

Е. А. Сизова
(Москва)

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРНО-
ВЛАЖНОСТНОГО РЕЖИМА В СОВОРЕ ФЕРАПОНТОВА
МОНАСТЫРЯ

В 1981 г. начались работы по комплексной программе реставрационных исследований в соборе Рождества Богородицы. Составной частью программы было исследование температурно-влажностного режима в соборе и разработка рекомендаций по его стабилизации. Исследования проводились лабораторией музейной климатологии ВНИИР. В начале исследовательских работ было проведено визуальное обследование памятника с целью определения надежности защиты конструкций здания от атмосферной и грунтовой влаги, а также степени изоляции внутреннего объема собора от наружного воздуха. На основе предварительного обследования памятника была разработана методика исследования температурно-влажностного режима, в которой было определено количество и расположение точек непрерывных измерений температуры и относительной влажности воздуха. Кроме того, предполагалось провести изучение подвижности внутреннего воздуха в соборе и годовых измерений температуры внутренней поверхности стен.

Для разработки рекомендаций по нормализации температурно-влажностного режима требовалось выявить все факторы, изменившие первоначальный микроклимат здания. Были изучены исторические сведения о строительстве и перестройках собора, папертей и церкви св. Мартинана.

Собор Рождества Богородицы первоначально представлял собой двуглавое четырехстолпное крестовокупольное здание с повы-

шенными центральными подпружными арками и высоким подклетом. Подобный тип конструкции здания сложился в результате последовательного развития строительного опыта и к концу XV столетия имел уже много аналогов. Поэтому в построенном в 1490 г. соборе Рождества Богородицы воплотилась уже сложившаяся высокая строительная культура, включавшая как опыт строительства на сложных глинистых и промерзающих грунтах, так и определенную способность взаимодействия с атмосферными процессами в условиях сурового климата Русского Севера.

В начале XVI в. внутренние стены собора и центральное прясо наружной поверхности западной стены были украшены фресковой живописью. Позднее открытое гудбище вокруг собора перестраивается в крытую паперть, южная часть которой отделяется стеной и становится помещением ризницы. Крытая паперть защищала живопись западного фасада от непосредственного воздействия атмосферных осадков и сглаживала резкие колебания температуры и влажности наружного воздуха. Это способствовало лучшей сохранности порталной фрески и одновременно изменило температурный режим стен собора.

Во второй половине XVI в. у южного фасада собора, на месте захоронения игумена Мартинаана, возникла деревянная церковь. В 1640 г. на её месте была возведена каменная шатровая церковь. Пристройка церкви лишила возможности прогрева солнечной радиацией южную стену подклета собора. Церковь имела печное отопление, которое обеспечивало прогревание стен не только самой церкви, но и примыкающего к ней подклета собора, что положительно сказывалось на микроклимате этих помещений.

В XVII в. над собором была устроена четырехскатная кровля, скрывающая под собой закомары собора и барабан Никольского придела. Так образовалось чердачное помещение над сводами собора, изменившее температурный режим верхней части здания. В это же время была сделана новая глава центрального барабана и заменены стгнившие деревянные связи конструкции здания на железные. В западной стене было пробито новое окно.

В 1798 году Ферапонтов монастырь был упразднен, и собор с этого времени до начала XX в. практически не эксплуатировался. Здание стояло закрытым, постепенно ветшало. В первой половине

ХІХ в. к церкви св.Мартиниана была пристроена алтарная апсида и трапезная. Церковь и трапезная отапливались двумя печами. Трапезная соединилась с помещениями подклета ризницы дверью и двумя окошками. Благодаря проникновению теплого и сухого воздуха в подклет, в нем происходило прогревание внутренней поверхности стен и снижалась влажность воздуха. Позднее стены трапезной церкви были расписаны. Вероятно, в это время было заложено окно из камеры подклета ризницы в трапезную, и в подклете ризницы образовалось плохо проветриваемое помещение с застойным воздухом. После перестроек лестницы западной паперти было заложено также небольшое щелевидное окошко в стене еще одного помещения подклета западной паперти. Это нарушило его естественную вентиляцию.

Прекращение отопления церкви св.Мартиниана после ее закрытия ухудшило микроклимат подклета. Запустение территории монастыря привело к засорению колодцев и старых дренажей, в результате чего стены древних зданий оказались под сильным воздействием грунтовой влаги. К началу ХХ в. собор Рождества оказался в аварийном состоянии. Когда начались реставрационные работы, отмечалось, что стены четверика собора из-за осадки фундамента дали большие трещины, от воздействия грунтовых вод сильно разрушилась кладка стен подклетов. Оконные заполнения собора пришли в негодность, кровли требовали срочного ремонта.

При производстве реставрационных работ был укреплен фундамент собора и возобновлены их своды, разобран сгнивший деревянный пол и заменен цементным с деревянным настилом, реставрированы оконные проемы, для которых были сделаны новые рамы, отремонтирована кровля.

После закрытия монастыря собор, а позднее и остальные церкви перестали использоваться и долгие годы стояли закрытыми.

В настоящее время Ферапонтов монастырь, филиал Кирилло-Белозерского историко-художественного и архитектурного музея-заповедника, принимает ежегодно до 5 тысяч посетителей. С 1974 года специалистами "Союзреставрации" проводились контрольные измерения температуры и относительной влажности воздуха, в результате чего были даны первые рекомендации по проветриванию собора и закрытию его для посещения на весь холодный период года с ноября по апрель 1.

В 1981 году началось систематическое изучение температурно-влажностного режима собора, паперти, церкви св. Мартиниана и подклетов.

Для измерений температуры и относительной влажности воздуха использовались простые в эксплуатации и достаточно надежные приборы: термографы М—16 и гигрографы М—21. Контроль за работой самописцев периодически осуществлялся аспирационным психрометром МВ—4 М.

Измерение параметров воздуха производилось в трех различных по высоте зонах: в нижней части центральной алтарной апсиды, в средней части внутреннего пространства на уровне сохранившегося тябла иконостаса и в основании барабана. Полученные данные позволили изучить колебания температурно-влажностных параметров воздуха в различных точках внутреннего пространства собора, оценить особенности его микроклимата, эффективность воздухообмена во всех зонах при различных схемах проветривания, а также проанализировать результаты многолетних наблюдений.

В примыкающих к собору пристройках приборы были поставлены в северной и западной папертях, в ризнице и церкви Мартиниана. Для оценки влияния наружных метеоусловий на микроклимат собора были установлены приборы на открытой площадке колокольни.

Периодически измерялась температура и относительная влажность воздуха в помещениях подклета собора и на чердаке.

Кроме того, фиксировалась температура внутренних поверхностей стен собора различной ориентации по сторонам света и на трех уровнях высоты, а также поверхности стены с фресковой живописью в церкви Мартиниана.

Эффективность проветривания контролировалась измерением температуры и скорости движения воздуха при помощи термоселектроанемометра ТА—9.

Для описания годового цикла изменения температуры и относительной влажности воздуха в соборе были выделены следующие периоды, исходя из состояния температуры внутреннего воздуха: весенний период (от 0 до +10°C), летний (от +10°C и выше), осенний (от +10°C до 0°C) и зимний (ниже 0°C).

По результатам многолетних наблюдений наиболее длительным является зимний период, составляющий 45—50% всего года. Летний

период составляет 35--40%, а весенний и осенний периоды довольно короткие и составляют вместе от 10 до 20% всего года. Продолжительный зимний период является одновременно и периодом с особенно высокой относительной влажностью внутреннего воздуха. Минимальная среднемесячная температура воздуха в соборе наблюдается в январе—феврале. В 1982--1985 гг. эти значения колебались в интервале от $-16,5^{\circ}\text{C}$ (февраль 1983 г.) до $-7,5^{\circ}\text{C}$ (февраль 1984 г.).

Изменение параметров воздуха в нижней, средней и верхней зонах собора и перераспределение соотношения этих параметров относительно друг друга в течение года определено архитектурными особенностями собора Рождества Богородицы, такими как наличие пристроек с западной, северной и южной сторон, различная толщина стен четверика, сводов и барабана, различные площади остекления в четверике и барабане и др.

