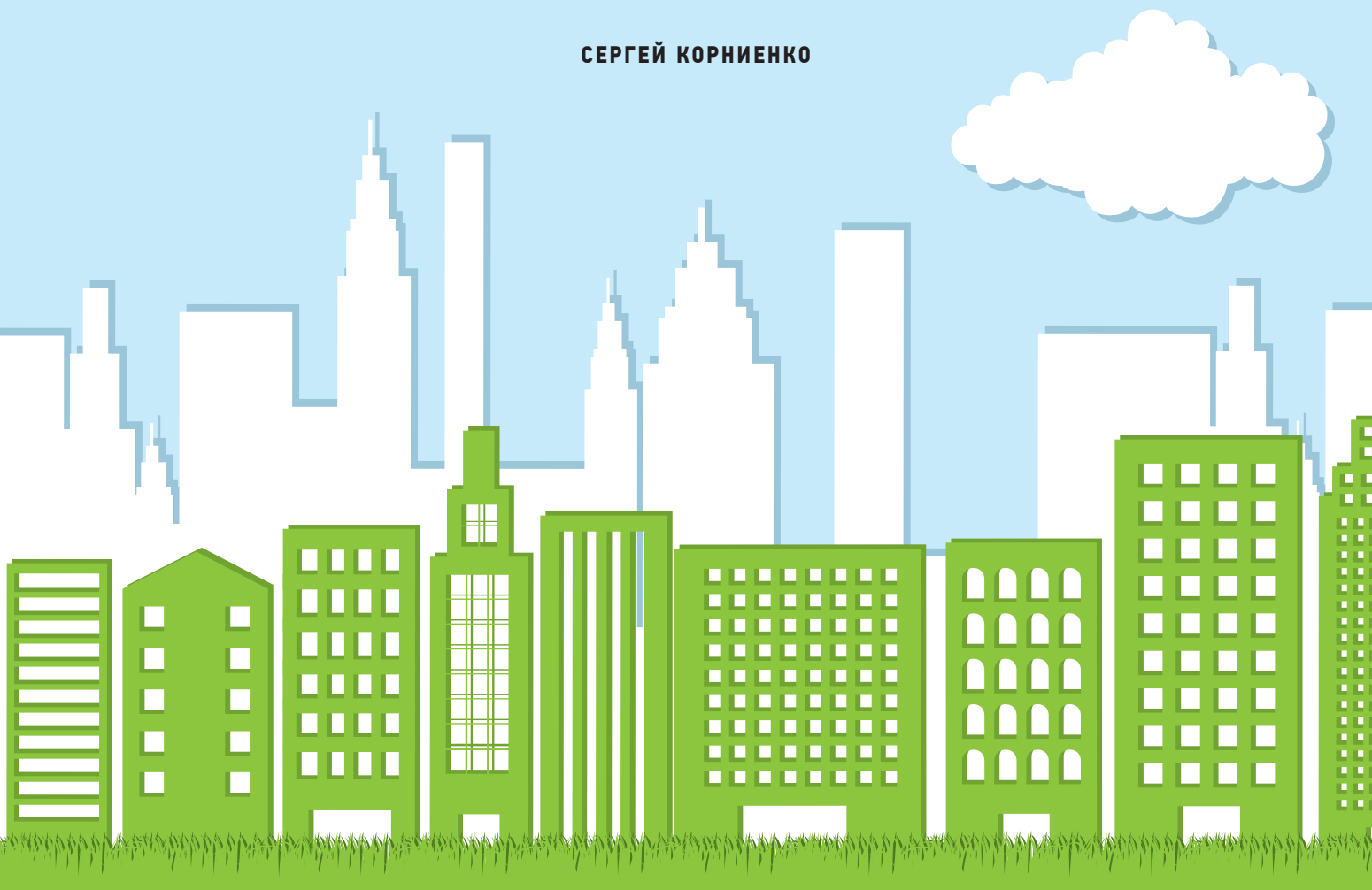


ЗЕЛЕНОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО – ИННОВАЦИОННЫЙ И СОЦИАЛЬНО ЗНАЧИМЫЙ ЭЛЕМЕНТ ПОВЫШЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ СРЕДЫ

СЕРГЕЙ КОРНИЕНКО



По результатам исследования основных направлений зеленого строительства определен вектор развития зеленого строительства в России и за рубежом. Систематизация и обобщение данных по «зеленому» строительству позволяют наметить дальнейшие пути повышения энергоэффективности и экологической безопасности зданий и сооружений при решении актуальной проблемы повышения устойчивости среды обитания в градостроительстве и архитектуре.

Введение

2016 год стал самым «теплым» в истории наблюдений за климатом. Средняя температура поверхности Земли была почти на 1 К выше, чем в середине прошлого века.

