. Tel.: +7 (8412) 92-94-10; e-mail: [eremkin@pguas.ru](mailto:eremkin@pguas.ru)

<sup>2</sup>Penza State University

40, Krasnaya St., Penza, 440026, Russia. Tel.: +7 (8412) 66-63-80; e-mail: [inna.ok007@rambler.ru](mailto:inna.ok007@rambler.ru)

*Key words:* worship hall, candle, flame, combustion products, soot, air exchange.

---

*The analysis of the available domestic and foreign studies allows to conclude that so far there is no method for determining the concentration of soot in the air of a worship hall and a method for calculating air exchange for their assimilation. The solution of this problem will contribute to the creation of comfortable conditions for parishioners and staff, the preservation of historical and cultural heritage and decoration in the halls of worship of Orthodox places of worship.*

---

#### REFERENCES

1. Schukina T. V., Drapalyuk N. A., Sherlykina M. N., Boychenko M. A. Vliyanie na mikroklimat kolichestva lyudey s raznoy zapolnyaemostyu khramov [Influence of the number of people on the microclimate with different occupancy of temples]. Santekhnika. Otoplenie. Konditsionirovanie [Plumbing. Heating. Conditioning]. 2019, № 11. P. 66–69.

2. Kochev A. G. Mikroklimat pravoslavnykh khramov [The microclimate of Orthodox churches] : monografiya. Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. Nizhny Novgorod, NNGASU, 2004, 449 p. : il. – ISBN 5-87941-343-8.

3. Zyablov A. N. Analiticheskaya khimiya [Analytical chemistry] : uchebno-metodich. posobie. Voronezh State University, Voronezh, 2006, 75p.

4. Kochev A. G. Sistemy konditsionirovaniya mikroklimata v pravoslavnykh khramakh





- [Microclimate conditioning systems in Orthodox churches]. Moscow, AVOK – PRESS, 2009, 230 p.
5. Chem dyshat khramy? [How do temples breathe?]. URL: <http://blagovest.ru/blog/chem-dyshat-phramy> (data obrascheniya: 11/12/2021).
6. Belyaevskaya O., Fomin I. Kak zaschitit khram ot sazhi [How to protect the temple from soot]. Khramozdatel [Temple builder]. 2013, № 2. P. 20-25.
7. Machulin L. Zolushka uglerodnogo mira [Cinderella of the carbon world]. Nauka i zhizn [Science and life]. 2021, № 1. P. 40–47.
8. Eremkin A. I., Ponomaryova I. K. Metodika raschyota vozdukhobmena sistemy konditsionirovaniya vozdukhа vytesnyayushego tipа v zalakh bogosluzheniya pravoslavnykh soborov [Method for calculating the air exchange of a displacement air conditioning system in the worship halls of Orthodox cathedrals]. Regionalnaya arkhitektura i stroitelstvo [Regional architecture and construction]. 2020, № 3. P. 161–168.
9. Eremkin A. I., Ponomaryova I. K., Petrova K. A., Bagdasaryan A. G. Puti povysheniya kachestva mikroklimate v zale bogosluzheniya Spasskogo kafedralnogo sobora g. Penzy [Ways to improve the quality of the microclimate in the worship hall of the Spassky Cathedral in Penza]. Regionalnaya arkhitektura i stroitelstvo [Regional architecture and construction]. 2020, № 4. P. 125–136.
10. Tarshilov Yu. N., Ilina T. N. Analiz sistem mikroklimate dlya pravoslavnykh khramov [Analysis of microclimate systems for Orthodox churches]. URL: [https://www.elibrary.ru/download/elibrary\\_41549056\\_35663735.pdf](https://www.elibrary.ru/download/elibrary_41549056_35663735.pdf), svobodny (data obrascheniya: 01/12/2021).
11. Kesler M. Yu. Osnovy khramovogo stroitelstva [Fundamentals of temple building]. URL: <http://expsovet.ru/systems-engineering-provision-in-xr/>, (data obrascheniya: 12/01/2021).
12. Brodach M. M. Otoplenie soborov – praktika alternativnykh resheniy [Heating of cathedrals – the practice of alternative solutions]. URL: [https://www.abok.ru/for\\_spec/articles.php?nid=2342](https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=2342), (data obrascheniya: 12/01/2021).
13. Mikheeva Yu. L. Vliyanie klimaticheskikh faktorov na temperaturno-vlazhnostny rezhim ograzhdayuschikh konstruktсий pravoslavnykh khramov XVIII–XIX vekov [Influence of climatic factors on the temperature and humidity regime of the enclosing structures of Orthodox churches of the XVIII–XIX centuries]. Biosfermaya sovmestimost: chelovek, region, tekhnologii [Biospheric compatibility: man, region, technologies]. 2017, № 1. P. 20–29.
14. Mikheeva Yu. L. Rezultaty issledovaniya temperaturno-vlazhnostnogo rezhima Petropavlovskogo sobora g. Simferopol [The results of the study of the temperature and humidity regime of the Peter and Paul Cathedral in Simferopol]. Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitelstvo [Industrial and civil construction]. 2017, № 7. P. 46–51.
15. Cheban A. N. Intellektualnye sistemy upravleniya zdaniyami pravoslavnykh khramov [Intellectual control systems for buildings of Orthodox churches]. URL: <https://elima.ru/articles/?id=913>, (data obrascheniya: 12/01/2021).
16. Belyaevskaya O., Fomin I. Kopot v khrame [Soot in the temple]. Blagoukrasitel [Decorator]. 2013, № 39. P. 30–35.
17. Vargaftik N. B. Spravochnik po teplofizicheskim svoystvam gazov i zhidkostey [Handbook on thermophysical properties of gases and liquids]. Moscow, Nauka, 1972, 720 p.

© А. И. Еремкин, А. Г. Аверкин, И. К. Пономарева, 2022

Получено: 30.03.2022 г.