



Влияние на микроклимат количества людей при разной заполняемости храмов

Рецензия эксперта на статью получена
01.11.2019 [Expert review on the article
received on November 1, 2019].

При строительстве или восстановлении культовых сооружений основное внимание, как правило, уделяется вопросам архитектурного сохранения исторического наследия либо существующих традиций в новых зданиях данного назначения. Часто при принятии решений по строительной части проектируемых или восстанавливаемых сооружений на первых этапах не уделяется достаточного внимания конструктивному исполнению инженерных систем.

Такая ситуация приводит к изменениям и переносам инженерного оборудования, а также к проблемам в обеспечении микроклимата помещений, а впоследствии и в тепловлажностных режимах наружных ограждений, негативно отражающихся на дальнейшей эксплуатации зданий.

Соборы, храмы и церкви, являясь высшим уровнем развития зодчества и национальной культуры строительства, в историческом прошлом русского православия возводились с применением передовых инженерных решений и новых

технологий. Куполообразная, оптимальная с точки зрения ветровой нагрузки и теплопотерь форма крыши, значительная толщина наружных ограждений, способствующая их долговечности и минимальному расходу топлива в отопительный период, рациональное сочетание усиливающей и приглушающей акустики, эффективная естественная вентиляция, организованная с учётом конвективных потоков воздуха.

Всё перечисленное было направлено на создание сооружений, поражающих возвышенностью и массивностью, величием и красотой, теплотой зимой и прохладой жарким летом.

Применяемые технические решения в первую очередь основывались на требуемой вместимости храмов, то есть на возможном присутствии при совершении праздничных литургий максимального количества людей. Ранее этот показатель в пересчёте на одного человека принимался от 0,25 до 0,6 м². Общепринятой в церковном строительстве норма площади на человека составляла 0,3 м².

УДК 697.922. Научная специальность: 05.23.03.

Влияние на микроклимат количества людей при разной заполняемости храмов

Т. В. Щукина, к.т.н., доцент; **Н. А. Драпалюк**, к.т.н., доцент; **М. Н. Жерлыкина**, к.т.н., доцент; **М. А. Бойченко**, студент магистратуры, Воронежский государственный технический университет (ВГТУ)

Рассматриваются тепло-, влаго- и газопоступления в храмах и церквях с учётом разного количества присутствующих людей на литургии и горящих свечей. Получены формулы для определения перечисленных поступлений от парафиновых свечей в зависимости от массы единичных экземпляров. Для реконструируемого храма Иоанна Предтечи при Покровском соборе в Воронеже рассчитаны выделения вредностей и воздухообмен на их ассимиляцию при разной заполняемости и с учётом средней статистики покупаемых номеров свечей. Получены выражения для укрупнённого определения общих тепло- и влаговыделений в зависимости от количества прихожан. Рекомендовано в реконструируемых и восстанавливаемых храмах использовать сплит и мультисплит системы кондиционирования воздуха, не нарушая эстетику фресок и расположения икон. Холодопроизводительность таких установок следует подбирать на обеспечение требуемых параметров микроклимата при заполняемости храмов менее 75 % от расчётной с учётом нормативных требований к индивидуальному объёму.

Ключевые слова: культовое сооружение, параметры микроклимата, температурно-влажностный режим помещения, климатические условия, аэродинамика здания, сопротивление теплопередачи конструкции, отопление, вентиляция, кондиционирование, свеча, прихожане.