Считается, что основной причиной глобального потепления является технический прогресс. Техносферная деятельность человека приводит к росту содержания в атмосфере парниковых газов за счет все большего сжигания топлива, что является фактором, повышающим температуру. Климатические аномалии провоцируют социальные катаклизмы (рис. 1).

Важнейшей задачей на современном этапе является снижение глобальных рисков и повышение безопасности жизнедеятельности людей.

Являясь результатом строительной деятельности в целях осуществления определенных потребительских функций, здания и сооружения оказывают существенное воздействие на окружающую среду. Удовлетворяя свои потребности в среде обитания путем строительства зданий, расходуя при этом невозобновляемые источники энергии и воздействуя на экологию, люди должны стремиться защищать функционирование земной экосистемы в целом от своей деятельности, обеспечивая устойчивость развития для будущих поколений.

Эффективным инструментом повышения устойчивости среды обитания является строительство «зеленых» зданий.

Зеленое строительство развивается по многим направлениям. Активно разрабатываются и внедряются в современную практику инновационные решения зданий с низким энергопотреблением. Непрерывно совершенствуются элементы «зеленых» зданий – зеленые крыши и зеленые фасады. Формируется экоустойчивая архитектура города. Чрезвычайно важное практическое значение имеет повышение энергоэффектив-

ности при термореновации гражданских зданий и их фасадных систем. Для более полного и точного учета потребительских характеристик зданий разрабатываются новые системы рейтинговой оценки устойчивости среды обитания.

Указанные аспекты зеленого строительства отражены в многочисленных отечественных и зарубежных публикациях. Однако в настоящее время отсутствует анализ направленности работ и систематизация данных по строительству «зеленых» зданий. Это делает актуальной задачу определения вектора развития зеленого строительства в России и за рубежом.

Актуальность темы статьи возрастает в связи с тем, что 2017 год объявлен Годом экологии в России.

Принципы зеленого строительства

Зеленое строительство – это вид строительства зданий с минимальным воздействием на окружающую среду. Главной целью зеленого строительства является снижение уровня потребления энергетических и материальных ресурсов при обеспечении комфортных условий внутренней

среды в течение всего жизненного цикла здания, включая инженерные изыскания, проектирование, строительство, эксплуатацию, капитальный ремонт, реконструкцию, снос.

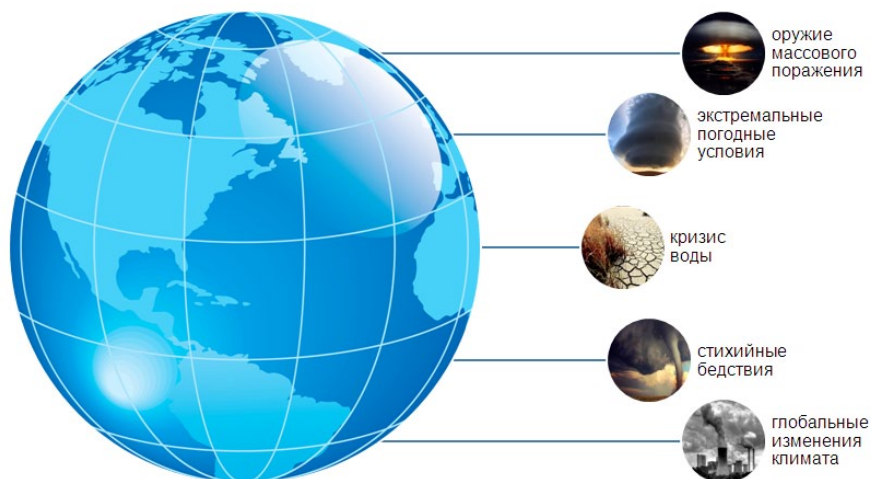
Практика строительства «зеленых» зданий расширяет и дополняет классическое строительное проектирование понятиями полезности, экономии, долговечности и комфорта.

Основной идеей строительства «зеленых» зданий является повышение устойчивости среды обитания, что достигается сокращением общего влияния застройки на окружающую среду и здоровье человека.

Ключевыми аспектами зеленого строительства являются [1–4]:

- экологический менеджмент;
- инфраструктура и качество внешней среды;
- качество архитектуры и планировка объекта;
- комфорт и экология внутренней среды;
- качество санитарной защиты и утилизации отходов;
- рациональное водопользование и регулирование ливневого стока;
- энергосбережение и энергоэффективность;

Рис. 1. Пять глобальных рисков, которые могут оказать наибольшее воздействие на мир в 2017 году (согласно экспертной оценке специалистов)



- охрана окружающей среды при строительстве, эксплуатации и утилизации объекта;
- безопасность жизнедеятельности. Указанные аспекты тесно взаимосвязаны между собой (рис. 2).

Аналогичный подход, имеющий меньший масштаб, заключается в использовании природных местных строительных материалов.

