

ВЫБОР ПРИОРИТЕТОВ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ПРОЕКТА РЕСТАВРАЦИИ: СТРОИТЕЛЬНАЯ НОРМАТИВНАЯ БАЗА ИЛИ РЕЗУЛЬТАТЫ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПАМЯТНИКОВ АРХИТЕКТУРЫ

В. Б. ДОРОХОВ

*(Государственный научно-исследовательский институт реставрации,
Москва, Россия; Московская духовная академия
Русской Православной Церкви)
ORCID <https://orcid.org/0009-0000-2650-458X>*

Н. Ю. ПИНТЕЛИН

*(Государственный научно-исследовательский институт реставрации,
Москва, Россия; Православный Свято-Тихоновский
гуманитарный университет, Москва)
ORCID <https://orcid.org/0009-0008-5392-2697>*

При разработке различных нормативных материалов в строительстве основное – это обеспечение безопасности и комфорта людей, работающих или проживающих в здании. Также должны обеспечиваться условия для технологических процессов, происходящих в здании. Для надежного сохранения памятника архитектуры, в особенности памятника с монументальной живописью или иными объектами декоративной отделки, основным является оптимизация микроклиматических условий и температурно-влажностного режима, обеспечивающего сохранность материалов в памятнике. Зачастую при этом комфортность находящихся в памятнике людей может быть второстепенной, а приоритет отдаётся условиям сохранности культурного наследия. Особое значение оптимизация микроклиматических условий приобретает при музейно-богослужебном использовании памятника архитектуры. Такое использование предполагает значительную нестабильность температурного и влажностного режимов памятника. Следствием воздействий является интенсификация процессов теплопереноса и влагопереноса в материалах конструкций, активизация физико-механической деструкции, химическая и микробиологическая коррозия материалов конструкций, настенной живописи и декора.

Нами описан выбор некоторых приоритетных решений по обеспечению тепловлажностных условий сохранности при проектировании и производстве реставрационных работ в Спасо-Преображенском храме г. Полоцка с 2015 по 2024 годы. Выбор проектных и эксплуатационных решений проводился на основе комплекса расчетных и экспериментальных работ, а также в совещательном порядке совместно с представителями пользователя памятника – Полоцким Спасо-Евфросиниевским женским монастырем, проектными и регулирующими организациями Республики Беларусь.

Ключевые слова: температурно-влажностный режим, крипта, система онлайн-мониторинга, приоритеты реставрации, микроклимат, памятники архитектуры.

THE CHOICE OF PRIORITIES IN THE DEVELOPMENT OF A RESTORATION PROJECT: IS THE BUILDING REGULATORY FRAMEWORK OR THE RESULTS OF THERMOPHYSICAL STUDIES OF ARCHITECTURAL MONUMENTS

V. DOROKHOV

*(State Research Institute of Restoration, Moscow, Russia;
Moscow Theological Academy)*

N. PINTELIN

*(State Research Institute of Restoration, Moscow, Russia;
The Saint Tikhon's Orthodox University of Humanities, Moscow)*

When developing various regulatory guideline documents for construction, the main aspect is to ensure the safety and comfort of people working or living in the building. Conditions must also be provided for technological processes taking place in the building. For the reliable preservation of an architectural heritage site, especially a monuments with monumental paintings or other decorative objects, the main focus is to optimize the microclimate conditions and temperature and humidity conditions that ensure the safety of materials in the monument. Often, the comfort of the people in the monument may be secondary, and priority is given to the preservation of cultural heritage. Optimization of microclimatic conditions is of particular importance in the liturgical use of an architectural monument. Such use implies significant instability of the temperature and humidity regime of the monument. The effects result in the intensification of heat and moisture transfer processes in structural materials, activation of physical and mechanical destruction, chemical and microbiological corrosion of structural materials, wall paintings and decor.

We have described the choice of some priority solutions for ensuring thermal and moisture safety conditions in the design and production of restoration work in the Transfiguration Church of St. Peter the Great From 2015 to 2024 in Polotsk. The selection of design and operational solutions was carried out on the basis of a complex of computational and experimental work, as well as in consultation with representatives of the monument's user, the Polotsk Savior-Euphrosyne Convent and design and regulatory organizations of the Republic of Belarus.

