

# Инженерное оборудование зданий и сооружений

УДК 332.872

DOI: 10.14529/build180308

## ОПТИМИЗАЦИЯ МИКРОКЛИМАТА В ПРАВОСЛАВНОМ ХРАМЕ МЕТОДОМ ЧИСЛОВОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ВОЗДУШНЫХ ПОТОКОВ

**Л.Г. Старкова, Ю.А. Морева, Ю.Н. Новоселова**

*Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, г. Магнитогорск, Россия*

Несмотря на строгие правила проектирования и устройства культовых сооружений, зачастую в современных храмах возникают определенные проблемы с отоплением и вентиляцией. В сложном по форме здании необходимо организовать надлежащий воздухообмен и обеспечить должный прогрев воздуха по всему пространству, рассчитать геометрию естественных потоков и приточных струй, обеспечить удаление загрязненного воздуха в обход участков скопления людей и защитить настенные росписи и предметы искусства от оседания частиц сажи и грязи. Описанные выше проблемы актуальны для Свято-Вознесенского собора г. Магнитогорска. Несмотря на относительно небольшой срок эксплуатации здания, вид его внутреннего убранства значительно отличается от первоначального вида: внутренние поверхности стен храма закопчены настолько, что в верхней половине уже не различимы фрески и росписи. Следует срочно принимать меры для его спасения. Решать поставленные задачи предложено с помощью электронно-числовой модели тепловоздушных потоков. Проведенное исследование позволило сделать ряд рекомендаций направленных на улучшение вентиляции храма.

*Ключевые слова: православный храм, художественное оформление внутренних стен, системы микроклимата, тепловые конвективные потоки, электронно-цифровая модель воздушно-тепловых потоков*

В настоящее время в г. Магнитогорске, как и в других городах России, православные храмы стали неотъемлемой частью как архитектуры, так и жизни горожан. Наладился активный диалог представителей православных сооружений с хозяйственными организациями и коммунальными службами. В процессе общения выяснилось, что, несмотря на строгие правила проектирования и устройства культовых сооружений, регламентированные религиозными устоями и строительными нормами, зачастую в современных храмах возникают определенные проблемы с отоплением и вентиляцией, даже при вполне удовлетворительном соблюдении указанных норм [1].

Нестандартная форма здания отличает храмы от других общественных сооружений. Сложность конструктивного и объемно-планировочного решения диктует основные правила проектирования систем микроклимата [2]. Пространство православного храма вытянуто вверх, здание имеет большую высоту, но маленькую площадь. И это не прихоть архитектора, такая форма здания строго канонизирована из религиозных соображений. В таких больших объемах необходимо организовать надлежащий воздухообмен и обеспечить должный прогрев воздуха по всему простран-

ству, рассчитать геометрию естественных потоков и приточных струй, обеспечить удаление загрязненного воздуха в обход участков скопления людей [3].

Огромный интерес представляют фрески, иконы и росписи на стенах. Эти детали делают сооружение незабываемым и неповторимым, поэтому очень важно сохранить эту красоту и неповторимость в первозданном виде. Сделать это не всегда просто, так как в храме имеются стойки со свечами, расположенные у икон и распределенные практически по всему периметру здания. В каждой стойке может быть по 50–100 свечей (рис. 1), горящих одновременно [4]. От горящих свечей образовывается большой конвективный воздушный поток. Этот поток имеет высокую температуру и множество загрязняющих веществ, которые оседают на внутренней отделке. Согласно данным, приведенным в [5], от горения одной свечи стандартного софринского типоразмера в воздух выделяется 1,3 кг водяного пара ежечасно, от дыхания каждого прихожанина, церковно- и священнослужителя – 40 г. В пересчете на среднее число свечей в храмовом помещении и типичную наполняемость рассчитанной на несколько сотен прихожан церкви получается, что каждый час богослужебно-



Рис. 1. Вид стандартной стойки на 60 свечей

го времени образуется два-три ведра воды на квадратный метр площади пола!

В большинстве храмов в качестве систем отопления используют традиционное водяное отопление от радиаторов или конвекторов, которые расположены вдоль наружных стен и усиливают мощность конвективного потока [6]. Это является причиной того, что сажа интенсивно оседает на стенах здания и фресках, а от избыточной теплоты могут портиться иконы и покрытия стен. Водяной пар более чем в полтора раза легче воздуха, он активно стремится к вершине замкнутого объема. Вместе с конвективными потоками тепла он способен увлекать с собой мелкодисперсные частички сажи и иных продуктов горения свечей, те, в свою очередь, поляризуются и быстро адсорбируются внутренними поверхностями интерьера (особенно эффективно – неоднородными с геометрической либо с физической точек зрения). Этим объясняются грязно-темные следы, которые часто можно видеть на стенах над отопительными приборами в храмовом помещении [5] (рис. 2, 3).

Еще одна особенность православных храмов – это почти полное отсутствие оконных проемов. Обычно только под потолком и в подкупольном пространстве есть маленькие узкие окошки, которые выполняют эстетическую функцию и пропускают слабые солнечные лучи (рис. 3). В современных храмах оконные проемы часто заменяют герметичными пластиковыми стеклопакетами. Пластиковые окна имеют ряд преимуществ: эстетичный внешний вид, долговечность, удобство в эксплуатации, их использование является эффективным энергосберегающим решением. Но, пластиковые окна значительно снижают эффективность естественной вентиляции и при большом скопле-

нии людей, каналы организованной естественной вентиляции, не справляются с удалением необходимого количества воздуха.

Описанные выше проблемы очень актуальны для Свято-Вознесенского собора в г. Магнитогорске. Несмотря на относительно небольшой срок эксплуатации здания, вид его внутреннего убранства значительно отличается от первоначального вида: внутренние поверхности стен храма запылены настолько, что в верхней половине уже не различимы фрески и росписи (рис. 2), вместо света в подкупольных пространствах царит мрак (рис. 3).

Удалить сажу влажной уборкой невозможно, так как рисунки выполнены гуашью, которая растворяется в воде. Храм теряет свою красоту и привлекательность. Следует срочно принимать меры для его спасения. С этой целью необходимо выполнить работы по оптимизации систем отопления и вентиляции храма.

Кроме особенностей архитектурно-планировочного решения, большое влияние на устройство систем отопления и вентиляции оказывает режим его работы. Количество посетителей храма может меняться в зависимости от времени суток, дней недели, а также при наступлении религиозных праздников [4]. Так, например, днем в понедельник, в основном помещении храма может находиться всего два-три человека (рис. 4).

В воскресенье или праздники, когда идет служба, число человек может возрасти до нескольких сотен (рис. 5).

Очевидно, что в различные периоды времени в храме целесообразно понижать или увеличивать мощность систем отопления и вентиляции. Выполнять это необходимо с помощью современных



Рис. 2. Следы «закопчения» нижней части наружной стены храма

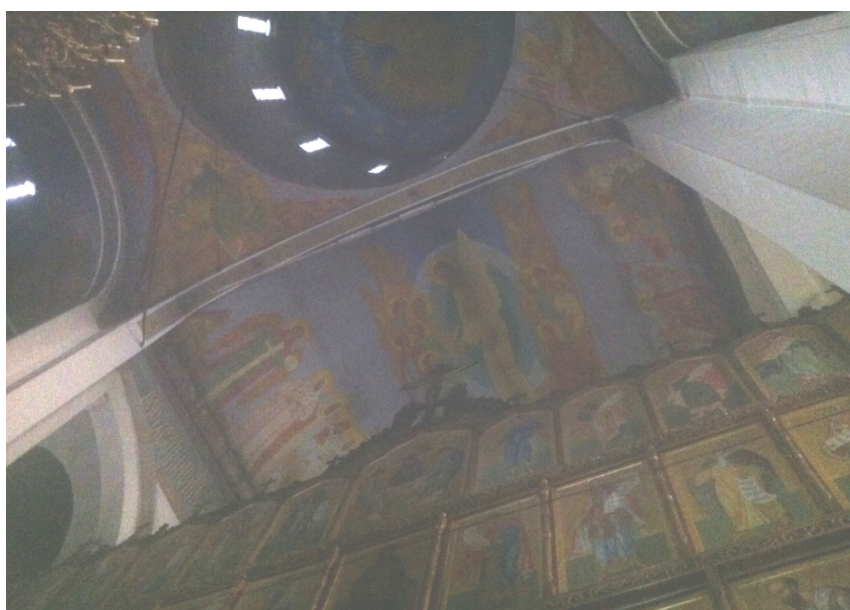


Рис. 3. Следы «закопчения» верхней части стен и подкупольного пространства храма

автоматизированных систем контроля с дистанционным управлением от датчиков температуры и газового состава внутреннего воздуха.

Обобщая сказанное выше, можно сделать вывод о том что сложное конструктивное и объемно-планировочное решение, художественное оформление внутренних стен храма, избыток тепловых конвективных потоков и вредностей, выделяющихся от свеч, ладана и людей, малое количество оконных проемов, применение герметичных стеклопакетов, крайне неравномерное во времени количество посетителей, стоимость энергообеспечения систем микроклимата – это те факторы, кото-

рые требуют детального учета при конструировании оптимальных систем отопления и вентиляции современных храмов. По словам самих священников, схему воздухообмена нужно просчитывать просто виртуозно [6].

Решение задачи требовало проведения **теоретических и экспериментальных исследований**, которые были выполнены авторами данной работы. Для исследования был выбран наиболее точный на сегодняшний день **метод** использования электронно-цифровой модели воздушно-тепловых потоков в здании. **Инструментом** для построения модели выбран программный ком-





Рис. 4. Количество посетителей в будние дни работы храма (15 человек)



Рис. 5. Количество посетителей во время рождественской службы (более 300 человек)

плексе SolidWorks с подпрограммой Flow Simulation. **Целью исследования** являлось разработка мероприятий по оптимизации существующих систем отопления и вентиляции здания. Для достижения цели были поставлены следующие задачи: выявление геометрических и тепловых характеристик конвективных и воздушных струй, образующихся в различные периоды работы храма, выявление застойных зон воздуха, выявление характера движения воздуха содержащего частицы сажи в объеме здания.

Первоначально был произведен сбор исходной графической документации, по результатам которого, на основании существующих планов и

разрезов здания была создана геометрическая модель здания, показанная на рис. 6.

Далее, в декабре 2017 года, было проведено натурное обследование воздушных потоков в храме в различные периоды работы храма (см. рис. 1–5). По результатам натурного обследования в расчетный комплекс введены были исходные и граничные условия для построения модели воздушных потоков в скоростном выражении. Примеры 2-d модели воздушных потоков в различных сечениях храма приведены на рис. 7.

На основе построения моделей скоростей тепловоздушных потоков (рис. 7) были определены зоны, опасные для осаждения сажи на стенах и

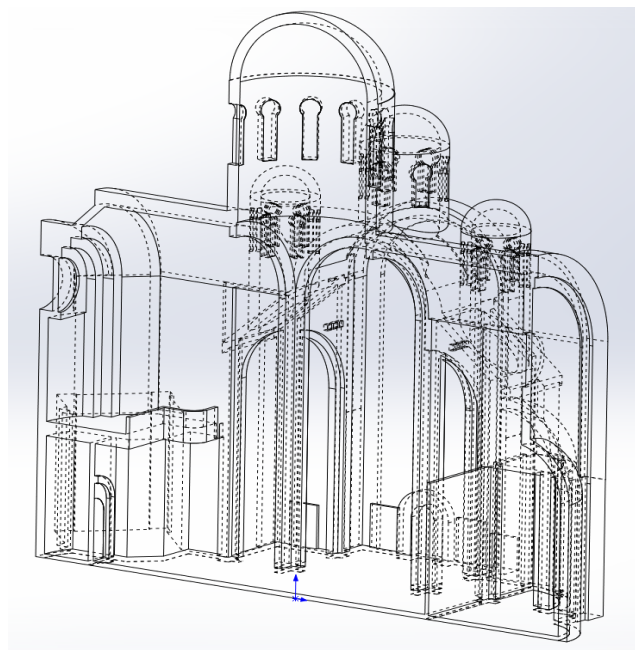


Рис. 6. Фрагмент геометрической 3-d модели здания храма

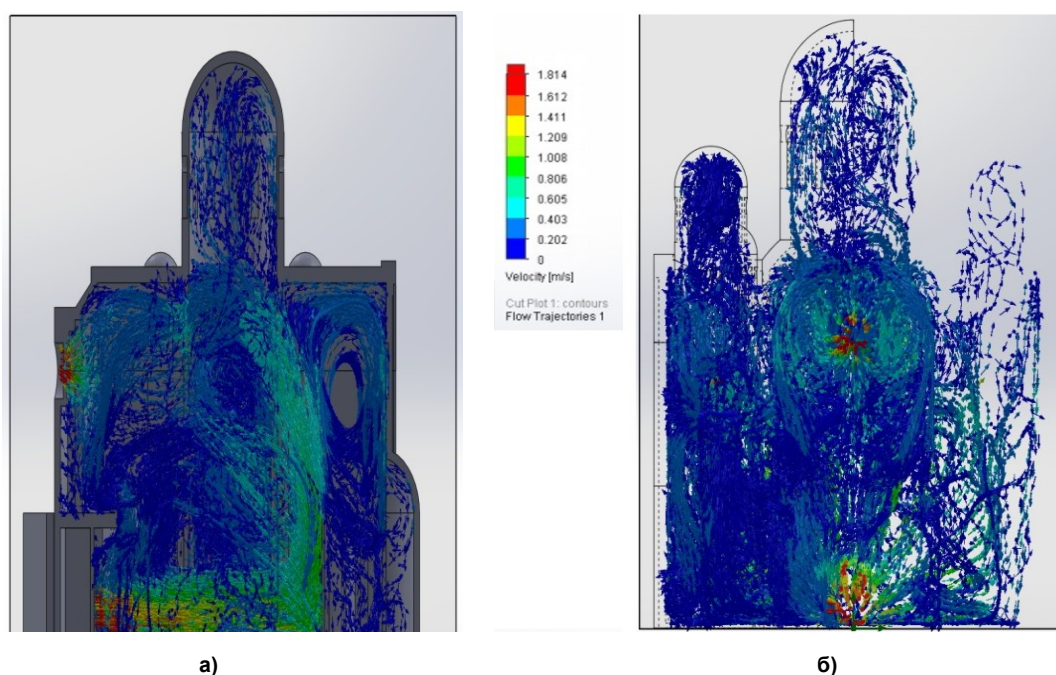


Рис. 7. Пример 2-d модели поля скоростей в продольном (а) и поперечном (б) сечениях храма при естественной приточной и механической вытяжной вентиляции

застойные зоны, неблагоприятные для длительного нахождения людей.

В результате проведенного исследования были сделаны следующие **выводы**.

1. В холодный период года, когда работают приборы водяного отопления, недостаточно использовать только естественный неорганизованный приток воздуха в здание (через окна и двери) необходима механическая приточная вентиляция с целью воздушной защиты внутренней поверхно-

сти наружных стен от осаждения частиц сажи; в теплый период работа механической приточной вентиляции не требуется.

2. Крайне необходимо устройство естественной вытяжки через окна и люки (колосники) в подкупольных пространствах, механическая вытяжка необязательна, так как приточная струя будет «вытеснять» теплый воздух за счет естественной конвекции.

3. Крайне нежелательно использовать герметичные окна с пластиковыми рамами, необходимо отдавать предпочтение традиционным окнам в деревянных переплетах, так как они обеспечивают естественный воздухообмен и удаление воздуха из верхней зоны храма, что вполне достаточно для режимов с отсутствием или малым количеством посетителей.

4. Водяное отопление стоит предусматривать только для поддержания минимально допустимой температуры воздуха (+5–8 °C), остальные теплопотери компенсировать воздушным отоплением, совмещенным с приточной вентиляцией, что будет способствовать равномерному прогреву стен и внутреннего пространства барабанов. Включать воздушное отопление необходимо заранее, за 1–2 часа, до прихода посетителей, т. е. до того как начнется активное горение свечей.

5. Скорость подачи воздуха системой воздушного отопления с приточной вентиляцией должна быть минимальной, так чтобы движение воздуха сквозь пространство храма стремилось в идеале к ламинарному.

В дальнейшем, с помощью метода электронно-цифрового моделирования будут определены кон-

кретные конструктивные характеристики систем вентиляции и воздушного отопления, на основании которых можно будет разработать проект их реконструкции для данного храма.

### Литература

1. СП 31-103-99 Здания, сооружения и комплексы православных храмов. – М.: 1999.

2. Православные храмы. В 3 т. Т. 2. Православные храмы и комплексы: пособие по проектированию и строительству (к СП 31-103-99). МДС 31-9.2003/АХЦ «Арххрам». – М.: ГУП ЦПП, 2003.

3. Гавей, О.Ф. Исследование воздушных режимов и оптимизация отопления и вентиляции в православных храмах / О.Ф. Гавей, Л.Г. Старкова // Вестник МГСУ. – 2011. – № 7. – С. 283–288.

4. Гавей, О.Ф. Оптимизация вентиляции в православных храмах / О.Ф. Гавей, Л.Г. Старкова // Сантехника, отопление, кондиционирование. – 2013. – № 6(138). – С. 74–75.

5. Анохин, Д. Деньги на ветер / Д. Анохин // Журнал Московской Патриархии. – 2017. – № 10.

6. Стандарт АВОК. Храмы православные. Отопление, вентиляция, кондиционирование воздуха. – М.: АВОК-ПРЕСС, 2004.

**Старкова Лариса Геннадьевна**, доцент кафедры управления недвижимостью и инженерных систем, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова (Магнитогорск), starkova-lg@mail.ru

**Морева Юлия Александровна**, доцент кафедры управления недвижимостью и инженерных систем, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова (Магнитогорск), y.a.moreva@yandex.ru

**Новоселова Юлия Николаевна**, доцент кафедры управления недвижимостью и инженерных систем, Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова (Магнитогорск), konstantin\_novoselov@mail.ru

*Поступила в редакцию 23 мая 2018 г.*

DOI: 10.14529/build180308

## OPTIMIZATION OF MICROCLIMATE IN AN ORTHODOX CHURCH BY NUMERICAL SIMULATION OF AIR FLOW

**L.G. Starkova**, starkova-lg@mail.ru

**Yu.A. Moreva**, y.a.moreva@yandex.ru

**Yu.N. Novoselova**, konstantin\_novoselov@mail.ru

*Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russian Federation*

Despite the strict rules of design and construction of religious buildings, often in modern churches there are some problems with heating and ventilation. In a complex building, it is necessary to organize proper air exchange and ensure proper heating of the air throughout the space, calculate the geometry of natural flows and supply jets, ensure the removal of contaminated air bypassing the areas of congestion, and protect wall paintings

and art objects from settling of soot and dirt particles. The problems described above are relevant for the Holy Ascension Cathedral in Magnitogorsk. Despite the relatively short period of operation of the building, the appearance of its interior decoration is significantly different from the original form: the inner surfaces of the temple walls are smoked so, that in the upper half frescoes and paintings are no longer distinguishable. Urgent measures should be taken to save it. It is proposed to solve the problems by using the electronic numerical model of heat and air flow. The study allowed to make a number of recommendations aimed at improving the ventilation of the temple.

*Keywords:* Orthodox Church, interior walls decoration, microclimate systems, heat convective flows, electronic-digital model of air-heat flows.

#### References

1. SP 31-103-99 [Buildings, Structures and Complexes of Orthodox Churches]. Moscow, 2000. 31 p.
2. *Pravoslavnyye khramy* [Orthodox Church]. *V trekh tomakh. T. 2. Pravoslavnyye khramy i kompleksy: Posobiye po proyektirovaniyu i stroitel'stvu (k SP 31-103-99)* [In Three Volumes. Vol. 2. Orthodox Churches and Complexes: Manual for Design and Construction (to SP 31-103-99)]. Moscow, GUP TSTSP Publ., 2003.
3. Gavey O.F., Starkova L.G. *Issledovaniye vozdukhnykh rezhimov i optimizatsiya otopleniya i ventilyatsii v pravoslavnykh khramakh* [A Study of the Air Modes and the Optimization of Heating and Ventilation in the Orthodox Churches]. *Bulletin of the Moscow Region State University*, 2011, no. 7, pp. 283–288 (in Russ.).
4. Gavey O.F., Starkova L.G. [Optimization of Ventilation in Orthodox Churches]. *Santekhnika, otopleniye, konditsionirovaniye* [Plumbing, Heating, Air Conditioning], 2013, no. 6(138), pp. 74–75.
5. Anokhin D. [Money on Wind]. *Zhurnal Moskovskoy Patriarkhii* [Journal of the Moscow Patriarchate], 2017, no. 10, pp. 75–83.
6. Standart AVOK. *Khramy pravoslavnyye. Otopleniye, ventilyatsiya, konditsionirovaniye vozdukh* [Orthodox Churches. Heating, Ventilation, Air Conditioning]. Moscow, AVOK-PRESS Publ., 2004.

Received 23 May 2018

#### ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Старкова, Л.Г. Оптимизация микроклимата в православном храме методом числового моделирования воздушных потоков / Л.Г. Старкова, Ю.А. Морева, Ю.Н. Новоселова // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». – 2018. – Т. 18, № 3. – С. 53–59. DOI: 10.14529/build180308

#### FOR CITATION

Starkova L.G., Moreva Yu.A., Novoselova Yu.N. Optimization of Microclimate in an Orthodox Church by Numerical Simulation of Air Flow. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Construction Engineering and Architecture*. 2018, vol. 18, no. 3, pp. 53–59. (in Russ.). DOI: 10.14529/build180308