Наличие лесов в соборе, препятствующих естественному воздухообмену, делает разделение значений параметров воздуха по трем зонам высоты еще отчетливее.

Зимой барабан и своды собора быстро охлаждаются. В нижнюю зону собора поступает холодный воздух через неплотности дверных заполнений. Поэтому в средней зоне температура воздуха на $2-3^{\circ}\text{C}$ выше, чем в верхней, и на $1,5^{\circ}\text{C}$ выше, чем в нижней зоне. В марте возрастает скорость прогревания здания. При этом в верхней зоне собора этот процесс происходит активнее, чем в двух других. Разность температур между нижней и верхней зонами в отдельные дни достигает 7°C . При этом колебания температуры воздуха происходят плавно. Суточные амплитуды колебаний не превышают $0,5^{\circ}\text{C}$.

Относительная влажность воздуха на протяжении всего зимнего периода постепенно нарастает, достигая в марте максимальных значений до 100%. В 1982--1985 гг. среднемесячные значения относительной влажности колебались в интервале от 83% (1984) до 95% (1983). В это время в барабане, на парусах, подпружных арках и сводах собора образуется обильный слой инея. Для уменьшения количества проникающего в собор влажного наружного воздуха осенью необходимо проводить уплотнение дверных и оконных проемов.

После сравнительно теплой зимы 1983—1984 гг. выпадение небольшого количества инея было только в Никольском приделе. Зимой 1984—1985 гг. среднемесячные температуры воздуха в соборе в январе и феврале были соответственно на 5 и 6°C ниже, чем в предыдущем году. Из-за сильного промерзания стен собора весной образовался иней в центральном барабане, на парусах, подпружных арках и в Никольском приделе. Защита собора от проникновения внутрь влажного наружного воздуха препятствует образованию инея на внутренней поверхности стен и, следовательно, уменьшает степень увлажнения фресок при таянии инея. По натурным наблюдениям, а также по фотографиям, выполненным сотрудниками теплового отдела ВНИИР, можно заметить связь между некоторыми характерными рисунками размытий красочного слоя на отдельных участках фресковой живописи и характером изменения инея в процессе его таяния. В виду этого качество консервации памятника на зимний период можно рассматривать не только как меру общей стабилизации температурно-влажностного режима в соборе, но и как средство борьбы с конкретным видом разрушения красочного слоя фресковой живописи.

В апреле температура внутреннего воздуха достигает положительных значений. В это время температура воздуха устанавливается с нарастанием от нижней зоны к верхней. Градиент температуры постепенно возрастает от 1°C до 3,5—4°C в мае. В этот период начинается проветривание папертей и ризницы, а затем и всего внутреннего пространства собора, способствующее уменьшению температурного градиента. В мае процесс прогрева собора достигает наибольшей активности. Среднемесячные температуры воздуха мая за 1982—1985 гг. изменялись от 4,7°C (1985) до 8,5°C (1984). Среднемесячная относительная влажность внутреннего воздуха изменялась в интервале от 77,5% (1984) до 85% (1985).

В июне и июле продолжается прогрев собора. Температура воздуха в соборе остается возрастающей по высоте. В августе похолодание начинается в верхней зоне. Соотношение температур устанавливается по осеннему типу, с постепенным возрастанием к низу. При достижении температуры воздуха в нижней зоне +10°C собор закрывается на консервацию.

Годовой цикл измерений температуры внутренней поверхности стен различной ориентации по сторонам света и на различной

высоте позволил получить данные о температурном режиме стен здания по сезонам года. В весенний период процесс прогрева стен четверика происходит неравномерно. Восточная стена прогревается быстрее, т.к. из-за отсутствия пристроек снаружи полностью открыта воздействию солнечной радиации. Западная и северная стены, окруженные крытой палертью, прогреваются в нижней части теплым наружным воздухом, поступающим сюда во время проветривания. С южной стороны доступ теплого воздуха ограничен помещением ризницы, поэтому южная стена обладает наибольшей тепловой инерционностью. Соотношения температур южной ($T_{\text{ю}}$), северной ($T_{\text{с}}$), западной ($T_{\text{з}}$) и восточной ($T_{\text{в}}$) стен четверика для нижней зоны в весенний период можно описать равенством: $T_{\text{ю}} = T_{\text{с}} - 0,3 = T_{\text{з}} - 0,3 = T_{\text{в}} - 0,3$ (1). Температура наружной поверхности западной стены собора в это время примерно на $2-4^{\circ}\text{C}$ выше, чем внутренних. Процесс прогрева стен не является только поступательным. При резких похолоданиях, например, происходит сначала выравнивание температур: $T_{\text{ю}} = T_{\text{с}} = T_{\text{з}} = T_{\text{в}}$ (2), а затем, при дальнейшем остывании, соотношения температур складываются по осеннему типу (3). В середине лета разность в температуре стен исчезает. Температура внутренней поверхности стен собора достигает максимального значения $20 \pm 1^{\circ}\text{C}$. Осенний процесс остывания стен описывается равенством: $T_{\text{ю}} = T_{\text{с}} + 0,2 = T_{\text{з}} + 0,2 = T_{\text{в}} + 0,4$ (3). Южная стена в силу тепловой инерционности охлаждается медленнее, чем остальные. Начиная с ноября температура стен собора начинает быстро падать. Разность температур стен становится следующей: $T_{\text{ю}} = T_{\text{с},з} + 0,6^{\circ}\text{C} = T_{\text{в}} + 1,0$ (4). Примерно такое соотношение температур будет сохраняться до середины зимы, а затем опять начнется прогрев по соотношению (1). При резких изменениях погодных условий -- кратковременно по соотношению (2) и (3).

Особенности температурного режима стен собора определили правила проветривания собора по сезонам года.

Исходя из результатов анализа годового температурно-влажностного режима была разработана и внедрена методика проветривания собора. Методика применялась с целью увеличения периода положительных температур воздуха и стен собора, снижения относительной влажности, с помощью контролируемого проветривания и создания к началу зимы благоприятных микроклиматичес-

ких условий. Внедрение методики началось с весны 1983 г.² Весеннее проветривание собора началось в период быстрого повышения температуры наружного воздуха. Медленно прогревающиеся стены собора в это время конденсируют часть влаги, поступающую в собор с наружным воздухом. Проветривание дает возможность интенсивно прогреть внутреннюю поверхность стен и, следовательно, быстрее нормализовать температурно-влажностный режим собора.

Использование различных способов проветривания дало возможность регулировать направление и объем поступающего в собор воздуха в зависимости от метеорологических условий и архитектурно-строительной планировки здания. Были выбраны следующие типы проветривания:

- проветривание паперти и ризницы, т.е. прогревание наружных стен собора;
- проветривание собора малой интенсивности, т.е. одностороннее, с открытием либо одной из дверей, либо алтарных окон;
- проветривание средней интенсивности, т.е. сквозное, с открытием дверей и окон собора;
- проветривание высокой интенсивности, т.е. сквозное проветривание нижней части собора и вертикальное — с открытием форточек в окнах барабана.

Результаты проветривания весной показали, что в течение одного дня удавалось прогреть внутренний воздух на $1-2,5^{\circ}\text{C}$. Многократное проветривание значительно ускоряет прогрев стен собора.

Проветривание собора во время сильных ветров различного направления показало, что правильно выбранные варианты организации воздухообмена и постепенное наращивание его интенсивности с помощью открывания тех или иных оконных или дверных проемов дает хорошие результаты, одновременно не превышая установленных скоростей изменения параметров внутреннего воздуха.

Количество дней, пригодных для проветривания в весенне-летний период, составляет от одной трети до половины каждого месяца. Положительный эффект от проветривания выражается либо в повышении температуры внутреннего воздуха, либо в снижении его влагосодержания, либо одновременно по двум параметрам вместе.

Кроме стабилизации параметров внутреннего воздуха положительный эффект от проветривания включает и ликвидацию застойных зон воздуха, что препятствует распространению на стенах собора биологических разрушителей. Эффективность проветривания собора контролировалась путем измерений температуры и скорости движения воздуха с помощью термоэлектроанемометра ТА-9. Измерения показали, что в нижней зоне собора при интенсивном проветривании происходит движение воздуха со скоростью 0,06--0,10 м/сек. Однако данные измерений по высоте собора показывают, что происходит постепенное снижение скорости движения воздуха, так, что уже в основании барабана оно становится минимальным, едва доступным для измерения. Поэтому необходимо максимально использовать погодные условия для увеличения длительности проветривания. Измерения скорости движения воздуха в различных точках внутреннего пространства собора позволили изучить воздушные потоки при различного типа проветривании и определить наличие застойных зон.

Включение в исследования температурно-влажностного режима собора, изучение микроклимата окружающих пристроек позволило получить следующие результаты.

Ход температуры воздуха на западной и северной папертях повторяет ход наружных температур с запозданием и меньшей амплитудой. Сравнение хода температур на папертях с аналогичным процессом в соборе показывает, что последний протекает с еще меньшей амплитудой и с большим запаздыванием. Характер изменения относительной влажности воздуха на папертях в сравнении с такими же изменениями в соборе и снаружи аналогичен ходу температурных процессов. При этом микроклимат ризницы в значительной степени совпадает с температурно-влажностным режимом в нижней зоне собора. Таким образом, паперти сглаживают влияние внешних метеословий на микроклимат собора.

Температурно-влажностный режим подклетов собора, папертей и ризницы наиболее неблагоприятен по сравнению со всем остальным комплексом. Весной и почти всю первую половину лета стены подклета покрыты конденсационной влагой. Прогревание стен происходит медленно, т.к. влиянию солнечной радиации подвержена только восточная часть стен, остальные же прогреваются только от теплого наружного воздуха, поступающего в подклет при про-

ветривании. Такие условия способствуют быстрому распространению на деревянных подпорных балках грибов. Отдельные участки кладки стен поражены плесенью.

Проветривание подклета контролировалось путем измерения температуры и скорости движения воздуха в различных точках. При проветривании подклета только через алтарные окна и дверной проем в центре помещения скорость движения воздуха 0,08 м/сек., в юго-западной его части эти скорости еще меньше и не превышают 0,02 м/сек. При таком проветривании не обеспечивается нормальная вентиляция и образуются застойные зоны воздуха. Поэтому при проветривании подклета особенно важно использовать все возможности для увеличения естественного воздухообмена. Так, при организации дополнительного воздухообмена в подклете через подклет ризницы и соединяющуюся с ним трапеznąю церкви Мартинаиана скорость движения воздуха возрастает до 0,50--0,75 м/сек. Измерения, проведенные в изолированной камере подклета западной паперты, показали, что температура воздуха у входа и в центре помещения различается в отдельные дни на 4°C, движение воздуха здесь отсутствует. Такое же положение и в камере подклета ризницы. Нарушение вентиляции произошло вследствие закладки оконных проемов при поздних перестройках. Влияние микроклимата подклета на микроклимат собора и церкви св. Мартинаиана прослеживается определенно. В разные периоды года оно не однозначное. Безусловно отрицательно сказывается это влияние на сохранность фрески в церкви Мартинаиана.

Церковь св. Мартинаиана не имеет подклета. На ее температурный режим оказывает сильное влияние температура земли. В осенний и зимний периоды температура воздуха на 0,5--1,5°C выше, чем в соборе, а весной и в начале лета несколько ниже. Сравнение температуры и относительной влажности воздуха в церкви за несколько лет показало, что в целом ход годовых среднемесячных температур воздуха независим от различных погодных условий каждого года аналогичен, т.к. частые колебания температур наружного воздуха сглаживаются высокой тепловой инерционностью стен. Именно поэтому проветривание церкви не дает таких очевидно положительных результатов, как в соборе. Температурный режим церкви раньше поддерживался путем отопления. Для этого в церкви устроены две печи: в алтаре и при входе в трапезную.

Отсутствие отопления церкви в настоящее время препятствует нормализации в ней температурно-влажностного режима и неблагоприятно сказывается на режиме подклета собора.

Кроме подклета и пристроек на микроклимат верхней части собора оказывает влияние температурно-влажностный режим чердачного помещения. Общий ход изменения температуры и относительной влажности воздуха повторяет с меньшей амплитудой аналогичные изменения наружных параметров. В солнечные дни наблюдалось резкое повышение температуры воздуха из-за перегрева крыши. Измерения скорости движения воздуха показали, что наружный воздух свободно проникает на чердак через продухи и щели между кровлей и стенами четверика собора. Например, при скорости движения наружного воздуха 0,80--2 м/сек. скорость в средней зоне чердачного помещения равняется 0,25 м/сек. Поэтому резкие колебания температуры крыши собора смягчаются воздушным слоем чердака, вследствие чего своды собора смазываются защищенными от температурных перегрузок.

В месте примыкания четырехскатной крыши к стене барабана собора существуют щели, через которые дождевая вода, стекая по стене барабана, попадает к его основанию и впитывается в кладку стены. Постоянное увлажнение этой части стен собора вызвало сильные разрушения штукатурного грунта и красочного слоя на внутренней поверхности стен барабана.

Исследования температурно-влажностного режима и внедрение методики проветривания собора осуществлялись одновременно с разработкой и внедрением рекомендаций по реставрации конструкций собора.

Для защиты от атмосферной влаги в рекомендации были включены следующие мероприятия: устройство водостоков и отмостки, удлинение выноса кровли алтаря, ремонт кровли папертей. Особое внимание уделялось герметизации швов в местах примыкания кровли папертей к стенам четверика и кровли собора к стене барабана.

Для защиты от грунтовой влаги было рекомендовано возобновление дренажной системы, а также производство вертикальной планировки территории монастыря.

Для уменьшения воздействия конденсационной влаги на стены собора, папертей, церкви Мартинаиана и подклетов была разработана и внедрена методика проветривания этих помещений, а также и ряд дополнительных мероприятий. К их числу относится замена одинарных оконных заполнений в соборе на двойные с уплотнением всех щелей, а также уплотнение мест примыкания дверей к стенам собора. Таким образом нерегулируемый доступ наружного воздуха в собор будет сведен к минимуму. Для увеличения воздухообмена в соборе во время проветривания были даны рекомендации по установке в окна барабана собора незадуваемых аэродинамических решеток совместно с клапанами-хлопушками. Вентиляционные устройства будут установлены в нижней части окон барабана, выходящих наружной стороной в помещение чердака собора. Это позволит сохранить неизменной освещенность фресковой живописи.

Для устройства регулируемого воздухообмена в подклете собора было рекомендовано сделать дверные и оконные заполнения. Увеличение естественного воздухообмена в подклетах может быть достигнуто как включением в схему проветривания трапезной церкви Мартинаиана и подклета ризницы, так и раскрытием заложённых при поздних перестройках окон в двух небольших камерах подклета. В настоящее время эти рекомендации находятся в стадии внедрения. В перспективе, после внедрения первоочередных рекомендаций, дальнейшая нормализация температурно-влажностного режима в подклете может быть достигнута ограниченным отоплением церкви св. Мартинаиана³.

Примечания:

1 Сизов Б.Т. Наблюдения за температурно-влажностным режимом собора Рождества Богородицы Ферапонтова монастыря. — Научный реферативный сборник, вып.2. М., 1982.

2 Девина Р.А., Илларионова И.В., Сизова Е.А., Бойко В.А. Нормализация температурно-влажностного режима собора Рождества Богородицы Ферапонтова монастыря с помощью проветривания. М., 1985, с.1—7 (Реставрация и консервация музейных ценностей.

/Информкультура. ГБЛ.Экспресс-информация, вып.3).

3 Изучение температурно-влажностного режима и рекомендации по его нормализации в соборе Рождества Богородицы Ферапонтова монастыря. Отчет. М., 1983, 114 с. № Гос.регистрации С182.1 054537.