Источник: Сизов Б.Т. Теплофизические аспекты сохранения памятников архитектуры. В журн. «АВОК», № 1, 2002. Все права сохранены.

Размещение электронной версии в открытом доступе произведено: www.abok.ru. Все права сохранены.

Размещение в библиотеке «РусАрх»: 2009 г.

**Б.Т. Сизов**

**ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ СОХРАНЕНИЯ ПАМЯТНИКОВ АРХИТЕКТУРЫ**

Одними из самых сложных объектов культурного наследия с точки зрения их сохранения являются памятники архитектуры. Прежде всего это обусловлено влиянием на них нерегулируемых природных факторов, в том числе климатических. В результате этих воздействий происходит старение материалов, приводящее к потере эстетических свойств отдельных элементов памятника и, в конечном итоге, к его физическому разрушению. Среди способов защиты конструкций и материалов древних зданий весьма важную роль играют теплофизические методы.

Научное внимание к вопросам температурно-влажностного режима памятников архитектуры\*, оптимальным параметрам и способам их поддержания возникло в 60-х годах прошлого века. В обсуждении и разработке проблемы приняли участие специалисты естественнонаучных, гуманитарных и технических областей знаний: музейные хранители, архитекторы, теплофизики, инженеры-строители, историки, искусствоведы. Многолетняя полемика между представителями «музейного» хранения, предлагающими в качестве оптимальных постоянные во времени температуру и относительную влажность внутреннего воздуха (t=18°C и =55%), и сторонниками «естественного» бытования неотапливаемых зданий сопровождалась масштабными научными исследованиями. В 1970–1980-х годах были изучены механизмы разрушения древних материалов под воздействием различных тепловлажностных условий, проведены обстоятельные натурные исследования температурно-влажностного режима ряда памятников (соборы Московского Кремля, мавзолей Гур-Эмир в Самарканде, памятники Ленинградской, Новгородской областей и других регионов России), собраны исторические сведения о режимах содержания древних зданий.

Подобный междисциплинарный подход позволил более определенно понять роль и возможности строительной теплофизики в сложной комплексной проблеме сохранения архитектурного наследия.

Теплофизические методы сохранения направлены на стабилизацию термодинамического состояния конструкций (камня, кирпича, фресковых штукатурок и т. д.) как сложной гетерогенной системы. Известно, что интенсивность процессов переноса энергии (тепла) и вещества в твердом теле, обуславливающих его старение, связана с изменением граничных условий [1] или, другими словами, с изменением параметров окружающей среды. Под параметрами среды мы, прежде всего, понимаем температуру и относительную влажность воздуха, которые можно регулировать определенным образом, позволяющим снизить интенсивность процессов старения материала и обеспечить его сохранность. В музейных условиях это требование выполнить просто. Достаточно в помещении или витрине, где находятся экспонаты, поддерживать постоянные температуру и влажность.

|  |
| --- |
| Тентовая конструкция с вантовым креплением защищает от атмосферных воздействий постройку |
| **Рисунок 1.**Храм Аполлона Эпикурейского V в. до н. э., расположенный в горах западного Пелопоннеса (Греция). Тентовая конструкция с вантовым креплением защищает от атмосферных воздействий постройку размером 38,24х14,48 м и позволяет создавать с помощью простых воздушных обогревателей микроклимат, необходимый для сохранения памятника. Греческие реставраторы рассматривают такую защиту как временную (на 15-20 лет), пока не будут найдены составы для консервации данного виды мрамора. |

Гораздо сложнее обстоит дело с памятниками – зданиями, находящимися на открытом воздухе, параметры которого непрерывно меняются. В этом случае нужно или изолировать памятник от внешних воздействий, как это сделано, например, с храмом Аполлона Эпикурейского в Греции (рис. 1), или менять температуру и относительную влажность воздуха внутри здания таким образом, чтобы «компенсировать» воздействие внешнего климата, то есть снизить тепломассоперенос через конструкции (материалы). Такой подход, во-первых, предполагает системное рассмотрение сохраняемого памятника архитектуры во взаимодействии с окружающей средой (климатом данной местности), а во-вторых, изменяет традиционное понятие «ограждающей конструкции». Мы уже должны рассматривать ее не только как элемент, обеспечивающий заданный микроклимат помещения, но и как объект, подлежащий сохранению.

Приведем некоторые примеры содержания и эксплуатации древних зданий, позволяющие определить развитие подходов к их сохранению.

Большинство каменных культовых построек (соборов и церквей), возведенных до XVIII в., были не отапливаемыми. Можно выделить два режима их содержания.

Большие по размерам отдельно стоящие здания, как правило, закрывались на зиму («от Покрова до Пасхи», то есть с 14 октября по апрель – начало мая по новому стилю). В этот период службы обычно проводились в расположенной рядом небольшой отапливаемой церкви. Подобные примеры можно видеть в соборе Св. Георгия ХII в. в Старой Ладоге, приходской церкви Козьмы и Дамиана в Суздале (конец XVII в.) (рис. 2).

|  |
| --- |
| Церковь Козьмы и Дамиана в Суздале |
| **Рисунок 2.**Церковь Козьмы и Дамиана в Суздале, конец XVII в. На переднем плане небольшой отапливаемый зимний храм. |

Соборы и церкви, имеющие теплые пристройки (трапезные палаты, притворы и т. д.), функционировали и в зимнее время, ограниченно обогреваясь с помощью теплого воздуха, поступающего через дверные проемы из этих помещений. Однако в ряде случаев, особенно на севере Руси, применение такого способа обогрева заставляло вносить

изменения в конструкции интерьера здания. Так, например, в церкви Введения (начала XVI в.) с трапезной и в Больничной церкви Евфимия (XVII в.) (рис. 3) Кирилло-Белозерского монастыря были сооружены внутренние пониженные своды, которые обеспечивали сохранение тепла зимой в нижних зонах зданий.

|  |
| --- |
| Обмерный чертеж (разрез) Больничной церкви Евфимия |
| **Рисунок 3.**Обмерный чертеж (разрез) Больничной церкви Евфимия (XVII в.) Кирилло-Белозерского монастыря, Вологодская обл. (показан пониженный поздний свод) |

Весьма примечательно одно изменение, происшедшее в русской архитектуре, тесно связанное с режимом содержания зданий и климатическими особенностями: начиная с XIV в. в культовых постройках появляется такая часть здания, как подклет, представляющая для нас несомненный интерес.

В первоначальном типе крестово-купольного храма, заимствованного Русью в Византии, подклета не было. Впервые подклет появляется в царских теремных церквях – Благовещенском соборе Московского Кремля. В дальнейшем, начиная с XV в., подклет уже встречается в отдельно стоящих культовых постройках, не связанных с другими зданиями. В качестве наиболее ярких примеров архитектурных сооружений такого рода можно назвать собор Рождества Богородицы XV в. Ферапонтова монастыря, Церковь Вознесения в Коломенском XVI в. (рис. 4), Смоленский собор XVII в. Новодевичьего монастыря в Москве (рис. 5) и др. Возникновение подклета наряду с архитектурными (например, стремлением увеличить высоту храма) и конструктивными (удобством соединения с жилыми помещениями) требованиями можно объяснить желанием улучшить комфортность (тепловлажностные условия) внутри здания и обеспечить его сохранение. Наличие подклета в значительной степени объясняет уникальную сохранность фресок Дионисия в Ферапонтовском соборе.

|  |  |
| --- | --- |
| Церковь Вознесения в Коломенском | Смоленский собор |
| **Рисунок 4.**Церковь Вознесения в Коломенском XVI в. | **Рисунок 5.**Смоленский собор XVII в. Новодевичьего монастыря в Москве |

Позднее подклет трансформируется в низкий зимний храм, отопление которого в холодный период создает тепловлажностные условия, способствующие сохранению верхней церкви и ее убранства. Примерами такого решения служат Владимирская церковь в селе Куркино и Троицкая церковь, что в Марчугах, Фаустово (Московская обл.), церковь Покрова в Филях XVII в. в Москве (рис. 6) и ряд других построек XVII–XVIII вв.

Можно предположить, что и некоторые другие элементы русской церковной архитектуры: замена шлемовидной формы покрытия глав луковичной, устройство «глухих» барабанов, не сообщающихся с основным объемом храма, отчасти были обусловлены климатическими условиями Руси и явились мерами по улучшению режимов содержания и сохранения древних зданий. «Отсечение» первоначальных световых барабанов от основного объема не редкий прием, который использовали для улучшения тепловлажностных условий внутри уже существовавших церковных зданий (Никольский предел Рождественского собора Ферапонтова монастыря).

Существуют и единичные примеры улучшения теплозащитных свойств традиционных конструкций древних памятников. В 1980 году при реставрации Архангельского собора Московского Кремля на своде главы Покровского предела XVI в. были обнаружены остатки войлочной теплоизоляции. При шлемовидной форме главы предела металлические кровельные листы (или черепица) укладываются практически по тонкому кирпичному своду. Такая конструкция легко промерзает в московском климате. Для предотвращения этого явления древние зодчие проложили между покрытием и сводом войлок, защищенный от гниения известью.

Со времени применения в зданиях воздушных металлических связей появился способ защиты от коррозии металла, заведенного в стену, и одновременного предотвращения конденсационного увлажнения участков примыкающей каменной кладки, обусловленного высокой теплопроводностью металла. Такая комплексная защита достигалась путем оборачивания концов связей, находящихся в контакте с камнем, необезжиренной овечьей шерстью, которая служила теплоизоляцией и одновременно, обладая гидрофобными свойствами, защищала металл от влаги, находящейся в камне. Примеры такого использования необезжиренной овечьей шерсти найдены при реставрации Троицкой церкви XVIII в. в Свиблово.

Перечень можно было бы дополнить появлением водосточных труб вместо водометов, увеличением выноса кровли, появлением четырехскатного покрытия на месте позакомарного и другими многочисленными, постепенно накапливающимися примерами защиты памятников от природных разрушающих факторов. Не без оснований полагают наличие четырехскатной кровли Ферапонтовского собора одним из важнейших факторов сохранения живописи Дионисия.

Приведенные примеры заставляют с большой осторожностью и вниманием относиться к «поздним наслоениям», существование которых может быть жизненно важным для памятника.

С сожалением приходится теперь вспоминать об утраченных (по незнанию) в первой половине XIX в. обстройках уникального памятника домонгольской эпохи – Дмитриевского собора во Владимире – в результате приведения его по распоряжению Николая I в «первобытный» вид. Не меньший вред с точки зрения сохранности нанесла реставрация середины XX в. Софийскому собору в Вологде. Для придания зданию первоначального вида (вполне обоснованного теоретически) были удалены крыльца, служившие своеобразными тамбурами при входе в собор. Первый пример может быть объяснен «…очень поверхностным уровнем предшествующих реставрации исследований»\* и отсутствием теории, чего совершенно нельзя сказать о втором. В том и в другом случаях (без исследований и теории или при их наличии) явно преобладал архитектурно-искусствоведческий подход без достаточного анализа (прогноза) влияния предполагаемых изменений на сохранность и удобство пользования зданием – факторам, которым уделяли самое пристальное внимание древние зодчие.

|  |
| --- |
| Церковь Покрова в Филях |
| **Рисунок 6.**Церковь Покрова в Филях XVII в. в Москве. В первом этаже располагается отапливаемый зимний храм. |

В результате, занимаясь в настоящее время вопросами сохранения памятников архитектуры, нормализации в них температурно-влажностного режима, мы вынуждены «сочинять» уродливый тамбур внутри Дмитриевского собора или же придумывать замену утраченным крыльцам Софийского собора, чтобы избежать прямого попадания наружного воздуха внутрь памятника при неподходящих погодных условиях, то есть воссоздавать то, что уже было сделано древними мастерами.

|  |
| --- |
| Определения парных значений температуры и относительной влажности воздуха, обеспечивающих постоянство влагосодержания капиллярно-пористых материалов, на основе анализа изотерм сорбции |
| **Рисунок 7.**Определения парных значений температуры и относительной влажности воздуха, обеспечивающих постоянство влагосодержания капиллярно-пористых материалов, на основе анализа изотерм сорбции |

Однако вернемся к режимам содержания древних зданий. Как мы говорили, большинство соборов и церквей, возведенных до ХVIII в., не отапливались. Единственным способом поддержания микроклимата неотапливаемых зданий было и остается регулируемое проветривание.

В качестве первого письменного источника об эксплуатации здания в зимний и весенне-летний периоды следует назвать «Иконописный подлинник» Никодима Сийского XVII в. [2]. Это «наставление» монаха-иконописца настолько интересно, что уместно привести его полностью:

*«Оглавление о церквах каменных и древяных и о иконах и о ризнице и книгохранительнице и о прочих церковных потребах кои затворены бывают в зимное время и когда их потребно от зимы просушивати.*

*Марта месяца числе церковныя окна в ясныя ведренныя дни и в хлад ветра тепла в 3-м часу дни отворяти и за два часа до вечера затворяти. Аще и мразно тогда но ветрами вешними всякия вещи сиречь церковныя потребы зело сушить и холод ис церкви изводить и во внутренних пределех сушить и удобно творить. Потребно и в потомныя сиятельныя дни в ведренное время и егда хлад ветра блага отворяти окна и церковныя двери ради церковной просушки и прочих выше помянутых статей. А егда дождь и тепло велие или пасмурное время з дождем продолжающим тогда церковь и окна затворяти и отпоти в церкви не будет и никоего повреждения ни же тления церковным вещем. А когда буде мокро на иконах явится сиречь отпоть от воздушныя теплоты губою мяхкою грецкою или платом чистым мяхким белым излехка мокроту отирати смотрителне чтоб повреждения не учинить золотой инокопи и краскам тогда олифа проста и левкас. От намочки на иконах хранитися должно дождливых времен церковь затворяти тогда. В ведренныя ж и в сиятельныя дни и в потребныя ветры церковь и окна вселетно отворяти должно. Благотрудие похвально и мзда от бога готова».*

Этот текст включает сведения о необходимости консервации неотапливаемых зданий на зимний период, правил их прогрева весной и рекомендации о предпочтительных для проветривания погодных условиях и времени дня, то есть, по сути, соответствует современной методике содержания и проветривания неотапливаемых памятников, но, конечно, только по сути. С современных научных позиций приведенные формулировки расплывчаты и допускают неоднозначность их практического использования. Но не будем преувеличивать или уменьшать значение этого «наставления». Оно содержит сведения о восприятии и понимании проблемы нашими предками, которое было не столь глубоким, но гораздо более цельным.

На Руси (а в Новгороде до начала XX в.) применялся оригинальный и достаточно точный по физической сути способ определения возможности проветривания неотапливаемых церквей. В наиболее холодной части здания стояла массивная стеклянная бутыль с водой, которую периодически выносили на улицу. Если при этом стекло запотевало, это означало, что наружный воздух, попадая внутрь и взаимодействуя с элементами интерьера, имеющими ту же температуру, что и бутыль, будет вызывать выпадение конденсата. То есть производить проветривание в такие периоды нельзя.

В более конкретной форме подобные правила были опубликованы одним из основоположников архитектурной реставрации в России П. П. Покрышкиным в 1915 году [3] и уточнены известным советским теплофизиком К. Ф. Фокиным в 1970 году [4]: «Если точка росы наружного воздуха выше температуры внутренней поверхности стены, проветривать нельзя. Если ниже, то есть влагосодержание наружного воздуха небольшое, проветривать можно».

Однако описанный древний способ проветривания, основанный на взаимодействии влажного воздуха со стеклянной охлажденной поверхностью, и формулировка Фокина не принимают во внимание особенностей конденсации водяных паров в капиллярно-пористых материалах. Исследования сорбционных свойств древних материалов показали, что влагосодержание этих материалов начинает резко возрастать при относительной влажности окружающего воздуха 85–90%. При такой влажности начинается капиллярная конденсация. Для предотвращения (снижения интенсивности) этого процесса было предложено проветривать памятник в такие периоды, когда точка росы наружного воздуха (tт.р. н.в.) на 1,5–2,0 °С ниже температуры стены (tстены), иными словами, когда величина относительной влажности наружного воздуха при соприкосновении его с холодной внутренней поверхностью стены будет возрастать не до 100, а только до 80–85%.

Условия проветривания неотапливаемых памятников архитектуры, в общем виде, можно сформулировать следующим образом.

Для прогрева памятника и недопущения выпадения конденсата необходимо выполнение следующих соотношений параметров наружного и внутреннего воздуха [5]:

tн>tв;

tстены=tт.р. н.в.+1,5°C.

С 1983 года по настоящее время метод ограниченного проветривания применяется для нормализации микроклимата Ферапонтовского собора. При этом сотрудниками Музея фресок Дионисия инструментально зафиксировано улучшение температурно-влажностного режима памятника.

|  |
| --- |
| ***Таблица*** |
|

|  |
| --- |
| Парные значения температуры и относительной влажности воздуха, обеспечивающие постоянство равновесного влагосодержания капиллярно-пористых материалов |
| Температура, °C | 5,0 | 7,5 | 15,0 | 18,0 | 20,0 |
| Относительная влажность, % | 35 | 40 | 55 | 60 | 65 |

 |

Прослеживая развитие метода ограниченного проветривания как способа сохранения памятников архитектуры следует особо подчеркнуть, что в его основе лежит анализ естественных процессов, происходящих в конструкциях (материалах) здания, и поиск возможностей управления ими. Меняются

критерии оценки эффективности метода: от визуального (появились–не появились капли росы в интерьере) до инструментальных измерений и расчетов, определяющих «возможность–невозможность» капиллярной конденсации в порах материала, не доступной прямому наблюдению.

В конце 1960-х годов Н. П. Зворыкиным [6] был предложен метод ограниченного подогрева, развитый автором настоящей статьи в 1970-х годах [7]. Этот метод базируется на двух положениях: температура внутреннего воздуха должна изменяться в течение года, обеспечивая заданную относительную влажность, а ее величина выбирается с учетом климатических особенностей места расположения памятника. Это была первая попытка рассмотреть условия сохранения памятника в системе с окружающей средой.

Ограниченный подогрев является своеобразным компромиссом между «прямолинейными», постоянными во времени музейными параметрами и меняющимся, но слабо поддающимся регулированию микроклиматом, который обеспечивает изящный метод «ограниченного проветривания».

Этот способ нормализации микроклимата применим в зданиях, оснащенных только системой отопления без увлажнения или кондиционирования воздуха.

Была разработана методика расчета необходимой температуры подогрева воздуха в памятниках архитектуры. При ограниченном подогреве наружный воздух с определенными значениями температуры и относительной влажности, зависящими от климата местности, подогревается и подается внутрь здания. При этом относительная влажность воздуха после подогрева составляет 40–60% в зависимости от времени года.

Этот метод получил развитие в результате дальнейшего изучения сорбционных свойств древних материалов и термодинамической оценки происходящих в них процессов [7, 8]. Оказалось, что неизменность влагосодержания материалов (основной критерий их сохранности) можно достичь двумя путями. Необходимо поддерживать постоянными или менять температуру и относительную влажность воздуха таким образом, чтобы их сочетание обеспечивало неизменное равновесное влагосодержание материала (рис. 7). Этот критерий (его можно назвать статическим) удовлетворяет и требованиям музейного хранения, то есть обеспечивает сохранение экспонатов (предметов убранства интерьера) внутри здания.

Вторым (динамическим) критерием для выбора параметров внутреннего воздуха является минимизация потоков тепла и влаги через определенный слой ограждения. В качестве такого слоя мы обычно принимаем внутреннюю поверхность стен (сводов) с находящимися на них монументальными росписями или декором.

Сформулированные правила позволили понять единый термодинамический принцип, лежащий в основе методов ограниченного проветривания и ограниченного подогрева. И в том, и в другом случае вмешательства в памятник приводили к минимальному изменению его энергетического состояния по сравнению с естественными процессами, а следовательно, к минимальному приращению энтропии, определяющей, в конечном итоге, скорость старения и разрушения материалов.

Данные о необходимых сочетаниях температуры и относительной влажности могут быть получены путем экспериментального определения сорбционной влажности материалов при различных температурах или же с использованием понятия относительного потенциала влажности [8]. Полученный по этой методике один из рядов возможных сочетаний значений температуры и относительной влажности воздуха в интерьере памятника, обеспечивающих постоянство влагосодержания материалов, а следовательно, и их сохранность, представлен в таблице (см. с. 26).

В заключение следует сказать о трудностях обеспечения выбранного температурно-влажностного режима памятников архитектуры как на стадии проектирования систем ОВК, так и на этапе их практического воплощения. Это обусловлено следующими причинами:

- сложностью (неоднозначностью) расчета теплотехнических характеристик ограждающих конструкций из-за отсутствия точных сведений о свойствах древних материалов и структуре самого ограждения (регулярная кладка, кладка с забутовкой, количество штукатурных слоев и т. д.);

- неодинаковой толщиной ограждающих конструкций по высоте здания;

- невозможностью улучшения теплотехнических свойств ограждений обычными строительными приемами (увеличение толщины, нанесение защитных слоев и т. д.);

- неравномерным режимом использования помещений (количество прихожан в будние дни и по большим церковным праздникам может отличаться в десятки раз);

- значительными влаговыделениями ограждающих конструкций, особенно цокольной части, в начальный период введения отопления;

- сложностью выбора и размещения систем ОВК внутри здания без ущерба для его эстетического восприятия.

Для каждого конкретного памятника список «неизвестных» при рассмотрении задачи нормализации температурно-влажностного режима вполне может быть и больше.

В настоящее время наметилось два подхода к решению этой проблемы.

1. Экспериментальный подбор необходимой мощности и схемы отопления путем размещения временных обогревательных приборов, контролируемый регистрацией параметров воздуха (Дмитриевский собор XII в. во Владимире, Спасо-Преображенский собор XIV в. Мирожского монастыря в Пскове). Проект ОВК разрабатывается на основе наблюдений за состоянием памятника в течение 2–3 лет.

2. Проектирование и реализация системы ОВК, допускающей возможность регулирования расчетных параметров (прежде всего температуры) в достаточно широких интервалах. Последующее экспериментальное определение рабочего режима системы (Рождественский собор XV в. Ферапонтова монастыря).

**Литература**

1. Лыков А. В., Михайлов Ю. А. Теория переноса энергии и вещества. Минск, 1959. С. 7–13.
2. Гренберг Ю. И. Свод письменных источников по технике древнерусской живописи, книжного дела и художественного ремесла в списках XV–XIX вв. Музейный сборник смешанного содержания. СПб., 1995. Т. 1, кн. 1. С. 209.
3. Покрышкин П. П. Краткие советы по вопросам ремонта памятников старины и искусства. Псков, 1915.
4. Фокин К. Ф. Естественный режим памятника // Сообщения Научно-методического совета по охране памятников культуры Министерства культуры СССР. М., 1970. Вып. V. С. 101–102.
5. Сизов Б. Т. Наблюдения за температурно-влажностным режимом собора Рождества Богородицы Ферапонтова монастыря // Реставрация, исследование и хранение музейных художественных ценностей. Реферативный сборник. Вып. 2, М.: Информкультура, 1982.
6. Зворыкин Н. П. Итоги Римского коллоквиума, посвященного вопросу влажности каменной кладки памятников архитектуры // Сообщения Научно-методического совета по охране памятников культуры Министерства культуры СССР. М., 1970. Вып. V. С. 9–24.
7. Богословский В. Н., Сизов Б. Т. Принципы выбора параметров температурно-влажностного режима древних зданий, обеспечивающих их сохранность // Научные исследования в области охраны памятников. Сборник. Варшава, 1988. С. 297–301.
8. Sizov B. Evaluation of moisture content measurements in stone. 8th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone. Berlin, 1996. Vol. 1.

Все материалы библиотеки охраняются авторским правом и являются интеллектуальной собственностью их авторов.

Все материалы библиотеки получены из общедоступных источников либо непосредственно от их авторов.

Размещение материалов в библиотеке является их хранением, а не перепечаткой либо воспроизведением в какой-либо иной форме.

Любое использование материалов библиотеки без ссылки на их авторов, источники и библиотеку запрещено.

Запрещено использование материалов библиотеки в коммерческих целях.

Учредитель и хранитель библиотеки «РусАрх»,

доктор архитектуры, профессор

[Сергей Вольфгангович Заграевский](http://www.rusarch.ru/zagraevsky.htm)