Развитие зеленого строительства идет по пути улучшения архитектурно-конструктивных решений, повышения качества внутренней среды, совершенствования методов оценки энергетических характеристик зданий, снижения стоимости строительства, повышения эффективности инженерного оборудования зданий.

Зеленые здания смягчают эффект «тепловых островов» за счет выравнивания температуры поверхностей зданий в городской среде (рис. 3).

Развитие концепции здания с энергопотреблением, близким к нулевому

Одним из направлений зеленого строительства в зарубежных странах и в России является развитие концепции здания с нулевым энергопотреблением.

Здание с нулевым энергопотреблением (zero-energy building, ZEB) – высокоэнергоэффективное здание, способное на месте вырабатывать энергию из возобновляемых источников и потреблять её в равном количестве в течение года. Если количество вырабатываемой энергии меньше потребляемой, такое здание называется зданием с почти нулевым энергопотреблением (near zero-energy building, nZEB).

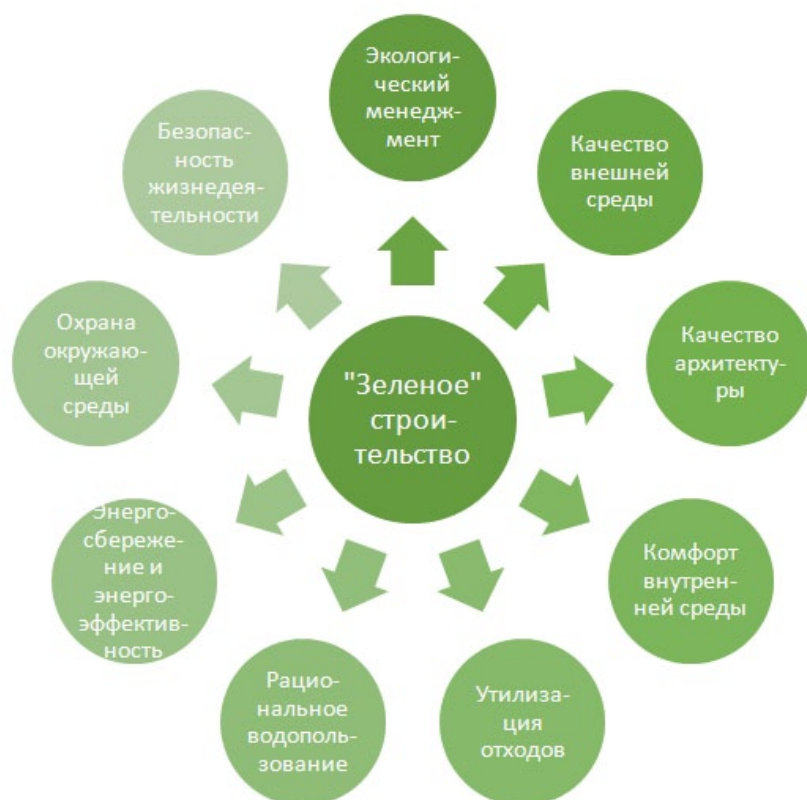
Первое административное здание с нулевым энергопотреблением [5] введено в эксплуатацию в Германии в 2013 году. Двухэтажное зда-

ние расположено в Берлине и спроектировано таким образом, чтобы суммарный годовой расход энергии был ниже, чем поступления от возобновляемых источников энергии. По результатам мониторинга здания установлено, что фактический суммарный годовой расход электрической энергии близок к проектным данным. В то же время наблюдается существенное расхождение между проектными и фактическими значениями потребления электроэнергии по отдельным показателям. Выявленные отклонения в потреблении электрической энергии связаны, главным образом, с особенностями исследуемого здания и поведением людей.

Последние изменения европейских норм по энергоэффективному строительству связаны с введением двух базовых требований: по оптимальной стоимости энергии и расходу энергии для зданий с почти нулевым энергопотреблением. Хотя эти требования связаны между собой, требование по оптимальной стоимости энергии базируется на затратах, в то время как требования к nZEB по расходу энергии основаны на оценке энергетических характеристик и использовании источников возобновляемой энергии. Результаты исследований [6] показывают возможность перехода от экономически целесообразных зданий к nZEB без значительных затрат, на основе объединения этих концепций, а также за счет применения источников возобновляемой энергии и эффективного уровня теплоизоляции оболочки здания.

Анализ строительства зданий с нулевым потреблением энергии в России и зарубежных странах показывает [7], что строительство таких зданий эффективно по следующим причинам: экологичность (отсутствуют вредные выбросы в атмосферу); экономичность (окупаемость); энергоэффективность (значительное снижение потребляемых энергетических ресурсов).

