



КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

биопозитивное здание, зеленая крыша, тепловая защита, теплотехника, воздухопроницаемость, влагозащита, энергетические характеристики, энергосбережение

ТЕПЛОЗАЩИТА ЗЕЛЕННЫХ КРЫШ ГОСТ ВВЕДЕН – ПРОБЛЕМЫ ОСТАЮТСЯ

С. В. Корниенко, доктор техн. наук, заведующий кафедрой «Архитектура зданий и сооружений», профессор кафедры «Урбанистика и теория архитектуры» ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет»

Отсутствие нормативных требований и методик теплотехнического проектирования зеленых крыш затрудняет работу проектировщика-теплотехника и замедляет внедрение новых конструктивных решений в практику строительства биопозитивных зданий. В этой связи требуется разработка правил проектирования тепловой защиты зеленых крыш и представление их в действующих нормативных документах. С 1 июня 2020 года в России вступил в силу Национальный стандарт ГОСТ Р 58875–2020 «Озеленяемые и эксплуатируемые крыши зданий и сооружений. Технические и экологические требования». Насколько данный документ отвечает ожиданиям специалистов и регламентирует строительство зеленых крыш?

Еще в 20-х годах прошлого века Ле Корбюзье сформулировал пять принципов новой архитектуры. Одним из этих принципов является устройство в здании плоской крыши-террасы, на которой можно было бы разбить небольшой сад или создать место для отдыха.

Зеленые технологии находятся в тренде современной архитектуры [1–5]. Ярким преимуществом зеленых технологий является формирование условий для здорового образа жизни, прежде всего за счет поглощения пыли, снижения уровня шума и защиты строитель-

ных ограждающих конструкций от атмосферных воздействий. Благодаря применению технологий зеленого строительства достигается высокий эффект за счет снижения тепловых потерь через внешнюю оболочку здания, что позволяет сократить количество потребляемой тепловой энергии. Повышается комфорт в помещениях вследствие уменьшения интенсивности лучистого и конвективного теплообмена на внутренней поверхности ограждающих конструкций. Снижается загрязненность окружающей среды ввиду сокращения выбросов вредных веществ в атмосферу. Зеленые крыши являются эффективным способом увеличения площади зеленой зоны в урбанизированной городской среде и улучшения микроклимата зданий (рис. 1).

Озеленение крыш способствует смягчению теплового режима городской среды посредством затенения, испарительного охлаждения и тепловой изоляции. Применение зеленых крыш сглаживает эффект тепловых островов за счет выравнивания температуры поверхностей и может существенно понизить среднюю температуру целого города [6].

Указанные преимущества зеленых крыш неоднократно подтверждались на практике. Однако до недавнего времени вопросы проектирования озелененных конструкций не имели государственного регулирования, что не позволяло в полной мере использовать высокий энергетический, экологический и экономический потенциал зеленых крыш в различных влажно-климатических зонах РФ.

ГОСТ Р 58875–2020 – первый нормативный документ, регламентирующий строительство зеленых крыш

С 1 июня 2020 года в России вступил в силу первый комплексный нормативный документ, регламентирующий строительство зеленых крыш, – Национальный стандарт ГОСТ Р 58875–2020 «Озеленяемые и эксплуатируемые крыши зданий и сооружений. Технические и экологические требования». В этом стандарте впервые установлены типологические признаки озелененных крыш, подробно рассмотрены экологи-

ческие и технические требования к их проектированию, изложены требования к производству работ и эксплуатации конструкций. Безопасная и здоровая среда обитания человека достигается путем применения инновационных строительных материалов, современных энергосберегающих архитектурно-планировочных и конструктивных решений зданий, энергоэффективных технологий. Требования ГОСТ Р 58875–2020 распространяются на проектирование, строительство, ремонт, реконструкцию и эксплуатацию озелененных крыш зданий и сооружений различного функционального назначения во всех климатических зонах РФ.

Данный нормативный документ, безусловно, будет полезен широкому профессиональному сообществу: архитекторам, конструкторам, инженерам, эксплуатационникам. Ожидается, что в целом он будет стимулировать строительство зданий с зелеными крышами. Требования по типологии озелененных и эксплуатируемых крыш позволят более рационально применить тип озеленения в конкретной климатической зоне, что в процессе эксплуатации даст возможность получить необходимый экономический эффект. Установление типологических требований к зеленым крышам важно и при проведении судебных строительно-

технических экспертиз, так как позволит эксперту однозначно определить тип и конструктивное решение крыши и правильно ответить на поставленные судом вопросы. В процессе эксплуатации зеленых крыш знание технических и экологических требований позволит своевременно осуществлять контроль проектных характеристик конструкции, поддерживать конструкцию в работоспособном состоянии, проводить текущие и капитальные ремонты крыш. Выполнение требований ГОСТ Р 58875–2020 позволит полнее использовать преимущества зеленых крыш в строительстве.