Keywords: *temperature and humidity regime; crypt; online monitoring system; restoration priorities; microclimate; architectural monuments.*

Основной задачей управления микроклиматом в здании – памятнике архитектуры зачастую является создание условий сохранности памятника, а не обеспечение комфортных условий для посетителей. При разработке проекта реставрации и проведении реставрационных работ в Спасской церкви в г. Полоцке с её уникальной живописью XII в. именно это положение приходилось постоянно обсуждать и отстаивать в совместной работе с проектными и регулирующими организациями. Была поставлена следующая цель управления микроклиматом – поддержание таких параметров последнего, которые способствуют сохранности настенной живописи и допускают ограниченное использование в богослужебных целях и для проведения экскурсий. При том, что, учитывая историческое и культурное значение церкви, невозможно отказаться от экскурсионной деятельности.

В настоящее время основа живописи (штукатурный слой) вместе с живописью в Спасской церкви весьма неоднородны после различных ремонтов и вычинок. В материаловедческих исследованиях по тепловлажностному режиму пористых строительных материалов и отделочных покрытий (в нашем случае это штукатурка с живописью) установлено, что старение структур из неоднородных материалов резко возрастает при переменных тепловых и влажностных нагрузках. Другими словами, чем больше неоднородность структур, тем больше возникающие напряжения и разрушения в материалах конструкций, особенно на их поверхности, при переменных условиях ТВР. Другими словами, чем больше амплитуда и частота изменений температуры и, в особенности, влажности воздуха, тем больше напряжений и разрушений в материалах конструкций. Причем на эти разрушения по различному влияют нестационарные воздействия той или иной длительности – от суточных до сезонных. Основные качественные критерии тепловлажностных условий сохранности памятников архитектуры [1–3] и, в первую очередь, монументальной живописи в памятниках:

- постоянство влагосодержания материалов – для этого необходимо поддерживать температуру и влажность воздуха и материалов конструкций таким образом, чтобы их сочетание минимизировало отклонения от равновесного влагосодержания материалов конструкций и настенной живописи;

- минимизация потоков тепла и влаги, в первую очередь, из стены внутрь здания через внутренний слой конструкции, т.е. настенную живопись. Эти потоки оказывают разрушающее действие на фрески;

- по возможности, уменьшение попадания влаги осадков на элементы конструкций памятника;

- исключение возможности выпадения конденсата на внутренних слоях конструкций, особенно прилегающих к живописи.

Таким образом, в любом памятнике архитектуры, и Спасская церковь – не исключение, при выборе параметров воздушной среды, приоритетом должен быть подход, направленный на оптимизацию диапазона изменчивости и снижение амплитуды колебаний ТВР-параметров. Их стабилизация особенно важна для создания условий сохранности для уцелевшей уникальной фресковой росписи.

Во многих нормативных материалах по реставрации памятников говорится, что при реставрации допускается отступление от строительных норм при необходимости обеспечения сохранности памятника. Именно этим мы руководствовались при совместной работе с проектировщиками в ряде вопросов, касающихся систем ОВ и обеспечения ТВР воздуха и конструкций.

Основы обеспечения тепловлажностных условий сохранности конструкций и живописи Спасской церкви. Выбор приоритетов в ходе проектирования. Во второй половине XX в. были проведены многочисленные исследования теплофизических свойств, в том числе сорбционных характеристик, различных материалов, использованных в древних памятниках, включая штукатурные слои под живописью. При аналитическом обобщении изотерм сорбции был получен некий достаточно универсальный ряд сочетаний параметров воздушной среды (таблица 1), обеспечивающих постоянство влагосодержания капиллярно-пористых строительных материалов [1].

Таблица 1. – Парные значения температуры и относительной влажности воздуха, обеспечивающие постоянство равновесного влагосодержания материалов кладки и живописи

Температура, °С	5,0	7,5	15,0	18,0	20,0
Относительная влажность, %	35	40	55	60	65 / 60

Примечание. – Величина 65% перечеркнута и заменена на 60%, поскольку сочетание 20 °C и 65% уже представляет опасность возникновения биопоражений.