Рис. 2. Ключевые аспекты зеленого строительства



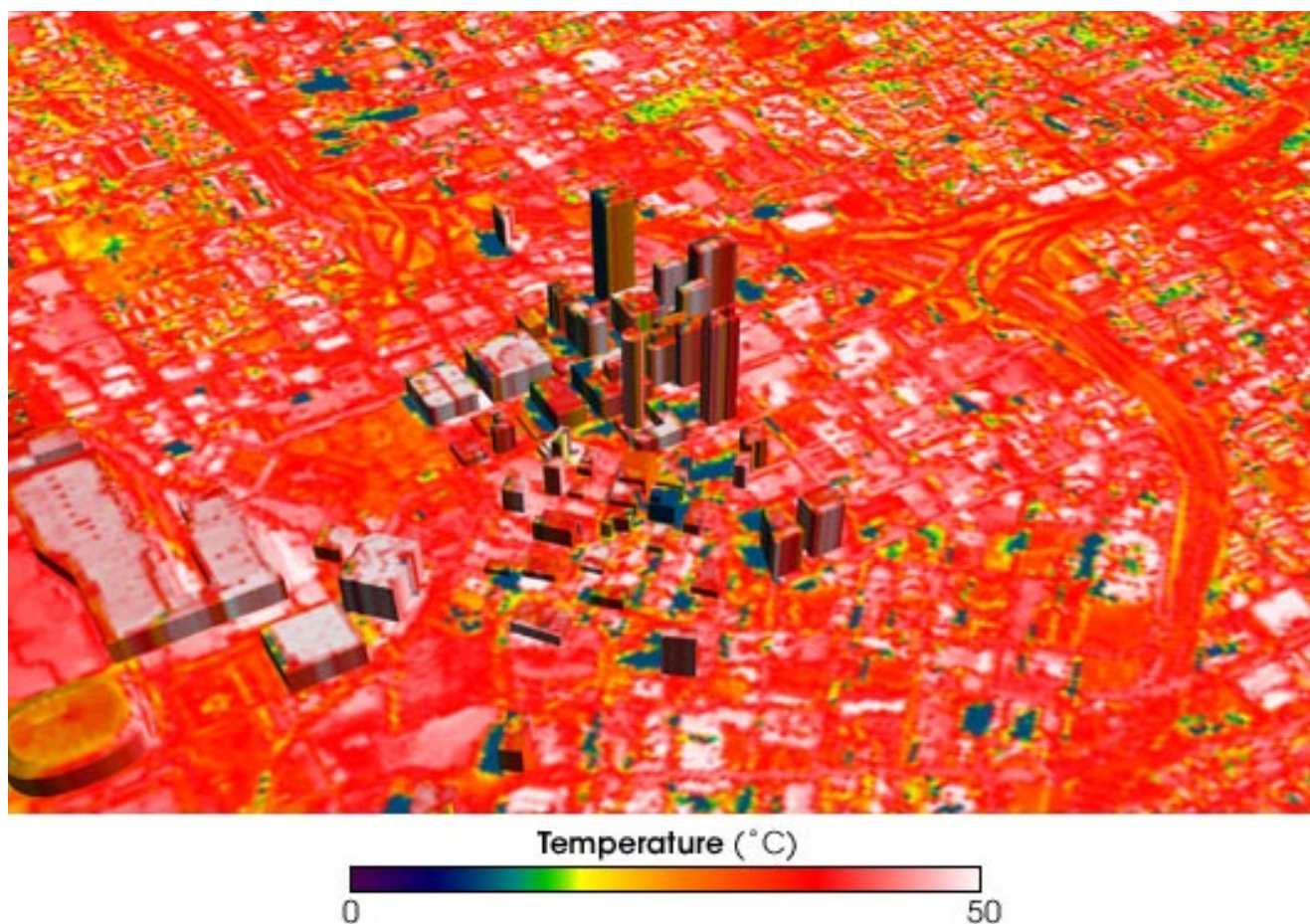


Рис. 3. Эффект «тепловых островов» в городской среде

Зеленые крыши – важный элемент экоустойчивой архитектуры

Актуальной проблемой в области гражданского строительства является применение современных энергосберегающих и экологически безопасных технологий. Одним из эффективных путей решения данной проблемы является озеленение фасадов и крыш для регулирования температуры и влажности в зданиях. Их преимущество – формирование здорового образа жизни в больших городах, прежде всего, за счет поглощения пыли, сокращения уровня шума и защиты строительных ограждающих конструкций от атмосферных воздействий.