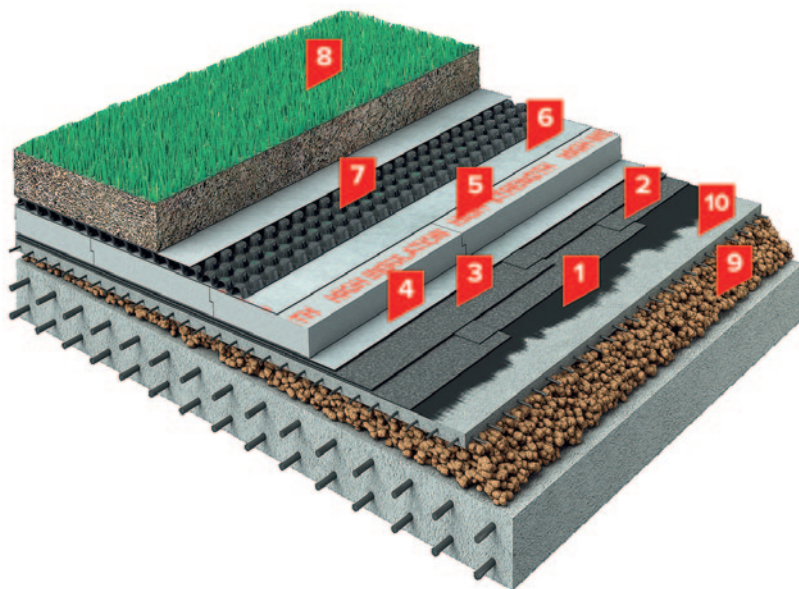
Особенности конструктивного решения зеленых крыш

Зеленая крыша – сложная ограждающая конструкция. Она включает множество материальных слоев, выполняющих различные функции (рис. 2).

Так, конструкционный слой обеспечивает требования механической безопасности зданий. Теплоизоляционный слой предназначен для снижения тепловых потерь и пассивного регулирования микроклимата в помещениях здания. Водоизоляционный слой применяют для защиты помещений от влаги. Верхняя поверхность крыши представлена рас-



Рис. 1. Озелененная крыша (современный вид)



1 – клеевой слой; 2 – основной водоизоляционный слой; 3 – дополнительный водоизоляционный слой; 4 – нижний разделительный слой; 5 – теплоизоляция; 6 – верхний разделительный слой; 7 – дренажный слой; 8 – субстрат с зелеными насаждениями; 9 – уклонообразующий слой; 10 – армированная цементно-песчаная стяжка

Рис. 2. Конструкция зеленой крыши

тительным слоем, который состоит из растений, высаженных в специальный субстрат. В состав крыши также включены специальные слои: дренажный, водоудерживающий, фильтрующий, аэрационный. В процессе эксплуатации крыши подвергаются широкому спектру климатических воздействий. Эксплуатационный режим помещений также оказывает влияние на тепловлажное состояние крыш.

Конструктивные решения зеленых крыш должны обеспечить высокое качество внутреннего воздуха и окружающей среды. Они требуют применения специальных методов расчета теплотехнических, воздухоизоляционных и влагозащитных характеристик. Однако правила проектирования тепловой защиты зеленых крыш в ГОСТ Р 58875–2020 отсутствуют. Они также не представлены в СП 50.13330.2012, на который ссылается этот ГОСТ. Это затрудняет работу проектировщика-теплотехника и замедляет внедрение новых конструктивных решений в практику строительства биопозитивных зданий.

Проблемы проектирования теплозащиты зеленых крыш

1. Теплотехника зеленых крыш

При проектировании зданий необходимо обеспечить требуемые

теплотехнические характеристики ограждающих конструкций. К этим характеристикам относят приведенное сопротивление теплопередаче, санитарно-гигиенические параметры, теплоустойчивость.

Методики расчета указанных характеристик применительно к зеленым крышам в СП 50.13330.2012 отсутствуют. Неясно, каким образом следует определять целевое сопротивление теплопередаче конструкций для холодного периода года. Как учесть влияние теплотехнически неоднородных участков ограждающих конструкций? Как показано в ГОСТ Р 58875–2020, конструкции зеленых крыш могут включать различные типы теплотехнических неоднородностей: водоприемные воронки, узлы примыкания к стенам, деформационные швы. Теплотехнические неоднородности приводят к формированию в конструкции сложных двух- и трехмерных температурных полей. Табличные данные по удельным добавочным потерям теплоты, обусловленным теплотехническими неоднородностями, в СП 50.13330.2012 для зеленых крыш отсутствуют. Это затрудняет расчет приведенного сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций и не позволяет выполнить поэлементную оценку теплозащиты зеленых крыш.

Согласно санитарно-гигиеническому требованию температура на внутренних поверхностях ограждающих конструкций должна быть не ниже минимально допустимых значений. Эту температуру для всех теплотехнически неоднородных зон можно определить по результатам расчета температурных полей. Однако в СП 50.13330.2012 такая методика расчета отсутствует.

Для выполнения теплотехнического расчета необходимо знать расчетные теплофизические свойства строительных материалов и изделий при различных условиях эксплуатации ограждающих конструкций. Отсутствие этих характеристик в нормативных документах затрудняет расчет толщины теплоизоляционного слоя зеленых крыш в различных влажностно-климатических зонах территории РФ.

Для анализа теплового воздействия конструкции на окружающую среду необходимы расчеты теплоустойчивости зеленых крыш [7].

Наиболее точно теплотехнические характеристики зеленых крыш могут быть определены по результатам численного моделирования процесса нестационарной теплопередачи с расчетом трехмерных температурных полей конструкций [8]. Проведение таких расчетов крайне необходимо на современном этапе для обоснования новых конструктивных решений биопозитивных зданий и их элементов.

2. Воздухопроницаемость зеленых крыш

Во влажном материале возможна фильтрация воздуха. Такой процесс ярко выражен в капиллярно-пористых строительных материалах, имеющих большой объем сквозных открытых пор и пустот, например в слое субстрата. При фильтрации воздуха считают, что плотность потока влаги пропорциональна градиенту давления воздуха.

В процессе эксплуатации зеленых крыш необходимо ограничить фильтрацию воздуха. Воздухопроницаемость ограждающих конструкций тесно связана с их тепловым режимом. Воздухопроницаемость плоского элемента конструкции и стыков в основном сказывается на понижении температуры на их внутренних поверхностях в холодный период года.

С точки зрения воздушного режима конструкцию зеленой крыши можно условно разделить на две части – нижнюю и верхнюю. Нижняя часть конструкции, состоящая из плотных материалов (железобетон, экструдированный пенополистирол), практически воздухонепроницаема, что исключает поступление воздуха в помещения по механизму сквозной фильтрации. Верхняя часть конструкции состоит из пористых материалов, поэтому в процессе эксплуатации через отдельные участки ограждения фильтруется влажный воздух. Циркуляция воздуха в растительном слое необходима для доставки к корням растений кислорода. Ввиду чередования в конструкции плотных и воздухопроницаемых слоев наиболее вероятно возникновение поперечной фильтрации воздуха. Инфильтрация воздуха в слой субстрата в холодный период года может привести к снижению сопротивления теплопередаче конструкции, добавочным потерям теплоты через ограждение и снижению энергоэффективности всего здания. Попадание внутреннего влажного воздуха в конструкцию вследствие эксфильтрации также опасно с точки зрения переноса с воздухом влаги, отсыревания конструкции и снижения в связи с этим ее теплозащитных свойств.

Нормативные данные по воздухопроницаемости материалов и изделий в составе зеленых крыш в ГОСТ Р 58875–2020 и СП 50.13330.2012 отсутствуют, что затрудняет количественную оценку воздухопроницаемости и ее влияния на тепловой режим конструкции. Необходима разработка методики расчета теплового режима зеленых крыш с учетом фильтрации влажного воздуха.

3. Влагозащита зеленых крыш

Зеленые крыши должны обеспечить надежную защиту помещений от влаги. Конструктивные решения зеленых крыш должны создать необходимые условия для водоотвода с поверхности кровли, исключить переувлажнение материалов атмосферной и эксплуатационной влагой, а также за счет диффузии водяных паров из помещения, обеспечить водонепроницаемость кровли. При этом в конструкции должна быть создана благоприятная среда для жизни растений.

#терминология

Зеленые крыши – это крыши зданий, частично или полностью засаженные живыми растениями. В английском языке употребляется термин *green roofs* в связи с тенденцией связывать зеленый цвет с экологическими трендами в обществе. При этом крыши с размещенными на них растениями в горшках не считаются зелеными крышами.