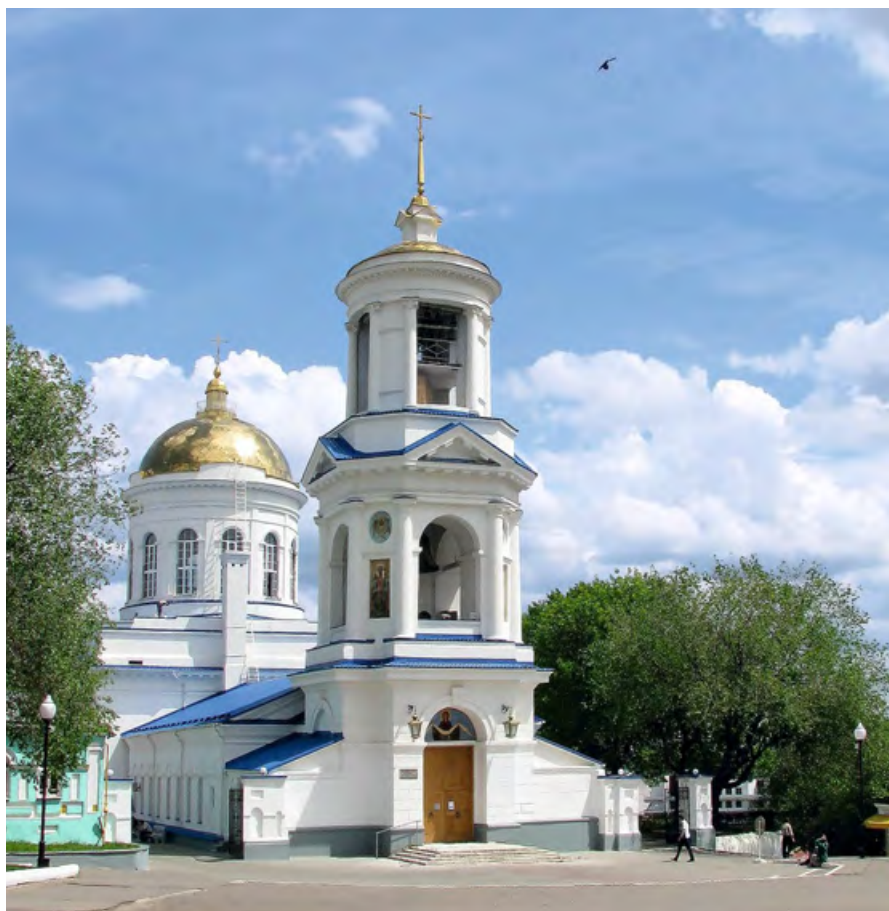
UDC 697.922. The number of scientific speciality: 05.23.03.

Influence on the microclimate of the number of people at different occupancy temples

T. V. Shchukina, PhD, Associate Professor; **N. A. Drapalyuk**, PhD, Associate Professor; **M. N. Zherlykina**, PhD, Associate Professor; **M. A. Boichenko**, graduate student, Voronezh State Technical University (VSTU, Voronezh city)

Heat, water and gas supply in temples and churches are considered, taking into account the different number of people present at the Liturgy and burning candles. The formulas for determining the above-listed proceeds from paraffin candles depending on the mass of single instances. For the reconstructed Church of St. John the Baptist at Pokrovsky Cathedral in the Voronezh city is designed of harmful emissions, and air exchange for their assimilation at different occupancy rates and given the average statistics of bought room of candles. Expressions for summary determine the total heat and moisture depending on the number of parishioners. It is recommended to use split and multi-split air conditioning systems in reconstructed and restored churches without disturbing the aesthetics of frescoes and the location of icons. The cooling capacity of such installations should be selected to ensure the required parameters of the microclimate with the occupancy of temples less than 75 % of the calculated taking into account the regulatory requirements for individual volume.

Keywords: religious building, microclimate parameters, temperature and humidity conditions of the room, climatic conditions, aerodynamics of the building, heat transfer resistance of the structure, heating, ventilation, air conditioning, candle, parishioners.



✚ Покровский собор в городе Воронеже (на ул. Бехтерева) постройки 1833–1841 годов

Крайне редким явлением бывает переполненность храмов, которая характерна для толпы, тогда индивидуальная площадь прихожан может сократиться до 0,17 м². Все перечисленные значения площадей имеют заниженное ограничение, что в конечном итоге не способствует комфортному пребыванию на литургии. В настоящее время нормативный показатель индивидуального объема для человека в храме составляет не менее 4 м³ [1], что при стандартном размере рабочей зоны соответствует площади 2 м².

Однако приведенное значение регламентируется с учетом высоты помещений и при строительстве, казалось бы, устраняет при плотной заполняемости проблему дискомфорта, в том числе и температурно-влажностного характера, но в густонаселенных районах при небольшом количестве церквей окончательно её не решает. Поэтому восстановление, реконструкция и новое строительство культовых сооружений требует решения наряду с архитектурно-строительными и теплофизическими задач, а главное, их взаимоувязку.

Среди факторов, оказывающих влияние на параметры микроклимата в помещениях соборов и храмов, следует отметить основные: климатические условия эксплуатации сооружений, аэродинамика церквей и сложных строительных конструкций, сопротивление теплопередачи

наружных ограждений, расположение отопительных приборов и регулирование теплоотдачи, наличие систем естественной и механической вентиляции, а также кондиционирования воздуха, количество прихожан, число зажженных свечей и лампад.

Нестационарность как внешних факторов воздействия, так и внутренних условий может привести к негативным последствиям, первым проявлением которых является ухудшение показателей микроклимата. Это связано с большим количеством прихожан на литургии

Достаточно значительное влияние на микроклимат помещений оказывают оконные проёмы, основное назначение которых состоит в поддержании требуемой освещённости и возможности визуального контакта с окружающей средой. Посредством открытия створок окон может быть обеспечен неорганизованный воздухообмен [2–4], необходимый для проветривания либо поступления свежего наружного воздуха при значительном количестве присутствующих людей. Площадь остекления в храмах, как правило, составляет 2–3 % в соотношении к огра-

ждающим конструкциям, поэтому влияние в летние месяцы солнечной радиации, проникающей через окна, на тепловой баланс помещений незначительно [5].

Все перечисленные факторы в совокупности формируют температурно-влажностные режимы храмов и церквей, которые необходимо поддерживать на заданном уровне [6], комфортном не только для прихожан, но главное для сохранности фресок и икон. Чтобы обеспечить требуемые показатели воздушной среды внутри помещений, в процессе проектирования должны быть решены и согласованы задачи и вопросы, среди которых в первую очередь следует отметить:

- установить влияние климатических воздействий на здание и возможные негативные последствия, проявляемые при длительной эксплуатации;
- спрогнозировать аэродинамику и конвекцию потоков воздуха в ограниченном объеме помещений и вне здания;
- выявить возможные изменения в закономерностях процессов теплопередачи через наружные ограждения зданий и в инженерных системах обеспечения микроклимата;
- рассмотреть режимы эксплуатации здания для регулирования работы систем отопления, вентиляции, кондиционирования воздуха, в том числе с учетом нестационарности метеоусловий и заполняемости помещений в зимние и летние периоды года;
- обосновать обеспеченность и оптимизацию микроклимата в сооружении.

Нестационарность как внешних факторов воздействия, так и внутренних условий может привести к негативным последствиям, первым проявлением которых является ухудшение показателей микроклимата, ощутимое для присутствующих людей. Это прежде всего связано с большим количеством прихожан на литургии, что по статистике может происходить один или два раза в неделю. Снижение концентрации кислорода, а также поступление избыточной теплоты и влаги происходит не только по причине присутствия людей, но и из-за обилия горящих свечей и лампад.

Потребление кислорода, тепло- и влаговыделения человеком, в зависимости от его возраста и рода деятельности, достаточно хорошо изучены, поэтому имеются обширные данные [7–9], позволяющие определить изменения общих показателей в зависимости от заполняемости залов. Сложность возникает в расчетах воздействия на внутреннюю среду храмов открытого пламени большого количества горящих свечей различной массы [10].

Технология производства самой популярной продукции из парафина и воска регламентирует количество производимых из 1 кг сырья свечей в зависимости от размера и веса единичных экземпляров (табл. 1) [11]. Низшая теплота сгорания парафина равна 46,81 МДж/кг [11, 12], но размеры и масса свечей в партии, выпускаемой из 1 кг, влияют на время сжигания, что приводит к различным тепловыделениям в пересчёте на единицу продукции (табл. 2). Кроме того, при сгорании 1 кг парафина образуется 1,3 кг/кг влаги и 1650 л/кг углекислого газа [11, 12].

Поскольку сведения по времени сжигания имеются для наиболее широко используемых в церковном служении номеров свечей (табл. 1), то, аппроксимируя указанные данные в пересчёте на единичную продукцию и получая нижеприведённые зависимости, можно определить тепло-, влаго- и газовыделения по массе продаваемых в храмах свечей:

$$q = 23,074 + 13,681m - 0,938m^2 + 0,0207m^3, \quad (1)$$

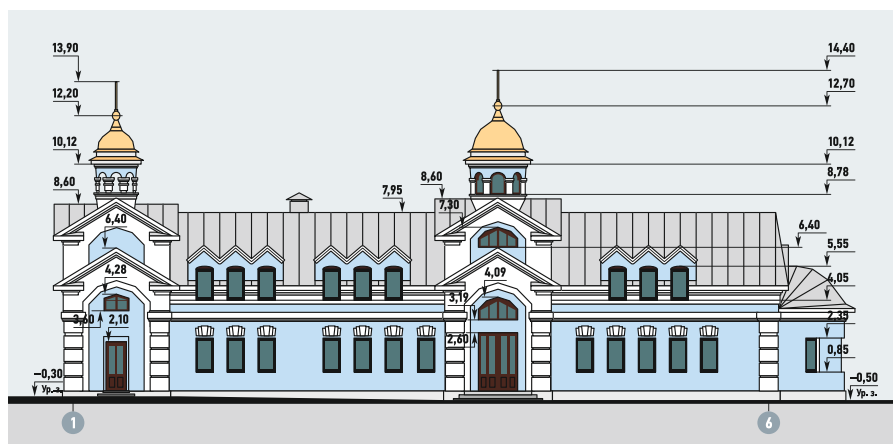
$$g = 2,7126 + 1,218m - 0,0778m^2 + 0,0016m^3, \quad (2)$$

$$g_{CO_2} = 2,9776 + 1,7145m - 0,1167m^2 + 0,0026m^3, \quad (3)$$

где q — тепловой поток от горящей свечи, Вт; g — влага, выделяемая при горении одной свечи, г/ч; g_{CO_2} — количество угле-



... Фото 1. Реконструируемый храм Иоанна Предтечи при Покровском соборе в Воронеже



... Рис. 1. План фасада храма Иоанна Предтечи с отметками высот

... Параметры свечей, производимых из 1 кг парафина

№ свечи	Кол-во свечей в пачке, шт.	Вес одной свечи, г	Высота, см	Время горения, мин.
20	50	20	30	180
40	100	10	26	90
80	200	5	18	55
120	300	3,3	15,5	45
140	350	2,86	15	40

табл. 1

... Показатели процесса горения церковных свечей

№ свечи	Тепловыделения при горении, Вт		Влаговыведения, кг/ч		Поступление углекислого газа, л/ч	
	1 кг	одной свечи	1 кг	одной свечи	1 кг	одной свечи
20	4334	86,7	0,433	0,0087	550	11
40	8669	86,7	0,867	0,0087	1100	11
80	14185	70,9	1,418	0,0071	1799	9,0
120	17337	57,8	1,733	0,0058	2200	7,3
140	19504	55,7	1,949	0,0057	2474	7,1

табл. 2

... Тепло- и влаговыведения при разной заполняемости храма

Заполнение храма, %	Кол-во человек	Кол-во свечей, шт.	Тепловыделения, Вт	Влаговыведения, кг/ч	Требуемый расход воздуха, кг/ч
5	4	16	1418	0,3048	1042
25	20	80	7137	1,5284	4144
50	39	156	13908	2,9795	6859
75	56	224	19993	4,2804	8568
100	78	312	27848	5,9621	10335
125	98	392	34985	7,4904	11450
150	117	468	41740	8,9399	12317

табл. 3

кислого газа, образующегося при горении одной свечи, л/ч; m — масса свечи, г.

Для того чтобы оценить влияние на микроклимат возможное увеличение количества прихожан и, соответственно, горящих свечей во время литургии, рассмотрим прогноз по заполняемости для реконструируемого храма Иоанна Предтечи при Покровском соборе в городе Воронеже (фото 1, рис. 1 и 2).

Примем несколько вариантов численности прихожан на литургии в соответствии с табл. 3.

Заполняемость, равная 100%, определена с учётом нормативного индивидуального объёма 4 м³ [1] на человека. В этом случае при средней высоте потолка зала на одного человека приходится 0,79 м² площади пола. При переполненном храме, соответствующем 150%, на одного человека приходится 0,52 м² площади пола, что, как правило, происходит не чаще десяти раз в год.

Количество свечей, приведённое в табл. 3, принято из расчёта, что каждый человек в среднем покупает по четыре свечи с номерами, в общей сумме определяемыми в процентном соотношении: №20 — 5%, №40 — 15%, №80 — 20%, №120 — 25%, №140 — 35%.

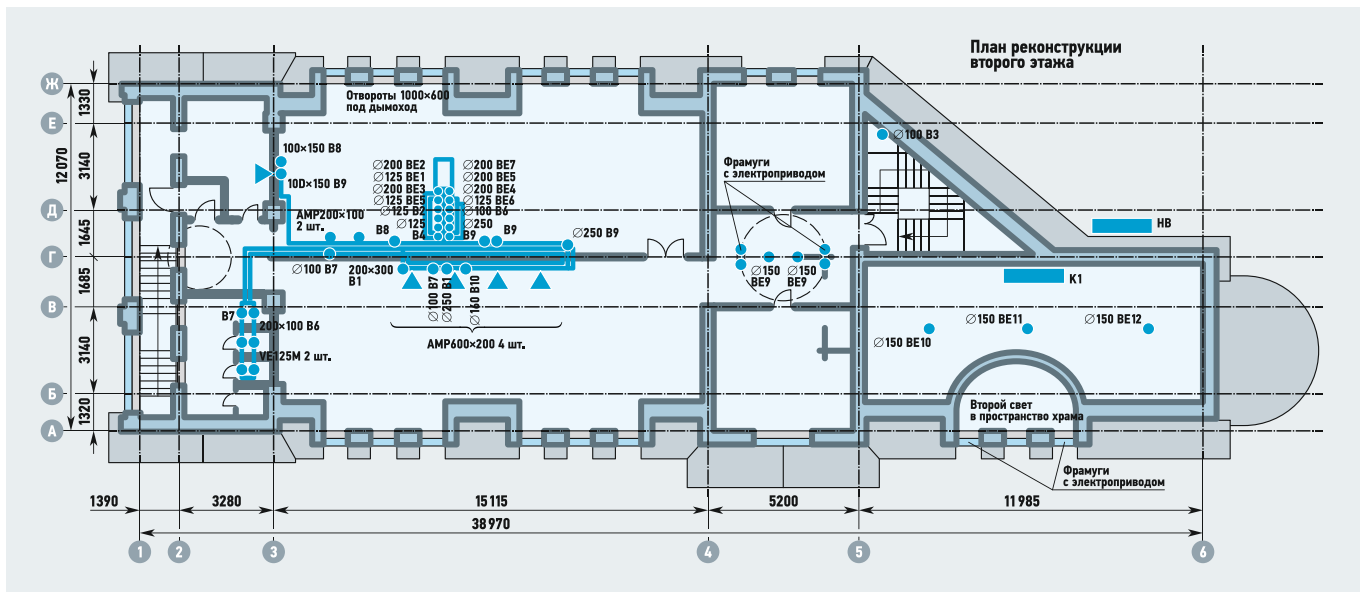


Рис. 2. План второго этажа здания храма Иоанна Предтечи с расположением внутреннего (K1) и наружного (НБ) блоков СКВ для главного зала

Тепловыделения от свечей можно определить в зависимости от количества подсвечников и гнезд в них [4]. Условно прием, что количество оборудования позволяет установить все приобретаемые свечи и, поскольку сведений по теплотворной способности воска отсутствуют, будем считать, что в основном приобретается парафиновая продукция.

Тогда тепло-, влаго- и газопоступления от горящих свечей можно определить:

$$Q_{\text{св}} = \sum_{i=1}^N (n_i q_i), \quad (4)$$

$$G_{\text{св}} = \sum_{i=1}^N (0,001 n_i g_i), \quad (5)$$

$$G_{\text{CO}_2\text{св}} = \sum_{i=1}^N (n_i g_{\text{CO}_2 i}), \quad (6)$$

где $Q_{\text{св}}$, $G_{\text{св}}$ и $G_{\text{CO}_2\text{св}}$ — тепло-, влаго- и газопоступления от горящих свечей, соответственно, Вт, г/ч и л/ч; q_i , g_i и $g_{\text{CO}_2 i}$ — тепло-, влаго- и газовыделения от одной горящей свечи определённого номера, соответственно, Вт, г/ч и л/ч; n_i — количество свечей одного номера, шт.

Учитывая принятую статистику покупок свечей, тепло- и влаговыделения можно рассчитать по укрупнённым показателям в зависимости от численности людей по выражениям, аппроксимирующим расчётные данные табл. 3:

$$Q = 356,93 N - 3,6633, \quad (7)$$

$$G = 0,0764 N - 0,0003, \quad (8)$$

где Q и G — тепло- и влагопоступления от людей и горящих свечей, Вт и кг/ч; N — количество людей в храме.

Выбранная пропорциональность заполняемости зала и покупаемых свечей не изменяет угол наклона на $i-d$ -диаграмме теплообменных процессов в зале для тёплого периода года (рис. 3), но влияет на температуру удаляемого воздуха.

Полученные расходы воздуха (табл. 3), рассчитанные на ассимиляцию теплоизбытков, значительно превышают требуемые по санитарным нормам.

Так, при 100 % заполняемости храма расход воздуха превышает минимально необходимый в 3,7 раза, а учитывая, что реконструируемые и восстанавливаемые храмы не имеют ниш, где можно проложить воздуховоды достаточно значительного сечения, такую схему ассимиляции вредных компонентов процесса горения свечей невозможно реализовать.

Поэтому целесообразно устанавливать сплит- и мультисплит-системы кондиционирования воздуха (рис. 2), а при необходимости, в случае большого числа прихожан, осуществлять проветривание.

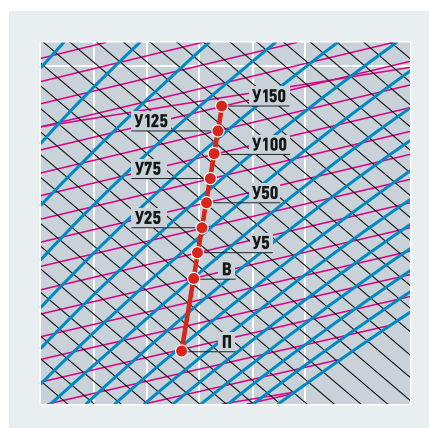


Рис. 3. Изменение параметров микроклимата зала храма Иоанна Предтечи в зависимости от его заполняемости прихожанами (П — приточный воздух с температурой +23 °С; В — внутренний воздух с температурой +26 °С и относительной влажностью 60%; У5, У25, У50, У75, У100, У125 и У150 — удаляемый воздух при заполняемости храма 5, 25, 50, 75, 100, 125 и 150 % с температурой +27, +28, +29, +30, +31, +32 и +33 °С, соответственно)

Подбор внутренних и наружных блоков следует выполнять по предварительно определённым тепlopоступлениям по формуле (7), при условии не более 75 % заполняемости храмов, поскольку мощность оборудования, необходимая для 100 %-й численности людей, может быть более чем в полтора раза выше, но она крайне редко бывает востребована.

- СП 391.1325800.2017. Храмы православные. Правила проектирования. — М.: Минстрой России, 2017. 44 с.
- Бодров В.И., Кочев А.Г., Сергиенко А.С. Определение положения оконных переплётов в конструкциях стен уникальных сооружений / Строительный комплекс — 97: Науч.-техн. конф. проф.-препод. состава, аспирантов и студентов; Исследования по рациональному использованию природных ресурсов и защите окружающей среды: Тез. докл. Ч. 5. — Н. Новгород: ННГАСУ, 1997. С. 87–88.
- Кочев А.Г., Соколов М.М., Кочева М.А., Кочева Е.А., Москалева А.С., Смирнова Е.В. Аэродинамика естественной вентиляции в уникальных зданиях // Научное обозрение. Технические науки, 2016. №6. С. 36–38.
- Кочев А.Г., Соколов М.М. Влияние внешней аэродинамики на микроклимат православных храмов. — Н. Новгород: ННГАСУ, 2017. 188 с.
- Микроклимат церковных зданий. Основы нормализации температурно-влажностного режима памятников культовой архитектуры / Р.А. Девина, И.В. Илларионова и др. — М.: РИО ГосНИИР, 2000. 120 с.
- АВОК Стандарт 2-2004. Храмы православные. — М.: НП «АВОК», 2004. 14 с.
- Микроклимат зданий и сооружений / В.И. Бодров, М.В. Бодров, Н.А. Трифонов и др. — Н. Новгород: Арабеск, 2001. 394 с.
- Белова Е.М. Системы кондиционирования воздуха с чиллерами и фанкойлами. — М.: Евроклимат; Техносфера, 2009. 399 с.
- Физиология человека / Н.А. Агаджанян, Л.З. Тель, В.И. Циркин и др. — М.: Медицинская книга; Н. Новгород: ННГМА, 2003. 528 с.
- Кочев А.Г., Соколов М.М., Сергиенко А.С., Москалева А.С., Кочева Е.А. Особенности создания микроклимата в православных храмах // Известия вузов. Строительство, 2016. №4. С. 74–82.
- Формы для производства простых церковных свечей: прайс-лист. ООО «КБ «Сириус». Режим доступа: kb-sirius.net. Дата обрац.: 03.08.2019.
- Кулинов А.А. Горение органического топлива. — М.: Инфра-М, 2015. 400 с.

References — see page 94.

Influence on the microclimate of the number of people at different occupancy temples. Pp. 66–69.

Tatiana V. Shchukina, PhD, Associate Professor; **Natalya A. Drapalyuk**, PhD, Associate Professor; **Maria N. Zherlykina**, PhD, Associate Professor; **Maria A. Boichenko**, graduate student, Voronezh State Technical University (VSTU, Voronezh city)

1. SP [The Code of Practice on Design and Construction (The Code of Practice) No.] 391.1325800.2017. *Hramy pravoslavnye. Pravila proektirovaniya* [Orthodox churches. Construction rules]. Moscow. *Minstroy Rossii* [Ministry of Construction Industry, Housing and Utilities Sector of Russia]. 2017. 44 p. [In Russian]
2. Bodrov V.I., Kochev A.G., Sergienko A.S. *Opreделение polozheniya okonnykh perepletov v konstrukcijah sten unikal'nykh sooruzhenij* [Determining the position of window frames in the wall structures of unique structures]. *Stroitel'nyj kompleks — 97: Nauch.-tehn. konf. prof.-predpod. sostava, aspirantov i studentov* [Building complex — 97: Scientific and technical conference of the faculty, graduate students and students]. *Issledovaniya po racional'nomu ispol'zovaniyu prirodnykh resursov i zashhite okruzhajushhej sredy: Tez. dokl. Ch. 5* [Research on the rational use of natural resources and environmental protection: Abstracts. Part 5]. Nizhny Novgorod. NNGASU [Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering]. 1997. Pp. 87–88. [In Russian]
3. Kochev A.G., Sokolov M.M., Kocheva M.A., Moskaleva A.S., Smirnova E.V. *Ajerodinamika estestvennoj ventiljacii v unikal'nykh zdaniyah* [Aerodynamics of natural ventilation in unique buildings]. *Nauchnoe obozrenie: Tehnicheskie nauki* [“Scientific Review: Technical science” Magazine]. 2016. No. 6. Pp. 36–38. [In Russian]
4. Kochev A.G., Sokolov M.M. *Vlijanie vneshnej ajerodinamiki na mikroklimat pravoslavnykh hramov* [The influence of external aerodynamics on the microclimate of Orthodox churches]. Nizhny Novgorod. NNGASU [Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering]. 2017. 188 p. [In Russian]
5. Devina R.A., Illarionova I.V., Rebrikova N.L. et al. *Mikroklimat cerkovnykh zdaniy. Osnovy normalizacii temperaturno-vlazhnostnogo rezhima pamjatnikov kul'tovoj arhitektury* [The microclimate of church buildings. The basics of normalizing the temperature and humidity regime of monuments of religious architecture]. Moscow. RIO GosNIIR [Editorial and publishing Department of the State research Institute of restoration]. 2000. 120 p. [In Russian]
6. ABOK Standart [The Code of Russian Association of Engineers for Heating, Ventilation, Air-Conditioning, Heat Supply and Building Thermal Physics No.] 2-2004. *Hramy pravoslavnye* [Orthodox churches]. Moscow. NP “AVOK” [“Russian Association of Engineers for Heating, Ventilation, Air-Conditioning, Heat Supply and Building Thermal Physics” Non-government Public Organization]. 2004. 14 p. [In Russian]
7. Bodrov V.I., Bodrov M.V., Trifonov N.A. et al. *Mikroklimat zdaniy i sooruzhenij* [Microclimate of buildings and structures]. Nizhny Novgorod. Arabesk [“Arabesque”, LLC]. 2001. 394 p. [In Russian]
8. Belova E.M. *Sistemy kondicionirovaniya vozduha s chillerami i fankojlami* [Air conditioning systems with chillers and fan coil units]. Moscow. Evroklimat [“Euroclimat”, LLC]; Tehnosfera [“Tehnosfera”, LLC]. 2009. 399 p. [In Russian]
9. Agadzhanjan N.A., Tel' L.Z., Cirkin V.I. et al. *Fiziologija cheloveka* [Human physiology]. Moscow. Medicinskaja kniga [“A medical book” Publishing House]. Nizhny Novgorod. NizhGMA [Publishing House of Nizhny Novgorod State Medical Academy of the Ministry of health and social development of Russia]. 2003. 528 p. [In Russian]
10. Kochev A.G., Sokolov M.M., Sergienko A.S., Moskaleva A.S., Kocheva E.A. *Osobennosti sozdaniya mikroklimata v pravoslavnykh hramah* [Features of creating a microclimate in Orthodox churches]. *Izvestija vuzov: Stroitel'stvo* [Journal of the Russian Universities. Series: Construction]. 2016. No. 4. Pp. 74–82. [In Russian]
11. *Formy dlja proizvodstva prostykh cerkovnykh svechej: prajs-list* [Forms for the production of simple church candles: price list]. OOO “KB “Sirius” [“Sirius Design Bureau”, LLC]. Web-source: kb-sirius.net. Access data: September 3, 2019. [In Russian]
12. Kudinov A.A. *Gorenie organicheskogo topliva* [Combustion of fossil fuels]. Moscow. Infrac-M [“Inphra-M” Group]. 2015. 400 p. [In Russian]