Важным элементом теплозащитной оболочки зеленого здания является «зеленая» крыша. Это много-

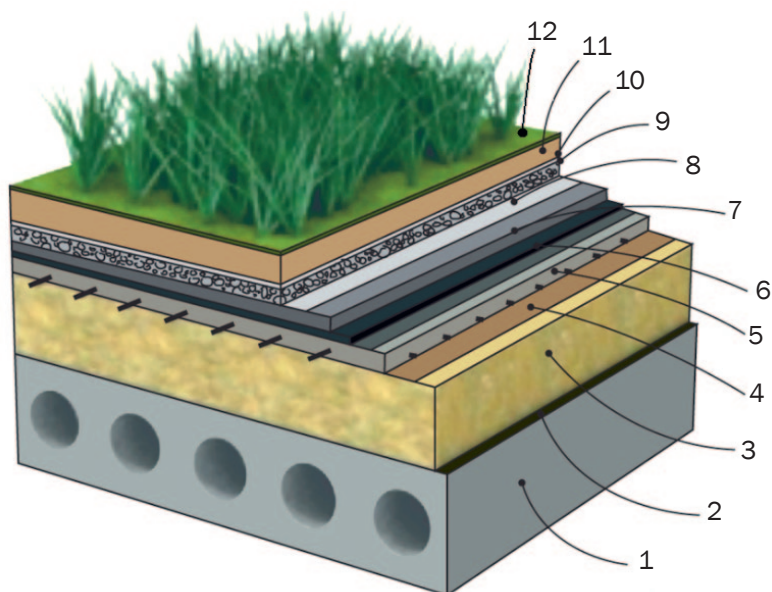
слойная ограждающая конструкция, состоящая из железобетонной плиты покрытия, основного слоя водоизоляционного ковра, теплоизоляции из экструдированных пенополистирольных плит, разделительного слоя из геотекстиля, дренажного и фильтрующего слоев, почвенного слоя, растительного слоя (рис. 4).

В зависимости от вида растительного слоя озеленение крыш можно разделить на интенсивное и экстенсивное. При интенсивном озеленении, основанном на использовании высоких растений с развитой корневой системой (сада на крыше), может потребоваться массивный почвенный слой толщиной до 1 м; такая крыша требует, как правило, постоянного ухода садовников. Экстенсивно озеленённые крыши, напротив, не требуют систематического ухода,

а для размещения растений требуется минимальный слой почвы или компоста. По сравнению с «интенсивными» «экстенсивные» крыши имеют более простое конструктивное решение.

Основными преимуществами озелененных крыш являются:

- смягчение эффекта «тепловых островов» за счет выравнивания температуры поверхностей; в летнее время увеличение площади «зеленых» крыш может существенно снизить среднюю температуру целого города;
- сокращение затрат на отопление здания в холодный период года благодаря высокому сопротивлению теплопередаче конструкции; здания с зеленой крышей приближаются к стандартам пассивного дома;



1 – несущая конструкция;
 2 – пароизоляция;
 3 – теплоизоляция;
 4 – водоизоляционный слой;
 5 – выравнивающая стяжка;
 6 – гидроизоляция;
 7 – мембрана;

8 – геотекстиль;
 9 – гравий;
 10 – геотекстиль;
 11 – растительный грунт;
 12 – озеленение

Рис. 4. Схема конструкции зеленой крыши

- сокращение затрат на охлаждение и климатизацию зданий в теплый период года за счет увеличения массы конструкции, а также благодаря естественному испарению влаги;
- существенное уменьшение загрязненности воздуха и обогащение его кислородом, что, в свою очередь, повышает комфортные условия проживания в городе и сокращает число аллергических и астматических заболеваний;
- повышение акустического комфорта за счет дополнительного поглощения городского шума, при этом почвенный слой поглощает преимущественно низкочастотный звук, а растительный слой – высокочастотный;
- уменьшение количества влаги, попадающей в ливневую систему канализации в виде атмосферных осадков; покрытия с озеленением очищают дождевую воду, в том числе и от тяжелых металлов.

Основным недостатком озелененных крыш можно считать большую начальную стоимость по сравнению с обычной крышей. Строительство «зеленых» крыш существенно усложняет конструкцию. При реконструкции и термической реновации зданий существуют ограничения по дополнительной нагрузке на существующий остов здания от веса озелененного покрытия. Для многих видов растений актуальной проблемой является сохранение постоянной влажности почвенного слоя, и как следствие – обеспечение надежной защиты здания от влаги. Применение дополнительных слоев (разделительного, дренажного, фильтрующего и др.) приводит к удорожанию строительства.

Решению актуальной проблемы улучшения энергетических и экологических характеристик «зеленых» крыш посвящены многочисленные работы отечественных и зарубежных ученых. В этих работах

исследованы конструктивные особенности «зеленых» крыш жилых и общественных зданий при различных влажностно-климатических условиях в разные периоды года. На основе теоретических и экспериментальных исследований выполнена оценка влияния элементов крыши (основания, теплоизоляции, типа растительности) на теплофизические характеристики конструкции. Определено влияние конструкций «зеленых» крыш на энергетические характеристики зданий и намечены пути улучшения этих характеристик.