Температуры внутри памятника ниже +5 °C не рассматриваются из-за опасности замерзания влаги на внутренних отделочных слоях конструкций.

При выборе из таблицы комфортных для человека параметров 15–18 °C и 55 – 60% абсолютное влагосодержание воздуха способствует увеличению влагосодержания материалов конструкций и может приводить к разрушению увлажнённых материалов вследствие химических реакций, микробиологических воздействий и при промерзании конструкций [4; 5; 6]. При этом обеспечение таких параметров требует работ по стабильному увлажнению воздуха, т.е. созданию центральных систем воздухоподготовки.

В 1970-х гг. был разработан метод ограниченного подогрева памятников архитектуры, который, при его последовательном осуществлении, позволяет приблизиться к выполнению этих критериев. В настоящее время этот метод применяется на многих архитектурных памятниках России [1; 2; 3; 7]. Он основан на ограничении температур внутри памятника в зимний период величиной в диапазоне 5–8 °C (в климатических условиях, характерных для средней и северной полосы России и большинства областей Беларуси) и на обеспечении плавных изменений температуры и влажности внутреннего воздуха в течение годового цикла. При появлении возможностей управления влажностью воздуха этот температурный диапазон может быть несколько расширен [8; 9]. Решения с расширением диапазона, с учётом полученных авторами статьи данных, были использованы при проектах создания систем обеспечения микроклимата с центральной подготовкой воздуха на памятниках XII в. – Дмитриевский и Успенский соборы в городе Владимире, церковь Бориса и Глеба села Кидекша.

Поддержание столь низких температур в зимний период было одним из предметов обсуждений с разработчиками проекта реставрации Спасской церкви, так как указанные температуры являются весьма непривычной практикой для эксплуатируемых зданий. После обсуждений температуры, принятые в концепции ограниченного подогрева, были всё-таки утверждены при проектировании как основная часть целевого диапазона температур в зимний период. При этом в здании была обеспечена ограниченная возможность управления влажностью воздуха при помощи увлажнителей и осушителей, располагаемых на различных высотах в объеме памятника.

Следующим предметом обсуждений, связанным с отступлением от строительных норм и выбором оптимальных решений для Спасской церкви, была проблема оценки теплопотерь памятника и определения требуемых мощностей на его обогрев. Расчет теплопотерь зданий в нормативных документах Республики Беларусь и Российской Федерации ведется с применением модели стационарной теплопередачи на основе определения расчетной температуры наружного воздуха для зданий с различной тепловой инерцией. Причем в нормах ведутся расчеты для максимальной тепловой инерции здания $D = 7$. За расчетную температуру наружного воздуха для здания с $D = 7$ принимается температура самой холодной пятидневки. Более инерционные конструкции в нормах не рассматриваются.

Рассчитанные специалистами ПФ «Белреставрация» теплопотери Спасо-Преображенской церкви г. Полоцка при внутренней температуре +5 °C и расчетной наружной температуре –25 °C составили 26,76 кВт. С учётом погрешности определения термического сопротивления ограждающих конструкций древнего здания,

расчетные теплотери могут составлять от 24 до 30 кВт. Следовательно, по нормативным расчётам получается необходимая устанавливаемая электрическая мощность для обогрева 30 кВт. Требуемая мощность чрезмерна и требовала бы значительного количества обогревателей по площади храма, что привело бы к затруднениям при его эксплуатации. Мы ограничены в единичной мощности отопительных приборов, так как для обеспечения тепловлажностных условий сохранности необходима распределённая по площади тепловая мощность.

Следует отметить, что проведенные расчеты тепловой инерции основной конструкции полоцкого памятника показывают (с учетом погрешности имеющейся информации) величину тепловой инерции D от 15 до 19 – при расчетах D использовались данные текущих исследований материальной структуры памятника, а также данные различных исследований. Из сравнения величин $D = 7$ и D от 15 до 19 понятно, что расчеты с использованием стационарных условий теплопередачи по строительным нормам для памятников древнего церковного зодчества неприменимы. В модели расчета стационарных теплотерь отсутствует расчетная температура наружного воздуха для значений величины тепловой инерции $D = 15\text{--}19$. Кроме высокого значения D ограждающих конструкций, следует учитывать большой объем внутренних конструкций таких памятников (конструкции хоров, столпов, сводов и парусов, палаток и проч.), которые также увеличивают тепловую инерцию всего здания и замедляют его охлаждение при похолоданиях. Из анализа объемно-планировочного решения памятника видно, что объем внутренних теплоаккумулирующих конструкций составляет свыше 10% всего объема памятника, что практически не встречается в современных зданиях, для которых и предназначены нормы проектных расчетов.

При оценке необходимой мощности мы воспользовались простейшим приближенным теплофизическим подобием – мощность для поддержания схожих температурных условий в двух объектах со схожими объемно-планировочными решениями и ограждающими конструкциями должна быть пропорциональна их обогреваемому объёму.

Выбор памятника-аналога обусловлен следующим.

В Спасо-Преображенском соборе Мирожского монастыря [2; 10], имеющим весьма похожее объемно-планировочное решение и несколько больший объем, система ограниченного обогрева работает с 1985 г. – 40 лет – и показала достижимость режима ограниченного подогрева при достаточно малых мощностях. Сравнение показало, что отношение объемов памятника примерно 1,8 и соотношение мощностей, используемых для обогрева, такое же. Сравнение температурного режима памятников за два зимних периода с 2008 г. (это год начал обогрева Спасской церкви) показало схожесть изменчивости внутренних температур при практически идентичной изменчивости наружных температур. Также имеет значение регламент обогрева памятника, который подогревается практически все лето для стабилизации влажностного режима, а с конца летнего периода проводится подогрев памятника для обеспечения температурного режима конструкций с началом холодного периода.

Таким образом, для обогрева памятника были утверждены в проекте и установлены приборы суммарной мощностью (с запасом!) не более 10 кВт. Как правило, включаемая суммарная мощность – не более 6 кВт.

Воздухообмен и вентиляция в храме. Особенности внутренней объемно-пространственной структуры в изучаемом памятнике, как и во многих других церковных зданиях, приводят к наличию зон с затруднённым воздухообменом. Такие

зоны могут существовать, как и в центре здания, так и в его отдалённых фрагментах – углах, апсидах, подкупольных пространствах [11; 12; 13]. Если в церковном здании-памятнике архитектуры проводятся богослужения, имеет место поступление тепла, влаги и углекислого газа от людей, продуктов сгорания и тепла от горящих свечей. Все это негативно отражается на сохранности объектов интерьера и настенных росписей, а также ухудшает комфортность пребывания людей в храме. При любом использовании церковного памятника существует проблема воздухообмена, которую необходимо решать [2; 7; 9; 13; 14; 15].

По существующим строительным нормам в здании должна быть обеспечена кратность воздухообмена, соответствующая числу людей или протекающим технологическим процессам. Такой подход предлагался на начальном этапе проектирования – обеспечение кратности воздухообмена как базового требования по строительным нормам. В общественных зданиях обычно обеспечивают эти требования при помощи приточно-вытяжной вентиляции. В Спасской церкви такое решение имеет серьёзное ограничение. Это ограничение связано с малым объемом храма и наличием живописи практически на всех конструкциях, а, значит, с невозможностью размещения воздухопроводов в объёме памятника. Исходя из описанных ограничений, на памятнике была осуществлена гибридная системы вентиляции как элемента обеспечения микроклимата, дополняющего систему ограниченного подогрева. При этом использовались оконные и дверные заполнения для организации естественной вентиляции и точечного размещения вытяжных вентиляторов [16; 17].

Для организации фоновой вертикальной вентиляции воздуха с естественным побуждением по схеме «снизу-вверх» установлены аэрационные устройства (АУ) – два клапана-хлопушки в окнах барабана, работающие как вытяжные устройства. Вентиляция с использованием АУ осуществляется без вмешательства человека, за счет сочетания факторов внутреннего и наружного климата. При ветре определённых направлений и определённых перепадах температур, между внутренним и наружным воздухом возникает разрежение в плоскости окон и внутренний воздух выходит наружу.

Существуют периоды сочетания климатических параметров, длительность которых зависит от местности и расположения памятника, когда побуждение для естественной вертикальной вентиляции отсутствует. Особенно часто такие периоды возникают в тёплый период года. Для обеспечения вентиляции, кроме клапанов-хлопушек, в системе вентиляции Спасской церкви были установлены вытяжные вентиляторы с дистанционным управлением в западном окне хор и в окне барабана. Такие вентиляторы обеспечивают требуемую вытяжку, что особенно важно для интенсивного проветривания после завершения богослужений или проведения больших групп экскурсантов. В настоящее время отработывается режим работы вентиляторов. Расстановка клапанов-хлопушек и вентиляторов была решена комплексно – после принятия решений о принципах поддержания микроклимата и порядка использования памятника для богослужений и экскурсий.

Приток воздуха идет через дверные проемы и окна. Для открывающихся створок окон выполнено уплотнение подвижных частей при помощи трубчатых уплотнителей из силиконовой резины. Применение плотно прилегающих створок из дерева с минимальным зазором без эластичных уплотнений сильно усложняет эксплуатацию из-за влажностного и ветрового воздействий наружного климата, так как сопровождается заклиниванием створок и прочими нарушениями в работе вследствие изменчивости сечений элементов из древесины под воздействием процессов увлажнения/сушки.

Таким образом, предложенная и осуществлённая система обогрева и вентиляции полостью Спасской церкви совершенно не соответствует подходу к проектированию ОВ согласно нормативным документам строительной отрасли как в Российской Федерации, так и в Республике Беларусь. При взаимодействии с хранителями памятника и разработчиками проекта реставрации – «Белреставрация», а также с подтверждением необходимых показателей расчетными и экспериментальными данными удалось достичь согласования такого «неудобного» проекта в Государственной экспертизе Республики Беларусь. В результате был осуществлён проект реставрации, направленный на обеспечение дальнейшей сохранности памятника. При этом, зачастую, не соблюдалось соответствие строительным нормативам в области создания систем отопления и вентиляции.

Сущность решения по обеспечению микроклимата церкви заключается в том, что естественная вентиляция и подогрев являются децентрализованной системой обеспечения микроклимата церкви, основанной на локальных устройствах и приборах. Такое решение достаточно необычно для систем отопления и вентиляции. Следует отметить, что благодаря созданной при участии авторов системе мониторинга с предоставлением данных в режиме реального времени о тепловлажностном состоянии памятника, созданная система поддержания микроклимата обеспечивает эффективное управление условиями сохранности в храме.

ЛИТЕРАТУРА

1. Богословский В., Сизов Б. Принципы выбора параметров температурно-влажностного режима древних зданий, обеспечивающих их сохранность / В. Богословский, Б. Сизов // Рабочая группа социалистических стран по реставрации памятников истории, культуры и музейных ценностей. Научные исследования в области охраны памятников. Из деятельности Комиссии IV. – Варшава, 1988 г. – С. 10–13.
2. Дорохов, В. Б. Теплофизические методы сохранения древних церковных зданий с учетом тройственной сущности их использования – храм, памятник, музей / В. Б. Дорохов, Т. А. Платонова, В. М. Рожнятовский // Природные условия строительства и сохранения храмов Православной Руси : сб. тр. 3-го Междунар. науч.-практ. симпозиума, г. Сергиев Посад, Троице Сергиева Лавра, Московская область. – 2008. – С. 58–65.
3. Сизов, Б. Т. Развитие принципов нормализации температурно-влажностного режима памятников архитектуры с настенными росписями (на примере собора Рождества Богородицы Ферапонтова монастыря) / Б. Т. Сизов // Сохранение росписей Дионисия 1502 года в соборе Рождества Богородицы Ферапонтова монастыря : материалы междунар. науч.-метод. конф., Кириллов – Ферапонтово, 13–15 сент. 2011 г.
4. Дорохов, В. Б. Применение метода ограниченного подогрева для сохранности живописи и конструкций памятника архитектуры / В. Б. Дорохов, Н. Ю. Пинтелин, Д. Ю. Желдаков // Бюллетень строительной техники. – 2024. – № 11(1083). – С. 62–65.
5. Желдаков, Д. Ю. Химическая коррозия кирпичной кладки. Протекание процесса / Д. Ю. Желдаков // Строительные материалы. – 2019. – № 4. – С. 36–43.
6. Ребрикова, Н. Л. Микромицеты, повреждающие строительные материалы в исторических зданиях, и методы контроля / Н. Л. Ребрикова, О. Н. Назарова, М. Б. Дмитриева // Биологические проблемы экологического материаловедения : материалы конф. – Пенза, 1995. – С. 59–63.
7. Шелкова, Е. Н. Оптимизация микроклимата собора Рождества Богородицы: реализация программы исследований / Е. Н. Шелкова // Сохранение росписей Дионисия 1502 года в соборе Рождества Богородицы Ферапонтова монастыря : материалы междунар. науч.-метод. конф., Кириллов – Ферапонтово, 13–15 сент. 2011 г.

8. Тепловлажностные условия сохранности и микроклимат церкви Бориса и Глеба в Кидекше / В. Б. Дорохов, Г. Ю. Меркушина, М. А. Проньков, А. А. Сушинин // Природные условия строительства и сохранения храмов Православной Руси : материалы 6-го Междунар. науч.-практ. симпозиума / Свято-Троицкая Сергиева Лавра, г. Сергиев Посад, 14–16 сент. 2015 г. – С. 87–102.
9. Проньков, М. А. Микроклимат в Троицком и Преображенском соборах Свято-Троицкого Серафимо-Дивеевского женского монастыря / М. А. Проньков, А. А. Сушинин, В. Б. Дорохов // Святыни земли Нижегородской. Памятники архитектуры на рубеже XIX–XX вв. : Материалы III регион. науч.-практ. конф. – Н. Новгород, 2014. – С. 126–137.
10. Мельникова, И. А. Применение традиционных и современных технологий в деле хранения памятников монументальной живописи (на примере Спасо-Преображенского собора Мирожского монастыря XII в.) / И. А. Мельникова, В. Б. Дорохов, В. В. Лоозе // Музейная климатология – основа сохранения объектов культурного наследия : сб. тр. науч.-практ. конф., Санкт-Петербург, 30 янв. – 01 февр. 2013 г. – СПб. : Эрмитаж, 2014. – С. 129–134.
11. Микроклимат церковных зданий // Министерство культуры РФ, ГОСНИИ Реставрации. – М., 2000.
12. Кочев, А. Г. Микроклимат православных храмов / А. Г. Кочев. – Н. Новгород : ННГАСУ, 2004.
13. Дорохов, В. Б. Взаимосвязь типов организации внутреннего пространства русских церковных зданий и способов оптимизации их микроклимата / В. Б. Дорохов, Р. А. Девина, И. В. Илларионова // Проблемы строительной теплофизики и энергоснабжения в зданиях : сб. докл. конф. – Т. I. Академия Архитектуры и строительных наук НИИСФ. – М., 1997. – С. 96–101.
14. Правдзик, Б. Отопление и вентиляция Софийского Кафедрального собора в г. Новгороде / Б. Правдзик. – СПб., 1894.
15. Правдзик, Б. Отопление и вентиляция храма Юрево-Печерского подворья в г. С.-Петербург / Б. Правдзик. – СПб., 1899.
16. Дорохов, В. Б. Рациональный выбор решений систем климатизации церковных зданий – для обеспечения сохранности зданий, настенной живописи, икон и комфортного микроклимата / В. Б. Дорохов, И. В. Фомин, И. С. Коллегаев // ΕΙΚΩΝΚΑΙΤΕΧΝΗ Церковное искусство и реставрация памятников истории и культуры. Памяти Андрея Георгиевича Жолондзя. – М. : Новый ключ, 2007. – С. 68–73.
17. Дорохов В. Б. Возможности современных технологий для обеспечения микроклимата и тепловлажностных условий сохранности в православных храмах / В. Б. Дорохов, И. С. Коллегаев // Земля Псковская, древняя и современная : Материалы науч.-практ. конф. – Псков, 2011. – С. 14–18.