«Влага в ограждающих конструкциях – это таинственная незнакомка». Данные слова, сказанные выдающимся ученым в области строительной теплофизики академиком В. Н. Богословским, в полной мере применимы и к конструкциям зеленых крыш.

Влажный материал в строительных конструкциях представляет собой открытую гетерогенную систему. Эта система состоит из нескольких компонентов: твердой части материала (матрицы), воздуха и влаги (рис. 3). Влага в порах материала может находиться в нескольких фазах: водяного пара, жидкости, поверхностных пленок, льда. Компоненты и фазы влажного материала взаимодействуют между собой, и между ними происходит тепло- и массообмен.

В настоящее время известно более 20 механизмов переноса влаги во влажном материале [9]. Но ни один из них не позволяет в полной мере описать движение влаги.

Рассмотрим основные механизмы перемещения влаги в конструкциях зеленых крыш.

При сорбционной влажности строительных материалов перемещение парообразной влаги происходит по механизму диффузии водяного пара под влиянием градиента парциального давления пара, находящегося в порах материала. Расчет можно установить количество влаги, конденсирующейся в конструкции, предполагая, что жидкая влага прочно связана с материалом и остается неподвижной.

Большой объем жидкой фазы влаги может быть внесен в конструкцию при атмосферных воздействиях, а также при поливе растений. Часть этой влаги испаряется, что вызывает эффект испарительного охлаждения поверхности конструкции. В сочетании с зелеными насаждениями этот эффект смягчает тепловой режим крыши при интенсивном воздействии солнечного излучения.

Часть влаги аккумулируется субстратом и влагонакопительным слоем. Влагонакопительный слой предназначен для накопления влаги в дождливый период и отдачи влаги корням растений в засушливый. От этого слоя во многом зависит жизнеспособность растений. Часть влаги просачивается через фильтрующий и дренажный слои и отводится самотеком с крыши. В этих случаях необходимо учесть перенос капиллярной влаги под влиянием градиента влагосодержания, а также фильтрацию влаги при градиенте общего давления жидкости. При отрицательных температурах часть влаги замерзает и образуется криофаза в порах материала конструкции, что должно найти отражение в модели влагопереноса.

В неизотермических условиях необходим учет потока влаги, вызванного градиентом температуры, – термовлагопроводность.

Учет всех механизмов переноса влаги во влажном материале является чрезвычайно сложной задачей, поэтому на практике часто используют

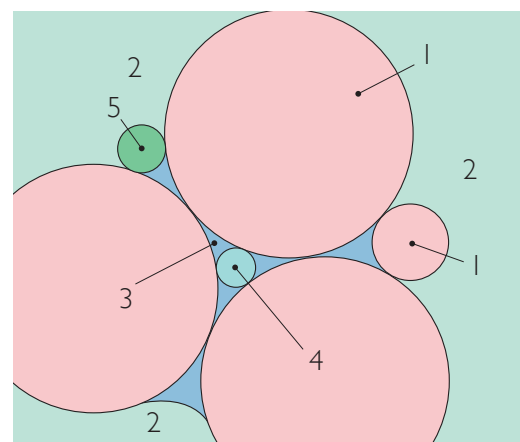


Рис. 3. Структура влажного материала (схема)

различные обобщения теории влагопереноса. Предельным обобщением является создание В. Н. Богословским теории и метода расчета влагопереноса на основе термодинамического полного неизоэнтальпического потенциала влажности [10]. Этот потенциал, основанный на равновесной влажности эталонного тела, позволяет учесть практически все механизмы переноса влаги в материалах наружных ограждений. Плотность потока влаги в материале пропорциональна градиенту потенциала влажности. Потенциал влажности В. Н. Богословского позволяет достаточно просто записать условие распределения влаги на стыке различных материалов, считая, что величины потенциала влажности обоих материалов одинаковы. Этот потенциал позволяет сравнительно просто описать математически сложный процесс нестационарного влагопереноса в многослойных конструкциях во всем диапазоне влажности.

Процессы переноса теплоты и влаги взаимосвязаны, поэтому теплотехническая оценка зеленых крыш должна проводиться как общий расчет тепловлагозащитных свойств наружных ограждений здания [11].

4. Энергетические характеристики зданий с зелеными крышами

Расчет энергетических характеристик зданий необходим для оценки эффективности предусмотренных в проекте энергосберегающих мероприятий. Расчет энергетических характеристик зданий с зелеными крышами следует выполнять с учетом теплотехнических особенностей ограждений.

Зеленые крыши, как правило, эксплуатируются в течение всего года. Поэтому расчет энергетических характеристик зданий, содержащих зеленые крыши, следует вести в годовом цикле с оценкой годового тепло- и энергопотребления инженерными системами. Энергетические потребности здания для отопления и охлаждения необходимо рассчитывать исходя из потоков теплоты за счет теплопередачи через наружные ограждающие конструкции. При наличии в здании различных термически неоднородных зон необходимо учитывать перетоки теплоты через границы этих зон. Следу-

ет также учитывать тепlopоступления от внутренних бытовых источников и солнечного излучения. В необходимых случаях следует принимать во внимание потребность в теплоте или холоде на обработку приточного воздуха, подачу теплоносителей.

Расчет энергопотребления инженерными системами следует производить в нестационарном тепловом режиме на основе суточного хода температуры наружного воздуха и солнечного излучения. Это позволит в наилучшей степени учесть эксплуатационные свойства зеленых крыш, имеющих высокий показатель тепловой инерции. Влияние скорости ветра сказывается на результатах расчета в меньшей степени, поэтому этот параметр можно принимать по средним за месяц значениям. Применение методов расчета нестационарного теплового режима отдельных помещений и здания в целом требует использования специальных компьютерных программ.

Выводы

Результаты выполненного исследования показывают, что ГОСТ Р 58875–2020 «Озеленяемые и эксплуатируемые крыши зданий и сооружений. Технические и экологические требования», введенный с 1 июня 2020 года, безусловно, будет полезен широкому профессиональному сообществу. Ожидается, что в целом он будет стимулировать строительство зданий с зелеными крышами. Выполнение требований ГОСТ Р 58875–2020 позволит полнее использовать преимущества зеленых крыш в строительстве.

Однако введение нового государственного стандарта не решает проблему проектирования тепловой защиты зеленых крыш. Отсутствие нормативных требований и методик теплотехнического проектирования зеленых крыш в ГОСТ Р 58875–2020 и СП 50.13330.2012 затрудняет работу проектировщика-теплотехника и замедляет внедрение новых конструктивных решений в практику строительства биопозитивных зданий. В этой связи требуется разработка правил проектирования тепловой защиты зеленых крыш и представление их в действующих нормативных документах.

Литература

1. Табунщиков Ю. А., Бродач М. М., Шилкин Н. В. Энергоэффективные здания. М.: АВОК-ПРЕСС, 2003. 192 с.
2. He Y., Yu H., Dong N., Ye H. Thermal and energy performance assessment of extensive green roof in summer: A case study of a lightweight building in Shanghai. *Energy and Buildings*. 2016. No. 127. Pp. 762–773.
3. Sproul J., Wan M. P., Mandel B. H., Rosenfeld A. H. Economic comparison of white, green, and black flat roofs in the United States. *Energy and Buildings*. 2014. Vol. 71. Pp. 20–27.
4. Копылова А. И., Богомолова А. К., Немова Д. В. Энергетическая эффективность здания с применением технологии «зеленая кровля» // *Строительство уникальных зданий и сооружений*. 2016. № 10 (49). С. 20–34.
5. Корниенко С. В. Умный город – создание комфортного и энергоэффективного жилища // *Энергосбережение*. 2020. № 4. С. 62–66.
6. Rosenfeld A. H., Akbari H., Bretz S., Fishman B. L., Kurn D. M., Sailor D., Taha H. Mitigation of urban heat islands: materials, utility programs, updates. *Energy and Buildings*. 1995. No. 22. Pp. 255–265.
7. Корниенко С. В., Попова Е. Д. «Зеленое» строительство в России и за рубежом // *Строительство уникальных зданий и сооружений*. 2017. № 4 (55). С. 67–93.
8. Korniyenko S. V. Multifactorial forecast of thermal behavior in building envelope elements. *Magazine of Civil Engineering*. 2014. No. 8. Pp. 25–37.
9. Гагарин В. Г., Зубарев К. П. Применение теории потенциала влажности к моделированию нестационарного влажностного режима ограждений // *Вестник МГСУ*. 2019. Т. 14. № 4 (127). С. 484–495.
10. Богословский В. Н. Основы теории потенциала влажности материала применительно к наружным ограждениям оболочки зданий. М.: МГСУ, 2013. 112 с.
11. Корниенко С. В. Метод решения трехмерной задачи совместного нестационарного тепло- и влагопереноса для ограждающих конструкций зданий // *Известия высших учебных заведений. Строительство*. 2006. № 2 (566). С. 108–110. ■