Зеленые фасады – высокий потенциал энергосбережения

Наряду с «зелеными» крышами важное практическое значение имеет применение «зеленых» фасадов.

Эффект повышения уровня теплоизоляции фасадных систем обеспечивается благодаря:

- снижению потерь теплоты через отдельные ограждающие конструкции и теплозащитную оболочку здания в целом, что позволяет сократить количество потребляемой тепловой энергии;
- улучшению теплового комфорта в помещениях вследствие уменьшения интенсивности лучистого и конвективного теплообмена на внутренней поверхности ограждений;
- снижению загрязненности окружающей среды ввиду сокращения выбросов вредных веществ в атмосферу.

Озеленение фасадов способствует смягчению теплового режима городской застройки посредством затенения, испарительного охлаждения и тепловой изоляции. Натурные исследования, выполненные в летние периоды года на трех фасадах зданий в Берлине показали [8], что по сравнению с неозелененными стенами

понижение температуры наружной поверхности «зеленых» стен составило 15,5 К, внутренней поверхности – 1,7 К (согласно измерениям в ночное время).

Особое значение имеет строительство зданий с «зелеными» фасадами в жарком засушливом климате. Интенсивное солнечное излучение создает дискомфортные условия проживания и пребывания в зданиях вследствие значительного перегрева помещений, что делает актуальной проблему улучшения энергетических характеристик строительных систем. Экспериментальные исследования «зеленых» фасадов зданий в ОАЭ показали [9], что днем в июле фасад с озеленением может обеспечить среднюю температуру на 5 К ниже по сравнению со стеной без озеленения, улучшая энергетические характеристики здания и снижая нагрузку на охлаждение.

Анализ результатов, полученных автором, показывает, что наибольшее тепловое воздействие на внешнюю среду оказывает традиционная крыша с темной кровлей. Применение светлой кровли существенно снижает тепловую нагрузку, уменьшая температуру наружной поверхности конструкции вследствие высокого отражения солнечного излучения. Максимальное выравнивание температуры дает «зеленая» крыша, главным образом, за счет аккумуляции теплоты поверхностным массивным слоем. В целом можно отметить меньшее тепловое воздействие фасадов зданий по сравнению с крышами, что обусловлено меньшим значением суммарного солнечного излучения на вертикальную поверхность фасадов. Большее тепловое воздействие на окружающую среду оказывает фасадная система с тонкой штукатуркой по утеплителю. Применение облицовочного кирпичного слоя способствует выравниванию

температуры на внешней поверхности конструкции. Минимальное тепловое воздействие характерно для навесных вентилируемых фасадных систем.

Полученные результаты позволяют приблизительно оценить уровень теплового воздействия ограждающих конструкций на внешнюю среду. Более точная оценка может быть получена на основе численного моделирования нестационарного теплопереноса в конструкции [10].

Устойчивое развитие в строительстве подразумевает использование экологически безопасных материалов с высоким уровнем теплоизоляции. Актуальной проблемой является синтез современных энергосберегающих технологий на основе применения натуральных волокнистых изоляционных материалов в виде технической конопля, льна и джута в сочетании с «зелеными» фасадами и крышами.

Строительство с использованием соломы обладает такими преимуществами, как возможность вторичной переработки, сокращение выбросов CO₂ в атмосферу, доступность на местах.

Повышение энергоэффективности при термореновации фасадов зданий

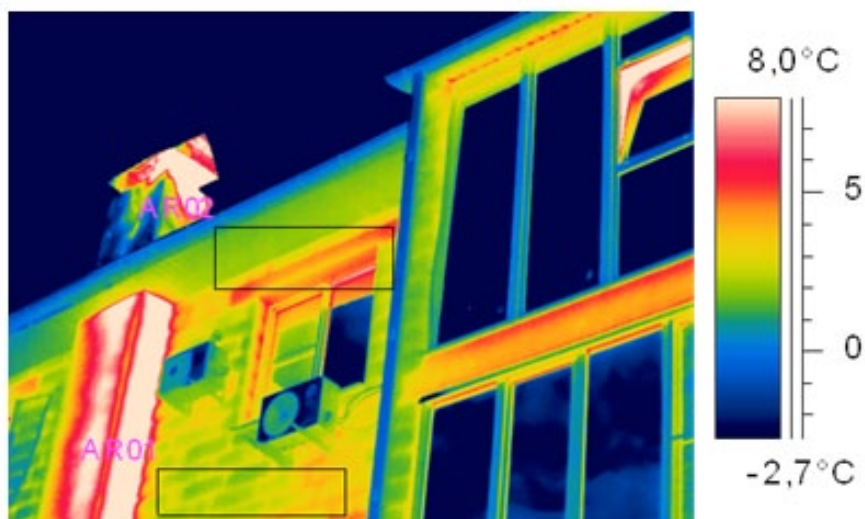
Важное практическое значение имеет термореновация гражданских зданий.

Фасадные системы современных зданий имеют специфику.

Во-первых, это увеличение неравноэффективности теплозащиты элементов оболочки. Значительно возрастает влияние двух- и трехмерных элементов в конструкции, неравномерность распределения температуры на ее внутренней поверхности, снижается теплотехническая однородность ограждающих конструкций. Для выявления температурных аномалий и дефектов необходимы расчеты трехмерных температурных полей и разработка новых конструктивных решений.

Во-вторых, значительно увеличивается роль влажностного режима. Причем, если по «глади» стены распределение влажности может быть более благоприятным, чем раньше, то в краевых зонах ограждающих конструкций влажностный режим значительно ухудшается, и главное в том, что существенно возрастает сложность расчета совместного

Рис. 5. Тепловое «загрязнение» окружающей среды зданием (по результатам тепловизионного контроля)



нестационарного влаготеплопереноса в трёхмерных элементах ограждающих конструкций [11].

В-третьих, кладка наружных стен, особенно из мелкогазобетонных элементов, является воздухопроницаемой. Инфильтрация наружного воздуха в холодный период года приводит к ухудшению теплозащитных свойств ограждающих конструкций. Эксфильтрация внутреннего воздуха в стеновые конструкции также чрезвычайно опасна.

Темная отделка наружных стен и крыш является дополнительным тепловым «источником», особенно в жарком климате, вследствие поглощения солнечного излучения. Все это приводит к тепловому «загрязнению» окружающей среды в течение года (рис. 5).

Все перечисленные выше особенности важно учитывать в реконструируемых зданиях. Это улучшение температурно-влажностного режима наружных стен, разработка эффективных конструктивных решений узлов сопряжений ограждающих конструкций с целью выравнивания температуры на внутренней поверхности, снижение сквозной воздухопроницаемости через швы кладки, повышение комфортных условий среды в помещениях, энергосбережение и повышение энергоэффективности зданий.

Термореновация зданий является эффективным инструментом, позволяющим повысить теплотехническую, энергетическую и экологическую безопасность зданий.

Рейтинговая оценка устойчивости среды обитания – инновационный инструмент стимулирования зеленого строительства

Без обновления существующей нормативной базы невозможно достичь установленной цели по снижению энергоемкости валового внутреннего продукта и обеспечить рациональное и экологически ответственное использование энергии и энергетических ресурсов. Крайне необходима разработка новых стандартов в области энергосбережения и повышения энергоэффективности и экологической безопасности зданий, гармонизируемых с европейскими стандартами.

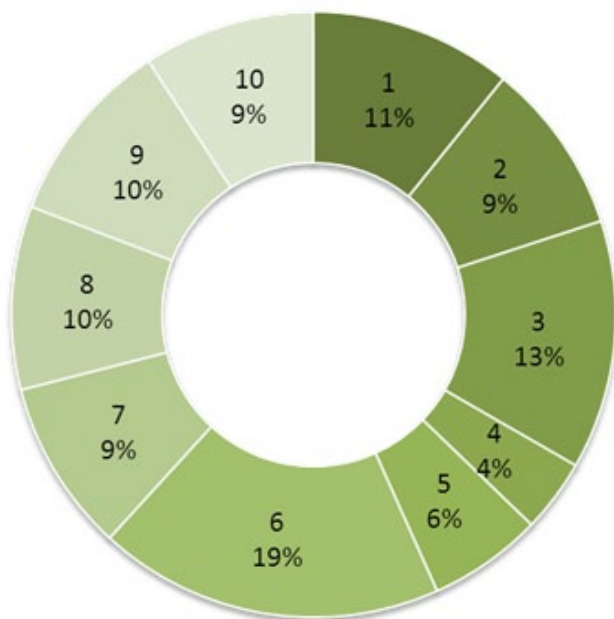
В целях совершенствования существующей нормативной базы разработана система рейтинговой оценки устойчивости зеленого строительства [12].

Требования рейтинговой системы направлены на сокращение потребления энергетических ресурсов, использование нетрадиционных, возобновляемых и вторичных энергетических ресурсов, рационального водопользования, снижение вредных воздействий на окружающую среду в процессе строительства и эксплуатации здания, включая придомовую территорию, при обеспечении комфортной среды обитания человека и адекватной экономической рентабельности архитектурных, конструктивных и инженерных решений.

Указанный стандарт:

- определяет принципы, категории, оценочные критерии, индикаторы устойчивости среды обитания, а также весовые значения индикаторов для целей рейтинговой оценки объекта;
- содержит систему базовых показателей (индикаторов), которые при необходимости корректируются коэффициентами или дополняются параметрами, отражающими региональные или местные

Ри. 6. Базовые категории устойчивости среды обитания [12]



- 1 – комфорт и качество внешней среды;
- 2 – качество архитектуры и планировки объекта;
- 3 – комфорт и экология внутренней среды;
- 4 – качество санитарной защиты и утилизации отходов;
- 5 – рациональное водопользование;
- 6 – энергосбережение и энергоэффективность;

- 7 – применение альтернативной и возобновляемой энергии;
- 8 – экология создания, эксплуатации и утилизации объекта;
- 9 – экономическая эффективность;
- 10 – качество подготовки и управления проектом

климатические, энергетические, экономические, социальные и объектные особенности;

- устанавливает классы устойчивости среды обитания для построенных, реконструированных или прошедших капитальный ремонт жилых и общественных зданий, а также для их проектной документации.

Стандарт распространяется на все категории проектируемых, построенных и сданных в эксплуатацию жилых и общественных зданий различного функционального назначения.

Устойчивость среды обитания в системе оценивается совокупностью десяти базовых категорий (рис. 6).

Наибольший удельный вес в данной системе имеет категория «Энергосбережение и энергоэффективность» (рис. 6).

Каждая категория представлена отдельной группой определяющих ее критериев. Каждый из критериев выражается одним или группой индикаторов. Каждый из индикаторов имеет свое числовое определение в виде параметра, параметрального ряда или параметральной характеристики, которым соответствует балльный эквивалент оценки. Сумма балльных оценок по критериям определяет балльное значение категории в целом.

Сумма баллов всех категорий определяет общую (интегральную) величину устойчивости качества среды обитания, числовое значение которой обозначается как «S-фактор» («Sustainability-фактор»).

Окончательная рейтинговая оценка устойчивости среды обитания проводится на основании полученной суммарной величины S-фактора. В зависимости от суммы баллов, набранных в результате определения S-фактора, проекту (зданию) присваивается класс устойчивости среды обитания.

Система рейтинговой оценки устойчивости среды обитания является инновационным инструментарием, стимулирующим зеленое строительство.

Заключение

По результатам исследования основных направлений зеленого строительства определен вектор развития зеленого строительства в России и за рубежом.

Систематизация и обобщение данных по «зеленому» строительству позволяют наметить дальнейшие пути повышения энергоэффективности и экологической безопасности зданий и сооружений при решении актуальной проблемы повышения устойчивости среды обитания в градостроительстве и архитектуре.

Литература

1. Табунщиков Ю.А., Наумов А.Л., Миллер Ю.В. Критерии энергоэффективности в «зеленом» строительстве // Энергосбережение. 2012. № 1.
2. Есаулов Г.В. Энергоэффективность и устойчивая архитектура как векторы развития // АВОК: Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика. 2015. № 5.
3. Теличенко В.И., Бенуж А.А. Совершенствование принципов устойчивого развития на основе опыта применения «зеленых» стандартов при строительстве олимпийских объектов в Сочи // Промышленное и гражданское строительство. 2014. № 10.
4. Наумов А.Л., Капко Д.В., Судьина О.С. Энергоэффективность, стоимость жизненного цикла и зеленые стандарты // АВОК: Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика. 2015. № 5.
5. Ascione F., Bianco N., Böttcher O., Kaltenbrunner R. and Vanoli G.P. Net zero-energy buildings in Germany: Design, model calibration and lessons

learned from a case-study in Berlin. Energy and Buildings. 2016. No. 133.

6. Ferreira M., Almeida M. and Rodrigues A. Cost-optimal energy efficiency levels are the first step in achieving cost effective renovation in residential buildings with a nearly-zero energy target. EnergyandBuildings. 2016. No. 133.
7. Горшков А.С., Дерунов Д.В., Завгородний В.В. Технология и организация строительства здания с нулевым потреблением энергии // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2013. № 3 (8).
8. Hoelscher M.-T., Nehls T., Jänicke B. and Wessolek G. Quantifying cooling effects of facade greening: Shading, transpiration and insulation. Energy and Buildings. 2016. No. 114.
9. Haggag M., Hassan A. and Elmasry S. Experimental study on reduced heat gain through green façades in a high heat load climate. EnergyandBuildings. 2014. No. 82.
10. Корниенко С.В., Ватин Н.И., Горшков А.С. Натурные теплофизические испытания жилых зданий из газобетонных блоков // Инженерно-строительный журнал. 2016. № 4 (64).
11. Корниенко С.В. Температурно-влажностный режим наружных стен с вентилируемым фасадом // Academia. Архитектура и строительство. 2009. № 5.
12. СТО НОСТРОЙ 2.35.4–2011. Зеленое строительство. Здания жилые и общественные. Рейтинговая система оценки устойчивости среды обитания. URL: [http:// docs.cntd.ru/document/1200087581](http://docs.cntd.ru/document/1200087581) (дата обращения: 17.02.2017). ●

ОБ АВТОРЕ

Сергей Корниенко – канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет».