

«Зеленое» строительство в России и за рубежом

С.В. Корниенко^{1*}, Е.Д. Попова²

^{1,2} Волгоградский государственный технический университет, 400005, Россия, г. Волгоград,
пр. им. Ленина, 28

| ИНФОРМАЦИЯ О СТАТЬЕ | История | Ключевые слова |
|-------------------------|------------------------------|--|
| doi: 10.18720/CUBS.55.5 | Подана в редакцию 11.02.2017 | здания; сооружение; гражданское строительство; «зеленое» строительство; устойчивое развитие; энергоэффективность; возобновляемая энергия; термореновация; здание с нулевым энергопотреблением; рейтинговая оценка; |

АННОТАЦИЯ

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. Важнейшей задачей на современном этапе является снижение глобальных рисков и повышение безопасности людей. Эффективным инструментом повышения устойчивости среды обитания является строительства «зеленых» зданий. В данной статье выполнен аналитический обзор современной направленности работ в области «зеленого» строительства в России и в зарубежных странах. Рассмотрены основные принципы «зеленого» строительства, концептуальные основы зданий с низким энергопотреблением. Показано, что «зеленые» крыши и «зеленые» фасады являются важными элементами формирования экологически устойчивой архитектуры и энергосберегающего строительства. Рассмотрены проблемы повышения энергоэффективности при термореновации фасадов зданий. Рассмотрены принципы рейтинговой оценки в «зеленом» строительстве. Полученные результаты имеют важное практическое значение. 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.

Содержание

| | | |
|----|------------------|----|
| 1. | Введение | 68 |
| 2. | Обзор литературы | 69 |
| 3. | Заключение | 83 |

Контакты авторов:

- 1* +7(988)4912459, svkorn2009@yandex.ru (Корниенко Сергей Валерьевич, к.т.н., доцент)
2 +7(937)7161036, ekaterina_porova94@bk.ru (Попова Екатерина Дмитриевна, студент)

1. 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 (водяного пара, диоксида углерода, метана, озона) за счет все большего сжигания топлива, что является фактором, повышающим температуру. Климатические аномалии провоцируют социальные катаклизмы (рис. 1).

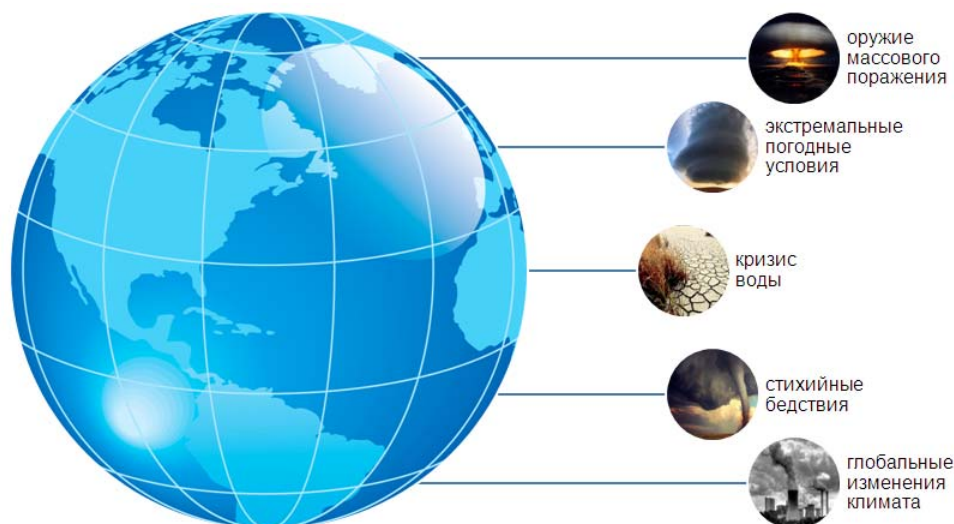


Рисунок 1. Пять глобальных рисков, которые могут оказать наибольшее воздействие на мир в 2017 году (согласно экспертной оценке специалистов)

Важнейшей задачей на современном этапе является снижение глобальных рисков и повышение безопасности 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 энергоэффективности при термореновации гражданских зданий и их фасадных систем. Для более полного и точного учета потребительских качеств зданий разрабатываются новые системы рейтинговой оценки устойчивости среды обитания.

Указанные аспекты «зеленого» строительства отражены в многочисленных зарубежных и отечественных 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.

Целью данной статьи является аналитический обзор современной направленности работ в области «зеленого» строительства в России и в зарубежных странах.

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

2. Обзор литературы

2.1. Принципы «зеленого» строительства

«Зеленое» строительство (green construction) — 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.

Несмотря на постоянное совершенствование энергосберегающих технологий, основной идеей строительства «зеленых» зданий является повышение устойчивости среды обитания (sustainable development) [1—10], что достигается сокращением общего влияния застройки на окружающую среду и здоровье человека (рис. 2).

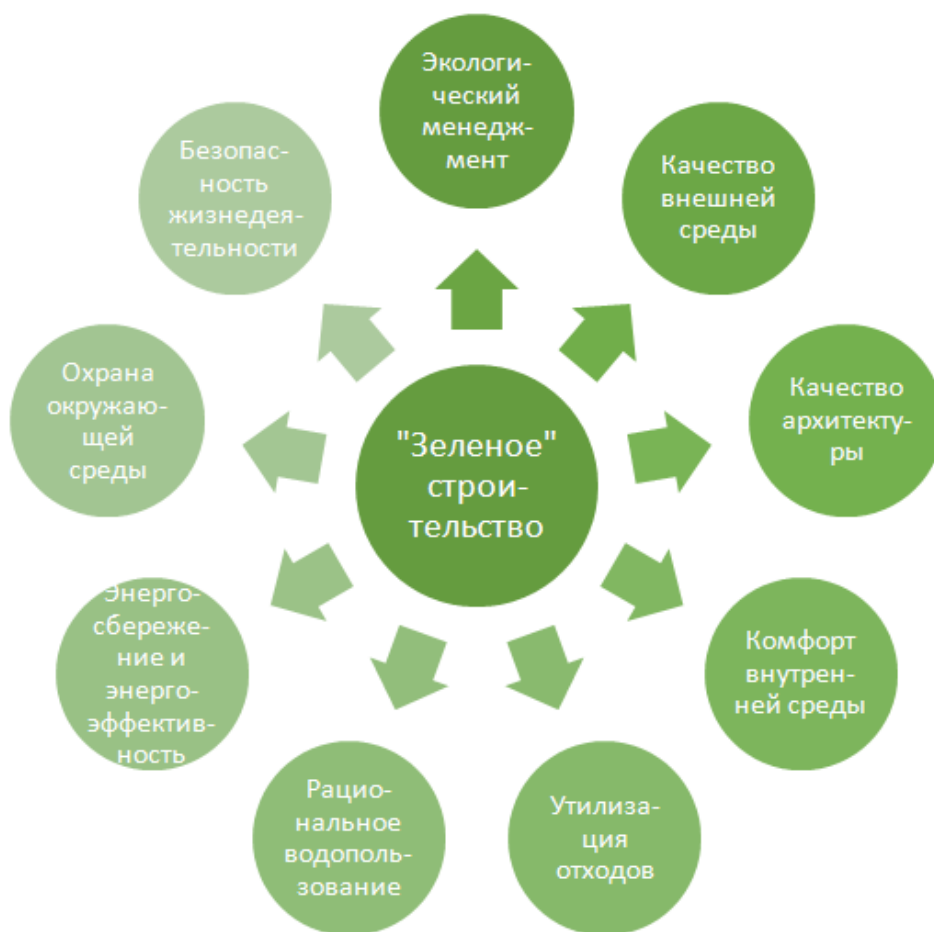


Рисунок 2. Ключевые аспекты «зеленого» строительства

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

Развитие «зеленого» строительства идет по пути улучшения архитектурно-конструктивных решений [11], повышения качества внутренней среды [12], совершенствования методов оценки энергетических характеристик зданий [13, 14], снижения стоимости строительства [15, 16], повышения эффективности инженерного оборудования зданий [17—19].

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

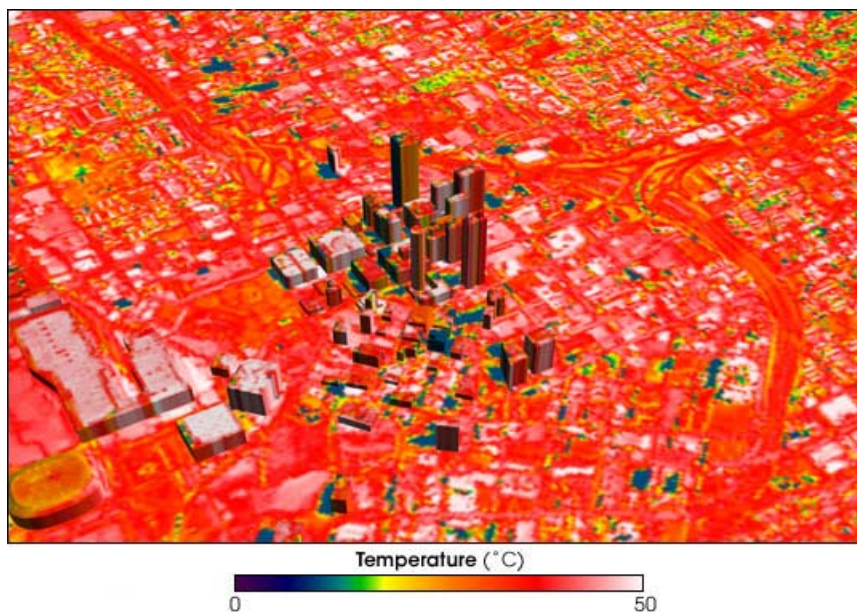


Рисунок 3. Формирование «тепловых островов» в городской среде (URL: http://en.wikipedia.org/wiki/Urban_heat_island)

2.2. Концепция здания с нулевым энергопотреблением

В настоящее время в зарубежных странах и в России активно развивается концепция строительства «зеленых» зданий 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).

Выбор модели теплового комфорта в помещении для установления оптимальных влажностных условий оказывает существенное влияние на потребление энергии зданий с нулевым энергопотреблением в жарком климате. Цель статьи [20] (авторы S. Attia и S. Carlucci) состоит в том, чтобы сравнить влияние различных моделей теплового комфорта на энергопотребление зданий в жарком климате. Приведена сравнительная оценка воздействия моделей Фангера и Дживони, а также адаптивных моделей комфорта согласно нормативным требованиям ASHRAE 55 и EN 15251 на характеристики энергопотребления. На основе средств энергетического моделирования ZEBO и EnergyPlus показано, что энергопотребление здания зависит от выбора модели теплового комфорта.

В 2013 году в Германии введено в эксплуатацию первое административное здание с нулевым энергопотреблением [21]. Двухэтажное здание расположено в Берлине и спроектировано таким образом, чтобы суммарный годовой расход энергии был ниже, чем поступления от возобновляемых источников энергии. В статье (авторы F. Ascione, N. Bianco, O. Böttcher, R. Kaltenbrunner и G.P. Vanoli) приведены результаты первого года эксплуатации здания. Фактический суммарный годовой расход электрической энергии близок к проектным данным. Однако мониторинг здания показал существенное расхождение между ожидаемым и измеренным значениями потребления электроэнергии по отдельным показателям: на отопление и горячее водоснабжение (+172%), вентиляцию (-36%), освещение (-33%), инженерное оборудование и вспомогательные нужды (-14% и -13% соответственно). Для исследования причин этих отклонений, а также в целях дальнейшего улучшения энергетических характеристик здания была разработана численная модель, откалиброванная различными способами. Средняя систематическая ошибка между наблюдаемыми и моделируемыми энергетическими характеристиками составляет менее $\pm 2\%$ для всех рассматриваемых видов использования энергии. По результатам наблюдений и моделирования установлено хорошее согласование, как по энергетическим потребностям системы кондиционирования, так и по изменению температуры воздуха в помещении в течение отопительного и охладительного периодов года. Выявленные отклонения в потреблении электрической энергии связаны, главным образом, с особенностями исследуемого здания и поведением людей. Полученные результаты позволяют предложить меры, нацеленные на дальнейшее сокращение энергопотребления зданий.

Последние изменения европейских норм по энергоэффективному строительству связаны с введением двух базовых требований: по оптимальной стоимости энергии (cost-optimal energy) 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, размещаемых на территории. Авторы M. Ferreira, M. Almeida и A. Rodrigues [22] проанализировали требования к ZEB на примере реконструируемых жилых зданий, расположенных в Португалии. Результаты 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.

В статье [23] Н.И. Ватина, А.С. Горшкова и Д.В. Немовой приведена методика расчета срока окупаемости мероприятий, связанных с увеличением уровня тепловой защиты, достигаемого за счет дополнительного утепления стен существующего здания. Представлен пример расчета для конкретного населенного пункта с известными климатическими параметрами.

Ключевым вопросом исследования [24], выполненного А.С. Горшковым, Д.В. Деруновым и В.В. Завгородним, является сравнительный анализ строительства зданий с нулевым потреблением энергии в России и зарубежных странах. Задачей является анализ эффективности строительства данного типа зданий в нашей стране и разработка наименее затратной технологии при возведении. В качестве объекта исследования рассматривается здание лаборатории, которое планируется построить на территории Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого. Проведенный анализ показывает, что строительство зданий с нулевым потреблением энергии эффективно по следующим причинам: экологичность (отсутствуют вредные выбросы в атмосферу); экономичность (окупаемость); энергоэффективность (значительное снижение потребляемых энергетических ресурсов).

Д.О. Советников и Д.О. Семашкина [25] приводят основные положения, отвечающие концепции энергоэффективного стандарта «Passivhaus». С помощью программного обеспечения Autodesk Revit Energy Analysis и Green Building Studio выполнены проектирование малоэтажного жилого здания и анализ его энергоэффективности в зависимости от принятых архитектурно-планировочных, объемно-пространственных решений, выбора ограждающих конструкций, инженерного оборудования. Кроме того, перечислены основные принципы рациональной вентиляции и отопления, рассмотрено оборудование, использующее возобновляемые источники энергии. В результате проектирования получены показатели использования энергии, соответствующие принятому за эталон стандарту «Passivhaus».

2.3. «Зеленые» крыши — важный элемент теплозащитной оболочки

Важным элементом теплозащитной оболочки «зеленого» здания является «зеленая» крыша (green roof). Это многослойная ограждающая конструкция, состоящая из железобетонной плиты покрытия (с разуклонкой из цементно-песчаного раствора), основного слоя водоизоляционного ковра, теплоизоляции из экструдированных пенополистирольных плит, разделительного слоя из геотекстиля, дренажного и фильтрующего слоев, почвенного слоя, растительного слоя (рис. 4).

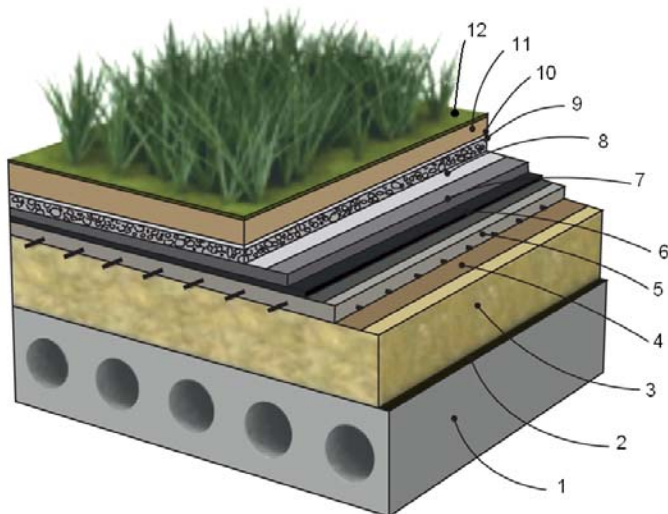


Рисунок 4. Схема конструкции «зеленой» крыши: 1 — несущая конструкция; 2 — пароизоляция; 3 — теплоизоляция; 4 — водоизоляционный слой; 5 — выравнивающая стяжка; 6 — гидроизоляция; 7 — мембрана; 8 — геотекстиль; 9 — гравий; 10 — геотекстиль; 11 — растительный грунт; 12 — озеленение

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» крышами «экстенсивные» крыши имеют более простое конструктивное решение.

Основными преимуществами озелененных крыш являются:

- смягчение эффекта «тепловых островов» (heat island effect) 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;
- 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 исследователей [26—42]. 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, уровня теплоизоляции, типа растительности) на теплофизические характеристики конструкции. Определено влияние конструкций «зеленых» крыш на энергетические характеристики зданий и намечены пути улучшения этих характеристик.

Авторы M. Foustalieraki, M.N. Assimakopoulos, M. Santamouris и др. [26] исследовали энергетические характеристики среднемасштабной «зеленой» крыши двухэтажного офисного здания в Афинах (Греция) и оценили эффект сокращения «тепловых островов» в городской среде за счет выравнивания температуры на поверхности конструкции. В ходе исследования были выполнены измерения температуры и влажности в холодный период года. Показано, что применение «зеленых» крыш способствует значительному выравниванию температуры на поверхности конструкции. Кроме того, с помощью компьютерной программы EnergyPlus выполнено численное моделирование теплового состояния крыш, на основании которого установлено, что дневная температура воздуха в некондиционируемом помещении уменьшается на 1,1 К летом и увеличивается на 0,7 К в течение типичного зимнего дня. Годовая экономия потребления энергии в здании составляет 15,1%.

Большое практическое значение имеет применение крупномасштабных «зеленых» крыш в административных и жилых зданиях, расположенных в городских районах. Преимущества такого конструктивного решения зависят от многих факторов, включая теплозащитные свойства основания

«зеленой» крыши. В работе [27] авторами A. Pianella, R.E. Clarke, N.S.G. Williams и др. были измерены значения теплопроводности различных оснований крыши в установившихся и переходных условиях при различной влажности. Для определения теплофизических характеристик крыши в переходных условиях были также измерены значения удельной теплоаккумулирующей способности конструкций. Полученные результаты могут быть использованы в различных моделях теплового состояния «зеленых» крыш для оценки теплозащитных характеристик и энергосбережения в зданиях.

Известно, что эффект «тепловых островов» в урбанизированной среде обусловлен более высокими температурами наружных поверхностей зданий, в частности крыш. Устройство «зеленых» крыш способствует выравниванию температуры на внешней поверхности и существенному сокращению потребления энергии. Авторами статьи [28] Y.-Y. Huang, C.-T. Chen, Y.-C. Tsai выполнена оценка влияния гидропонных покрытий «зеленых» крыш на амплитуду колебаний температуры и теплового потока. (Гидропоника — это способ выращивания растений на искусственных средах без почвы). Исследовались такие факторы как толщина слоя воды, типы растений и питательной среды. Эксперименты проведены в Тайчжуне, третьем по величине городе Тайваня, в условиях субтропического климата. Результаты показали, что для обеспечения эффективной работы гидропонного покрытия достаточно иметь слой воды толщиной около 10 см. Комбинация растительности и гидропонного покрытия приводит к снижению температуры на поверхности крыши на 3...5 К, при этом амплитуда колебания теплового потока уменьшается на 16% по сравнению с крышей без растительности. Тип растений не влияет на амплитуду колебаний температуры и теплового потока. Показано, что применение твердого гидропонного покрытия является более сложным с точки зрения монтажа и обслуживания крышной системы.

«Зеленые» крыши являются эффективным способом увеличения площади зеленой зоны в городской среде и улучшения микроклимата зданий. В статье [29] (авторы Y. He, H. Yu, N. Dong и др.) проведено исследование теплофизических и энергетических характеристик экстенсивно озелененной крыши в некондиционируемом и кондиционируемом помещениях в Шанхае, прибрежном городе с жарким и влажным летом. Эксперимент проводился на двух полномасштабных моделях помещения здания с 30.07.2014 по 31.08.2014. Одно помещение имело покрытие в виде «зеленой» крыши, другое — стандартное покрытие. Результаты показывают, что при воздействии солнечного излучения наибольший эффект охлаждения дает «зеленая» крыша. Влагосодержание почвы оказывает значительное влияние на энергетический баланс здания.

В последние годы «зеленые» покрытия зданий становятся все более популярными ввиду явных экологических преимуществ. Авторами статьи [30] X. Tang и M. Qu на основе экспериментальных исследований и численного моделирования выполнена оценка энергетических характеристик «зеленых» крыш в холодном климате. Испытательный стенд был расположен на крыше Schleman Hall в кампусе университета Purdue в West Lafayette, Индиана. Стенд был оборудован регистрирующим устройством и датчиками для измерения температуры почвы, влагосодержания и т.д. Эксперимент заключался в определении тепловых характеристик «зеленой» крыши в холодном климате и оценке влияния фазовых переходов влаги в питательной среде покрытия на тепловые характеристики. Эта статья дает новое понимание процесса фазового перехода влаги в «зеленых» крышах и его влияния на теплофизические характеристики конструкции.

U. Berardi [31] рассматривает проблему улучшения локального наружного микроклимата и энергосбережения в зданиях при модификации «зеленой» крыши. Объектом исследования является здание, расположенное в университетском городке в Торонто, Канада. После завершения подробного энергетического аудита здания автором на основе энергетической модели была выполнена оценка параметров экстенсивно озелененной крыши. Результаты иллюстрируют высокий потенциал применения «зеленых» крыш для смягчения эффекта «тепловых островов». Совершенствование конструкции «зеленой» крыши приводит к сокращению энергопотребления здания на 3% и значительному улучшению комфортности среды.

В статье [32] авторы C.M. Silva, M.G. Gomes и M. Silva рассматривают актуальные вопросы энергосбережения в зданиях с «зелеными» крышами в средиземноморском климате в холодный и теплый периоды года. Выполнена оценка теплового состояния «зеленой» крыши в Лиссабоне (Португалия) на основе экспериментальных исследований в течение отопительного и охлаждающего периодов 2013 года. Результаты эксперимента использовались при калибровке модели в компьютерной программе EnergyPlus. После калибровки данных было выполнено численное моделирование крыш с интенсивным, полунтенсивным и экстенсивным озеленением для сравнения их энергетических характеристик. Показано, что в холодный период года указанные типы крыш имеют практически одни и те же тепловые характеристики, однако в теплый период потребность в энергии для зданий с «экстенсивными» «зелеными» крышами более высокая по сравнению с «полунтенсивными» и «интенсивными» крышами, соответственно, в 2,8 и 5,9 раз. Кроме того, выполнено сравнение указанных типов крыш с

традиционными решениями. «Экстенсивные» «зеленые» крыши без тепловой изоляции требуют на 20% меньше тепловой энергии, чем крыши с темной кровлей и сопоставимы с крышами, имеющими светлую кровлю. Крыши с полуинтенсивным и интенсивным озеленением дают сокращение потребления энергии на 60–70% и на 45–60%, по сравнению с темными и светлыми кровлями соответственно. Отмечается значительный эффект испарительного охлаждения в крышах с высокой теплоотражающей способностью покрытий.

Цель работы [33] (авторы P. Karachaliou, M. Santamouris и H. Pangalou) заключалась в исследовании теплового состояния и эффективности использования энергии интенсивно озелененной крыши в высокоэнергоэффективном офисном здании в Афинах, Греция. На основе экспериментальных и теоретических исследований установлено, что температура на поверхности «зеленой» крыши на 15 К ниже по сравнению со стандартной конструкцией. Растения, имеющие низкую поглощающую способность солнечного излучения, дают значительно более низкую температуру на поверхности крыши. Температура на поверхности растительного слоя повышается под влиянием температуры окружающего воздуха. Используя методы численного моделирования установлено, что указанный тип «зеленых» крыш уменьшает среднюю температуру в некондиционированном здании на 0,7 К, существенно снижая потребность на отопление и охлаждение зданий.

Авторы G. Virk, A. Jansz, A. Mavrogianni и др. [34] приводят результаты численного моделирования для оценки эффективности применения модифицированных «зеленых» и «холодных» крыш при решении проблемы сокращения использования энергии в типовом офисном здании, расположенном в центре Лондона. Указанные технологии сравнивались с традиционными конструктивными решениями. Результаты моделирования показывают, что применение «зеленых» крыш позволяет сократить годовое потребление энергии в здании.

Конструкции «зеленых» крыш широко применяют в целях энергосбережения во многих странах с различными климатическими условиями. Область их применения в отапливаемых и охлаждаемых зданиях сильно зависит от особенностей конструкции и наружного климата. В частности, показано увеличение тепловой аккумулирующей способности «зеленых» крыш по сравнению с традиционными крышами. Авторы P. La Roche, U. Berardi в статье [35] исследуют потенциал энергосбережения «зеленых» крыш с «переменной теплоизоляцией» (variable insulation strategy). В течение нескольких лет были исследованы четыре образца в виде изолированной традиционной крыши, неизолированной «зеленой» крыши, изолированной «зеленой» крыши и «зеленой» крыши с «переменной теплоизоляцией» в жарком сухом климате с мягкими зимами. Результаты исследования показали, что применение «переменной теплоизоляции» более эффективно.

Большое влияние на тепловой режим крыш оказывает цвет покрытия. В последнее время «белые» (white roofs) и «зеленые» крыши начали вытеснять обычные «черные» крыши (black roofs) с целью смягчения их отрицательного воздействия на городскую среду. В работе [36] авторы J. Sproul, M.P. Wan, B.H. Mandel и A.H. Rosenfeld на основе анализа затрат в течение 50-летнего жизненного цикла здания (LCCA) рассматривают проблему выбора цвета покрытия. Показано, что по сравнению с «черными» «белые» и «зеленые» крыши обеспечивают значительный экономический эффект. Выбор цвета покрытия основан на предпочтениях заказчика. При решении проблемы глобального потепления следует применять крыши со светлым покрытием, которые в три раза эффективнее по сравнению с «зелеными» крышами. Если во главу угла поставлены местные экологическими факторы, необходимо применять «зеленые» крыши, обеспечивающие «естественный» городской пейзаж. Даны рекомендации по постепенному сокращению площади крыш с темным покрытием в условиях теплого климата.

В статье [37] авторы A.L.S. Chan и T.T. Chow исследовали энергетические и экономические характеристики «зеленых» крышных систем под воздействием меняющихся климатических условий в Гонконге. Для проверки компьютерной модели был установлен экспериментальный фрагмент «зеленой» крыши в офисном здании. Используя программу EnergyPlus, было выполнено численное моделирование теплового режима с оценкой теплофизических характеристик конструкции под воздействием различных климатических условий в течение трех прогнозируемых периодов (2011–2030, 2046–2065 и 2080–2099) и двух «сценариев эмиссии» (SRA1B и SRB1). Результаты показывают, что комбинация более толстого слоя почвы, небольшой толщины растительного покрова и более высокого индекса поверхности листвы (LAI) обеспечивает лучший тепловой эффект изоляции конструкции. На основе экономической оценки показано, что период окупаемости «зеленой» крыши составляет примерно 10 лет. Применение крыш с зеленым покрытием позволяет снизить воздействия меняющегося климата.

Авторы S.S. Moody и D.J. Sailor в статье [38] исследуют тепловые характеристики крышных систем с интенсивным озеленением. Основным критерий, характеризующий «динамический полезный эффект» «зеленых» крыш (DBGR), определяется отношением затрат энергии на отопление, вентиляцию и

кондиционирование воздуха (HVAC) в зданиях с обычной крышей к тем же показателям в зданиях с «зеленой» крышей. Если затраты энергии в здании с «зеленой» крышей ниже, чем в здании с обычной крышей, то DBGR больше единицы. Выполнена оценка DBGR при строительстве нового офисного здания в различных климатических условиях: Портленд (Орегон), Чикаго (Иллинойс), Атланта (Джорджия) и Хьюстон (Техас). Результаты исследований показали, что «зеленая» крыша в Атланте и Хьюстоне обеспечивает ежегодное энергосбережение HVAC, сопоставимое с традиционной крышей. В Чикаго, с интенсивными зимними похолоданиями и умеренными колебаниями температуры наружного воздуха весной и летом, потенциал энергосбережения ниже. В Портленде значение DBGR меньше единицы в связи с более высоким потреблением энергии в здании с «зеленой» крышей, что можно объяснить нежелательным испарительным охлаждением в межсезонье, которое приводит к увеличенным нагрузкам на отопление.

В работе [39] (авторы F. Olivieri, C. Di Perna, M. D'Orazio и др.) представлены результаты экспериментального исследования, выполненного на крыше с экстенсивным озеленением в условиях средиземноморского прибрежного климата. Цель исследования состояла в анализе тепловых и энергетических характеристик «зеленой» крыши в течение лета с учетом плотности растительного покрова, типа растительности и основания крыши. Приведены результаты мониторинга в летний период 2010, 2011 и 2012 годов, численная модель для определения теплового сопротивления основания и растительного покрова, а также верификация модели на основе экспериментальных данных. Результаты показывают, что «зеленая» крыша с высокой плотностью растительного слоя (для пассивного охлаждения) при высоком уровне теплоизоляции основания [$U = 0,24 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$] имеет лучшие энергетические характеристики (примерно на 60%) по сравнению с крышей без растительности.

«Зеленые» крыши уменьшают потребление энергии в зданиях летом, но в холодный период года их теплозащитные характеристики исследованы недостаточно полно. Цель исследования [40] (авторы J.T. Lundholm, B.M. Weddle и J.S. MacIvor) состояла в том, чтобы определить тепловой поток в «зеленой» крыше с экстенсивным озеленением, установить связь теплового потока с солнечным излучением, температурой основания и глубиной снежного покрова и определить связь между типом растительности, накоплением снега и температурой основания. Показано, что полезный тепловой эффект от применения «зеленых» крыш зимой зависит от типа климата, выбора растительности, конструкции крыши и местоположения здания.

Проблема сокращения энергопотребления эксплуатируемых зданий требует совершенствования энергосберегающих технологий. В последнее время инновационная технология устройства «зеленых» кровель привлекает все большее внимание в связи с ее инженерными, тепло-экономическими и экологическими преимуществами. В статье [41] авторов А.И. Копыловой, А.К. Богомолковой и Д.В. Немовой выполнена сравнительная оценка теплозащитных свойств «зеленой» крыши и типовой конструкции для двух зданий с различным отношением площади покрытия к площади оболочки в климатических условиях Санкт-Петербурга. По результатам теплотехнического расчета зданий с различными вариантами кровельного покрытия дан анализ энергетической и экономической эффективности зданий с применением технологии «зеленая кровля».

Тепловой режим ограждающих конструкций зданий формируется под действием многих факторов. Сложность этого процесса делает актуальной проблему многофакторной оценки теплового режима. В статье С.В. Корниенко [42] на основе разработанного автором метода многофакторной оценки теплового режима в элементах оболочки здания выполнена оценка теплоизолирующего эффекта от применения композиционного покрытия «керамические микросферы–связующее» в качестве дополнительной тепловой защиты совмещенного невентилируемого покрытия общественного здания. Показано, что применение композиционного покрытия имеет практически нулевой теплоизолирующий эффект и не обеспечивает нормируемый уровень тепловой защиты ограждающей конструкции в холодный период года. В то же время применение традиционного варианта утепления базовой конструкции минераловатными плитами позволяет повысить теплозащитные свойства конструкции до уровня норм [43]. Такой вариант утепления дает наилучший показатель и по теплоустойчивости, обеспечивая минимальные тепlopоступления в теплый период года.

2.4. «Зеленые» фасады — высокий потенциал энергосбережения

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.

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 (green facades) способствует смягчению теплового режима городской застройки посредством затенения, испарительного охлаждения и тепловой изоляции. Авторы М.-Т. Hoelscher, Т. Nehls, В. Jänicke и др. [44] выполнили количественную оценку эффектов охлаждения зданий (cooling effects) за счет затенения и испарительного охлаждения. Дополнительно рассмотрены вопросы теплоизоляции зданий. Натурные исследования проводились в летние периоды года на трех фасадах зданий в Берлине, Германия. Были определены интенсивность испарения и температура на поверхности озелененных и неозелененных стен, а также листьев трех вьющихся растений. Кроме того, были измерены температура окружающего воздуха, относительная влажность и поступающая коротковолновая солнечная радиация. 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).

Жаркий и засушливый климат в ОАЭ создает дискомфортные условия проживания и пребывания в зданиях вследствие значительного перегрева помещений, что делает актуальной проблему улучшения энергетических характеристик строительных систем. Авторы М. Haggag, А. Hassan и S. Elmasry [45] провели исследование «зеленых» фасадов с целью уменьшения температуры внутреннего воздуха. Была экспериментально изучена конструкция стены с озеленением, установленная на фасаде строящейся школы. Результаты эксперимента показали, что днем в июле «зеленый» фасад может обеспечить среднюю температуру на 5 К ниже по сравнению со стеной без озеленения, улучшая энергетические характеристики здания и снижая нагрузку на охлаждение.

В процессе солнечного облучения конструкции часть тепловой энергии поглощается наружной поверхностью, часть — теряется вследствие теплообмена с окружающей средой, часть — идет на нагревание поверхностного слоя (рис. 5).

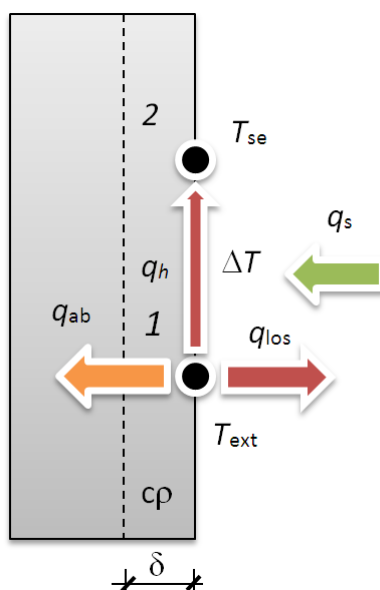


Рисунок 5. Схема теплового баланса ограждающей конструкции (1 — начальное состояние; 2 — конечное состояние)

Уравнение теплового баланса для поверхностного слоя конструкции имеет вид:

$$q_h = q_{ab} - q_{los} \quad (1)$$

Плотность теплового потока q_h , Вт/м², аккумулированного поверхностным слоем конструкции, определяется по формуле:

$$q_h = c\rho\delta \frac{T_{se} - T_{ext}}{\Delta\tau}, \quad (2)$$

где $c\rho$ — объемная теплоемкость слоя, Дж/(м³·К); δ — толщина слоя, м; ΔT — разность температур наружной поверхности (T_{se}) и наружного воздуха (T_{ext}); $\Delta\tau$ — время нагрева, с.

При определении поверхностного слоя конструкции учитываются слои, расположенные между наружной поверхностью и утеплителем.

Плотность теплового потока q_{ab} , Вт/м², поглощенного наружной поверхностью конструкции, определяется по формуле:

$$q_{ab} = pq_s, \quad (3)$$

где p — коэффициент поглощения солнечного излучения материалом наружной поверхности конструкции; q_s — максимальное значение суммарного солнечного излучения, Вт/м².

Плотность теплового потока q_{los} , Вт/м², теряемого вследствие конвективного и лучистого теплообмена конструкции с окружающей средой, определяется по формуле:

$$q_{los} = \alpha_{se}(T_{se} - T_{ext}), \quad (4)$$

где α_{se} — коэффициент теплообмена наружной поверхности конструкции с окружающей средой, Вт/(м²·К), определяемый по формуле:

$$\alpha_{se} = 5,8(1 + 2\sqrt{v}), \quad (5)$$

где v — расчетная скорость ветра, м/с.

После подстановки (2)—(4) в (1) получим максимальную разность между температурами наружной поверхности конструкции и наружного воздуха ΔT :

$$\Delta T = \frac{pq_s\Delta\tau}{c\rho\delta + \alpha_{se}\Delta\tau}. \quad (6)$$

Параметр ΔT , определяемый формулой (6), является индикатором теплового «загрязнения» окружающей среды. Чем выше значение ΔT , тем больше тепловое воздействие здания на окружающую среду. Снижение параметра ΔT способствует уменьшению теплового «загрязнения» окружающей среды и повышению устойчивости развития.

Для оценки теплового воздействия рассмотрены различные типы фасадов и крыш для пункта с географическими координатами (48°N, 44°E). Максимальные значения солнечного излучения в июле: для горизонтальной поверхности крыш — $q_s = 866$ Вт/м², для вертикальной поверхности фасадов западной ориентации — $q_s = 764$ Вт/м². Время нагрева конструкции принято равным $\Delta\tau = 21600$ с (нагрев поверхности с 6:00 до 12:00). Расчетная скорость ветра в июле $v = 1$ м/с. Результаты расчета ΔT (при различных характеристиках поверхностного слоя конструкций) приведены в табл. 1.

Таблица 1. Параметр ΔT индикации теплового «загрязнения» окружающей среды крышами и фасадами

| Конструкция | Коэффициент поглощения солнечного излучения p | Характеристики поверхностного слоя | | ΔT , К |
|--|---|------------------------------------|---|----------------|
| | | толщина δ , м | объемная теплоемкость c_p , МДж/(м ³ ·К) | |
| Традиционная совмещенная рулонная неветилируемая крыша с гидроизоляцией по утеплителю с темной кровлей | 0,9 | 0,005 | 1,01 | 5,0 |
| То же, со светлой кровлей | 0,65 | 0,008 | 1,06 | 32,2 |
| «Зеленая» крыша | 0,74 | 0,1 | 1,51 | 26,6 |
| Фасадная система с тонкой штукатуркой по утеплителю (СФТК) | 0,7 | 0,008 | 1,51 | 30,3 |
| То же, с облицовочным слоем из керамического кирпича | 0,7 | 0,12 | 1,23 | 22,3 |
| То же, с вентилируемым фасадом (НФС) | 0,4 | — | — | 17,9 |

На основании табличных данных выполнена оценка теплового воздействия фасадов и крыш на окружающую среду (рис. 6).

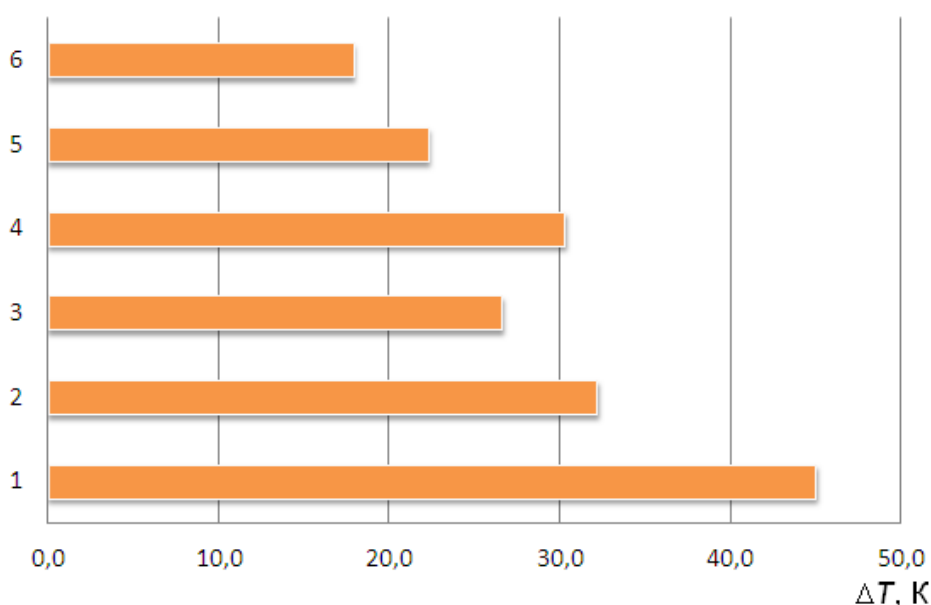


Рисунок 6. Сравнительная оценка теплового воздействия конструкций на окружающую среду: 1 — традиционная крыша с темной кровлей; 2 — то же, со светлой кровлей; 3 — «зеленая» крыша; 4 — фасадная система с тонкой штукатуркой по утеплителю; 5 — то же, с облицовочным слоем из керамического кирпича; 6 — то же, с вентилируемым фасадом

Анализ полученных результатов показывает, что наибольшее тепловое воздействие на внешнюю среду оказывает традиционная крыша с темной кровлей. Применение светлой кровли существенно снижает тепловую нагрузку, снижая температуру наружной поверхности конструкции вследствие высокого отражения солнечного излучения. Максимальное выравнивание температуры дает «зеленая» крыша, главным образом, за счет теплового аккумуляирования 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 [42].

Устойчивое развитие в строительстве подразумевает использование экологических материалов с высоким уровнем теплоизоляции. Авторы статьи [46] А. Korjenic, J. Zach и J. Hroudová рассматривают проблему синтеза современных энергосберегающих технологий на основе применения натуральных волокнистых изоляционных материалов в виде технической конопля (technical hemp), 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. Тем не менее, до внедрения в строительную отрасль, должно обращать особое внимание на технологию строительства с использованием подобных природных материалов. В статье [47] (авторы А.А. Aznabaev, А.В. Ovsyannikova, А.О. Povzun и др.) разработаны элементы ограждающих конструкций для двух технологий соломенного каркасного строительства; выполнено термическое моделирование потенциально слабых узлов оболочки здания; определены численные значения сопротивления теплопередаче и сопоставлены с нормативными показателями; оценен потенциал использования двух технологий при малоэтажном строительстве в условиях холодного и влажного климата.

2.5. Повышение энергоэффективности при термореновации фасадов зданий

Чрезвычайно важное практическое значение имеет термореновация гражданских зданий.

Фасадные системы современных зданий имеют специфику [48, 49].

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. Необходимы расчеты трехмерных температурных полей и разработка новых конструктивных решений.

Следует отметить, что светопрозрачные элементы фасадов отапливаемых зданий являются своеобразными «тепловыми дырами», через которые тепловой поток выходит из помещений на улицу. 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. 7).

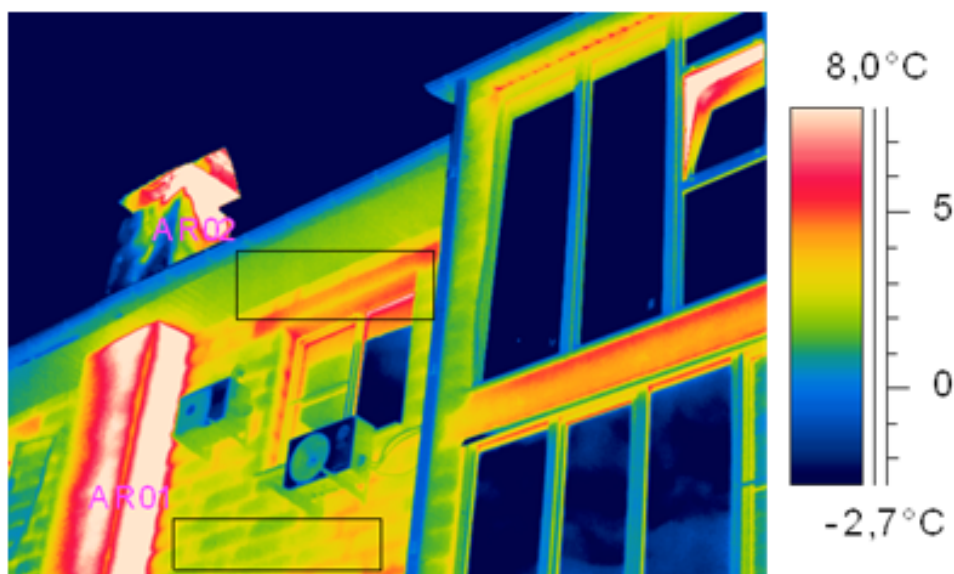


Рисунок 7. Тепловое «загрязнение» окружающей среды зданием (по результатам тепловизионного контроля [48, 49])

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 нестационарного влагопереноса в трехмерных ограждающих конструкций [50].

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

Все перечисленные выше особенности важно учитывать как во вновь строящихся, так и 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.

Повышению энергоэффективности и экологической безопасности зданий за счет совершенствования конструктивных решений фасадных систем посвящены работы [49, 51—59].

Объектом исследования [49] является группа однотипных многоквартирных жилых зданий, расположенных на территории Волгоградской области (Россия, 48°с.ш.). По результатам натурных теплофизических испытаний жилых зданий из газобетонных блоков установлено, что проектирование двухслойных наружных стен в виде кладки автоклавных газобетонных блоков с наружной облицовкой кирпичной кладкой несет теплотехнические риски, связанные с увеличением неравноэффективности теплозащиты оболочки зданий, обусловленным существенным влиянием на теплозащиту зданий краевых зон. Проектный уровень теплоизоляции указанных конструкций не соответствует базовому уровню теплозащиты для большинства регионов Российской Федерации. Двухслойные наружные стены без дополнительной теплоизоляции практически не имеют резерва по тепловой защите и энергосбережению. Снижение фактического уровня теплоизоляции ограждающих конструкций по сравнению с проектным обусловлено как несанкционированными отступлениями от проекта, допущенными подрядчиком в ходе строительства, так и некачественным выполнением строительно-монтажных работ. С целью снижения теплотехнических рисков при проектировании рассматриваемых зданий следует, прежде всего, совершенствовать конструктивное решение краевых зон оболочки. Другим мероприятием для повышения уровня теплозащиты зданий является применение дополнительной теплоизоляции по всей плоскости стены.

В статье [53] (авторы С.В. Корниенко, Н.И. Ватин, М.Р. Петриченко, А.С. Горшков) представлена оценка влажностного режима трехслойной стеновой конструкции с наружным слоем из лицевого керамического кирпича, с использованием теплоизоляционных изделий из стеклянного штапельного волокна. Расчеты выполнены для двух пунктов — Санкт-Петербурга и Казани, отличающихся по наружным климатическим данным и условиям эксплуатации наружных ограждающих конструкций. Рассмотрены два варианта расчета — с невентилируемой и с хорошо-вентилируемой воздушной прослойкой, расположенной между теплоизоляционным слоем и лицевым слоем кирпичной кладки. Показано, что наружный климат оказывает влияние на влажностный режим наружных стен, создавая прирост влаги в конструкции с невентилируемой воздушной прослойкой в период влагонакопления. Использование в конструкциях наружных стен хорошо-вентилируемой воздушной прослойки позволяет значительно улучшить влажностный режим ограждающих конструкций в различных влажностно-климатических зонах и рекомендуется для практического применения.

М.Р. Петриченко, Н.И. Ватиным, Д.В. Немовой и др. исследованы параметры воздушного потока в вентилируемом зазоре навесных фасадных систем (НФС) [54, 55]. Выполнена оценка влияния ветровлагозащитных мембран на скорость и характер движения воздуха в зазоре, сохранность утеплителя и образование конденсата.

На основе моделирования процессов совместного нестационарного влагопереноса [50] установлено образование в зоне кронштейнов подконструкции НФС сложных трехмерных температурных и влажностных полей. Локализация влаги на этих участках выше допустимых значений приводит к ухудшению влажностного режима, снижая теплозащиту и срок эксплуатации всего здания.

По результатам проведенных исследований предложены меры по совершенствованию конструктивных решений стеновых конструкций с облицовкой кирпичной кладкой и НФС, закрепленные в нормативном документе [57].

Повышению теплозащиты узлов ограждающих конструкций зданий с применением пеностеклокристаллического материала посвящена работа Д.Г. Портнягина [58].

В статье [59] (авторы С.И. Крышов и И.С. Курилюк) приведены статистические данные экспериментальной оценки сопротивления теплопередаче строительных конструкций более современных зданий в натуральных условиях. Выявлены противоречия в нормативно-правовых актах, проектной и нормативной документации. Из приведенной статистики испытаний проекту и нормативным требованиям не соответствуют 99% панельных стен и более 90% стен с вентилируемым фасадом. Удельное энергопотребление вводимых в эксплуатацию многоэтажных жилых домов в 1,5...2 раза выше проектных значений. Необходимы корректировка методики расчета энергетических характеристик зданий и уточнение фактических теплофизических показателей строительных материалов и конструкций.

Проблема повышения теплозащитных свойств непрозрачных и светопрозрачных фасадных систем зданий отражена во многих работах [60—75].

Термореновация зданий является эффективным инструментом, позволяющим повысить теплотехническую, энергетическую и экологическую безопасность зданий [76—83].

2.6. 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.

Проблема стандартизации «зеленого» строительства на современном этапе отражена в работах [84—95].

Рассмотрим принципиальные основы рейтинговой оценки устойчивости «зеленого» строительства на примере российского стандарта СТО НОСТРОЙ 2.35.4—2011 [95].

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 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. 8).

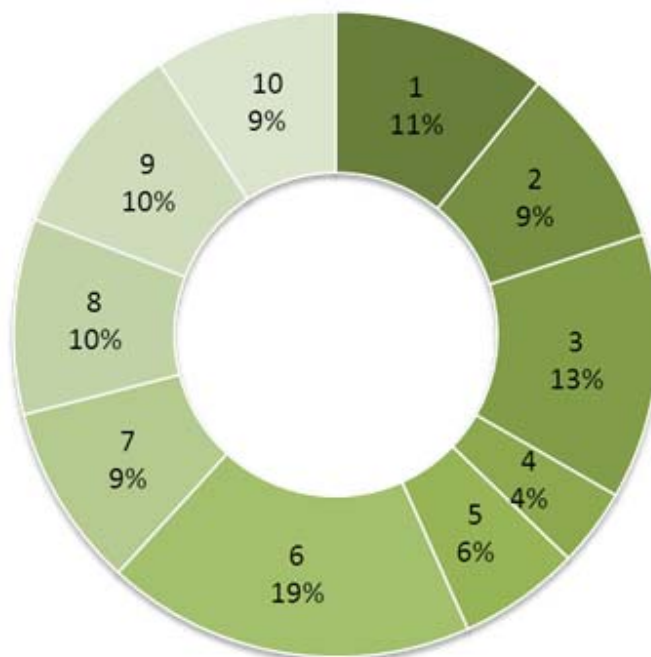


Рисунок 8. Базовые категории устойчивости среды обитания [95]: 1 — комфорт и качество внешней среды; 2 — качество архитектуры и планировки объекта; 3 — комфорт и экология внутренней среды; 4 — качество санитарной защиты и утилизации отходов; 5 — рациональное водопользование; 6 — энергосбережение и энергоэффективность; 7 — применение альтернативной и возобновляемой энергии; 8 — экология создания, эксплуатации и утилизации объекта; 9 — экономическая эффективность; 10 — качество подготовки и управления проектом

Наибольший удельный вес в данной системе имеет категория «Энергосбережение и энергоэффективность» (рис. 8).

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 (рис. 9).








| | | | | | | | |
|-----------------|---|---|---|---|---|---|---|
| S-фактор, баллы | 520–650 | 420–519 | 340–419 | 260–339 | 170–259 | 100–169 | 0–99 |
| Классы оценки | A | B | C | D | E | F | G |
| Знаки оценки |  |  |  |  |  |  |  |

Рисунок 9. Классы устойчивости среды обитания для жилых и общественных зданий [95]

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

3. Заключение

По результатам выполненного аналитического обзора определен вектор развития «зеленого» строительства в России и за рубежом.

Полученные результаты кроме чисто познавательного интереса имеют важное практическое значение. Систематизация и обобщение данных по «зеленому» строительству позволяют наметить дальнейшие пути повышения энергоэффективности, экологической безопасности и экономичности 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. С. 1–9.
- [2] Есаулов Г.В. Энергоэффективность и устойчивая архитектура как векторы развития // АВОК: Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика. 2015. № 5. С. 4–13.
- [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. С. 40–43.
- [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. С. 22–31.
- [5] Савин В.К. Энергосбережение и климатология // АВОК: Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика. 2016. № 2. С. 72–77.
- [6] Жуков А.Д., Боброва Е.Ю., Бессонов И.В. Строительные системы и особенности применения теплоизоляционных материалов // Жилищное строительство. 2015. № 7. С. 49–51.
- [7] Шилкин Н.В. Естественное освещение — эффективный инструмент энергосбережения // Энергосбережение. 2016. № 5. С. 58–72.
- [8] Гашо Е.Г., Пирогов А.Н., Степанова М.В. Энергоэффективность — важнейшая составляющая капремонта // АВОК: Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика. 2014. № 7. С. 18–25.
- [9] Крыгина А.М. Ресурсо-, энергосбережение и экологичность строительства как основа инновационного устойчивого развития жилищной недвижимости // Жилищное строительство. 2015. № 6. С. 57–59.
- [10] Ремизов А.Н. Экоустойчивая архитектура как процесс // Жилищное строительство. 2016. № 4. С. 48–50.
- [11] Raji B., Tenpierik M.J., A. van den Dobbelsteen. An assessment of energy-saving solutions for the envelope design of high-rise buildings in temperate climates: A case study in the Netherlands. Energy and Buildings. 2016. No. 124. Pp. 210–221.
- [12] Lin B., Liu Y., Wang Z., Pei Z., Davies M. Measured energy use and indoor environment quality in green office buildings in China. Energy and Buildings. 2016. No. 129. Pp. 9–18.
- [13] Li Y., Yu W., Li B., Yao R. A multidimensional model for green building assessment: A case study of a highest-rated project in Chongqing. Energy and Buildings. 2016. No. 125. Pp. 231–243.
- [14] Kim M.J., Oh M.W., Kim J.T. A method for evaluating the performance of green buildings with a focus on user experience. Energy and Buildings. 2013. No. 66. Pp. 203–210.
- [15] Dwaikat L.N., Ali K.N. Green buildings cost premium: A review of empirical evidence. Energy and Buildings. 2016. No. 110. Pp. 396–403.
- [16] Liu Y., Guo X., Hu F. Cost-benefit analysis on green building energy efficiency technology application: A case in China. Energy and Buildings. 2014. No. 82. Pp. 37–46.

- [17] Губина И.А., Горшков А.С. Энергосбережение в зданиях при утилизации тепла вытяжного воздуха // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2015. № 4 (31). С. 209–219.
- [18] Басок Б.И., Божко И.К., Недбайло А.Н., Лысенко О.Н. Поливалентная система теплообеспечения пассивного дома на основе возобновляемых источников энергии // Инженерно-строительный журнал. 2015. №6 (58). С. 32–43.
- [19] Наумова Е.А., Серов С.Ф., Ефремов В.В., Капко Д.В. Пути повышения эффективности применения адаптивных систем вентиляции в общественных и жилых зданиях // Промышленное и гражданское строительство. 2016. № 6. С. 40–45.
- [20] Attia S., Carlucci S. Impact of different thermal comfort models on zero energy residential buildings in hot climate. *Energy and Buildings*. 2015. No. 102. Pp. 117–128.
- [21] Ascione F., Bianco N., Böttcher O., Kaltenbrunner R., 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. Pp. 688–710.
- [22] Ferreira M., Almeida M., 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. *Energy and Buildings*. 2016. No. 133. Pp. 724–737.
- [23] Ватин Н.И., Горшков А.С., Немова Д.В. Энергоэффективность ограждающих конструкций при капитальном ремонте // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2013. № 3 (8). С. 1–11.
- [24] 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). С. 12–23.
- [25] Советников Д.О., Семашкина Д.О. Проектирование и анализ энергоэффективности дома, удовлетворяющего принципам стандарта «Passivhaus» // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2016. № 6 (45). С. 68–88.
- [26] Foustalieraki M., Assimakopoulos M.N., Santamouris M., Pangalou H. Energy performance of a medium scale green roof system installed on a commercial building using numerical and experimental data recorded during the cold period of the 2017. *Energy and Buildings*. 2017. No. 135. Pp. 33–38.
- [27] Pianella A., Clarke R.E., Williams N.S.G., Chen Z., Aye L. Steady-state and transient thermal measurements of green roof substrates. *Energy and Buildings*. 2016. No. 131. Pp. 123–131.
- [28] Huang Y.-Y., Chen C.-T., Tsai Y.-C. Reduction of temperatures and temperature fluctuations by hydroponic green roofs in a subtropical urban climate. *Energy and Buildings*. 2016. No. 129. Pp. 174–185.
- [29] 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.
- [30] Tang X., Qu M. Phase change and thermal performance analysis for green roofs in cold climates. *Energy and Buildings*. 2016. No. 121. Pp. 165–175.
- [31] Berardi U. The outdoor microclimate benefits and energy saving resulting from green roofs retrofits. *Energy and Buildings*. 2016. No. 121. Pp. 217–229.
- [32] Silva C.M., Gomes M.G., Silva M. Green roofs energy performance in Mediterranean climate. *Energy and Buildings*. 2016. No. 116. Pp. 318–325.
- [33] Karachaliou P., Santamouris M., Pangalou H. Experimental and numerical analysis of the energy performance of a large scale intensive green roof system installed on an office building in Athens. *Energy and Buildings*. 2016. No. 114. Pp. 256–264.
- [34] Virk G., Jansz A., Mavrogianni A., Mylona A., Stocker J., Davies M. Microclimatic effects of green and cool roofs in London and their impacts on energy use for a typical office building. *Energy and Buildings*. 2015. No. 88. Pp. 214–228.
- [35] Roche P.L., Berardi U. Comfort and energy savings with active green roofs. *Energy and Buildings*. 2014. No. 82. Pp. 492–504.
- [36] 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. No. 71. Pp. 20–27.

- [37] Chan A.L.S., Chow T.T. Energy and economic performance of green roof system under future climatic conditions in Hong Kong. *Energy and Buildings*. 2013. No. 64. Pp. 182–198.
- [38] Moody S.S., Sailor D.J. Development and application of a building energy performance metric for green roof systems. *Energy and Buildings*. 2013. No. 60. Pp. 262–269.
- [39] Olivieri F., Perna C.D., D’Orazio M., Olivieri L., Neila J. Experimental measurements and numerical model for the summer performance assessment of extensive green roofs in a Mediterranean coastal climate. *Energy and Buildings*. 2013. No. 63. Pp. 1–14.
- [40] Lundholm J.T., Weddle B.M., MacIvor J.S. Snow depth and vegetation type affect green roof thermal performance in winter. *Energy and Buildings*. 2014. No. 84. Pp. 299–307.
- [41] 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.
- [42] Корниенко С.В. Многофакторная оценка теплового режима в элементах оболочки здания // *Инженерно-строительный журнал*. 2014. № 8 (52). С. 25–37.
- [43] Корниенко С.В. Повышение энергоэффективности зданий за счет снижения теплотерь в краевых зонах ограждающих конструкций. Волгоград: ВолгГАСУ, 2011. 107 с.
- [44] Hoelscher M.-T., Nehls T., Jänicke B., Wessolek G. Quantifying cooling effects of facade greening: Shading, transpiration and insulation. *Energy and Buildings*. 2016. No. 114. Pp. 283–290.
- [45] Haggag M., Hassan A., Elmasry S. Experimental study on reduced heat gain through green façades in a high heat load climate. *Energy and Buildings*. 2014. No. 82. Pp. 668–674.
- [46] Korjenic A., Zach J., Hroudová J. The use of insulating materials based on natural fibers in combination with plant facades in building constructions. *Energy and Buildings*. 2016. No. 116. Pp. 45–58.
- [47] Aznabaev A.A., Ovsyannikova A.V., Povzun A.O., Gaevskaya Z.A. Assessment of straw construction technologies in terms of thermal efficiency. *Construction of Unique Buildings and Structures*. 2016. No 4 (43). Pp. 103–116.
- [48] Korniyenko S. Evaluation of thermal performance of residential building envelope. *Procedia Engineering*. 2015. No. 117. Pp. 191–196.
- [49] Корниенко С.В., Ватин Н.И., Горшков А.С. Натурные теплофизические испытания жилых зданий из газобетонных блоков // *Инженерно-строительный журнал*. 2016. № 4 (64). С. 10–25.
- [50] Корниенко С.В. Метод решения трехмерной задачи совместного нестационарного тепло- и влагопереноса для ограждающих конструкций зданий // *Известия высших учебных заведений. Строительство*. 2006. № 2. С. 108–110.
- [51] Горшков А.С., Рымкевич П.П., Ватин Н.И. Моделирование процессов нестационарного переноса тепла в стеновых конструкциях из газобетонных блоков // *Инженерно-строительный журнал*. 2014. №8 (52). С. 38–48.
- [52] Vatin N., Gorshkov A., Nemova D., Gamayunova O., Tarasova D. Humidity conditions of homogeneous wall from gas-concrete blocks with finishing plaster compounds. *Applied Mechanics and Materials*. 2014. No. 671–671. Pp. 349–354.
- [53] Корниенко С.В., Ватин Н.И., Петриченко М.Р., Горшков А.С. Оценка влажностного режима многослойной стеновой конструкции в годовом цикле // *Строительство уникальных зданий и сооружений*. 2015. № 6. С. 19–33.
- [54] Vatin N.I., Gorshkov A.S., Nemova D.V., Staritsyna A.A., Tarasova D.S. The energy-efficient heat insulation thickness for systems of hinged ventilated facades. *Advanced Materials Research*. 2014. No. 942. Pp. 786-799.
- [55] Petrichenko M., Vatin N., Nemova D., Kharkov N., Korsun A. Numerical modeling of thermogravitational convection in air gap of system of rear ventilated facades. *Applied Mechanics and Materials*. 2014. No. 672-674. Pp. 1903–1908.
- [56] Чебышев М.В. Конструктивные особенности вентилируемого фасада с утеплителем из пеностекла // *Жилищное строительство*. 2015. № 7. С. 27–28.

- [57] РМД 51–25–2015. Рекомендации по проектированию, монтажу и эксплуатации фасадных систем для нового строительства, реконструкции и ремонта жилых и общественных зданий в Санкт-Петербурге. URL: <http://docs.cntd.ru/document/456025964> (дата обращения: 30.01.2017).
- [58] Портнягин Д.Г. Повышение теплозащиты узлов ограждающих конструкций зданий с применением пеностеклокристаллического материала // Инженерно-строительный журнал. 2015. № 8 (60). С. 56–67.
- [59] Крышов С.И., Курилюк И.С. Проблемы экспертной оценки тепловой защиты зданий // Жилищное строительство. 2016. № 7. С. 3–5.
- [60] Ли Ж., Банцорова О.Л. Исследование вопросов энергоэффективности многоэтажных жилых зданий в Китае // Промышленное и гражданское строительство. 2015. № 11. С. 52–56.
- [61] Орлова А.В., Жмарин Е.Н., Прамонов К.О. Энергетическая эффективность домов из ЛСТК // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2013. № 6 (11). С. 1–13.
- [62] Старцев С.А., Власов Д.Ю., Шлычкова Д.М., Петроченко О.В. Микологическое обследование здания на примере храма в деревне Пенино // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2014. № 2 (17). С. 44–55.
- [63] Горшков А.С., Ватин Н.И., Дацюк Т.А., Безруков А.Ю., Немова Д.В., Kakela P., Vitanen A. Альбом технических решений по применению теплоизоляционных изделий из пенополиуретана в строительстве жилых, общественных и промышленных зданий // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2014. № 5 (20). С. 71–439.
- [64] Беляев В.С., Ахмяров Т.А. Энергоэффективность крупнопанельных зданий // Жилищное строительство. 2012. № 4. С. 47–49.
- [65] Ананьев А.И., Лобов О.И. Керамический кирпич и его место в современном строительстве // Промышленное и гражданское строительство. 2014. № 10. С. 62–64.
- [66] Петросова Д.В., Кузьменко Н.М., Петросов Д.В. Экспериментальное исследование теплового режима легкой ограждающей конструкции в натуральных условиях // Инженерно-строительный журнал. 2013. №8(43). С. 31–37.
- [67] Савин В.К., Савина Н.В. Архитектура и энергоэффективность окна // Жилищное строительство. 2015. № 10. С. 47–50.
- [68] Ким Л.Н., Кашулина Е.В. Проектирование энергоэффективных светопрозрачных конструкций с заданными теплозащитными качествами // Жилищное строительство. 2015. № 8. С. 20–23.
- [69] Беляев В.С. Энергосбережение при выборе светопрозрачных наружных ограждений // Жилищное строительство. 2014. № 8. С. 6–11.
- [70] Самарин О.Д., Винский П.В. Влияние изменения теплозащиты оконных блоков на класс энергосбережения зданий // Жилищное строительство. 2015. № 8. С. 9–13.
- [71] Penić M., Vatin N., Murgul V. Double skin facades in energy efficient design. Applied Mechanics and Materials. 2014. No. 680. Pp. 534–538.
- [72] Кирюдчева А.Е., Шишкина В.В. Энергоэффективные фасадные системы // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2015. № 4 (31). С. 248–262.
- [73] D' Santoli L., R. D'Ambrosio Alfano F. Энергоэффективность и системы ОВК в существующих и исторических зданиях // АВОК: Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика. 2015. № 2. С. 46–57.
- [74] Плотников А.А. Архитектурно-конструктивные принципы и инновации в строительстве стеклянных зданий // Вестник МГСУ. 2015. № 11. С. 7–15.
- [75] Прикупец Л.Б. Энергосбережение и энергоэффективность в светотехнике // Энергосбережение. 2014. № 3. С. 38–42.
- [76] Ortiz J., Fonseca i Casas A., Salom J., Garrido Soriano N., Fonseca i Casas P. Cost-effective analysis for selecting energy efficiency measures for refurbishment of residential buildings in Catalonia. Energy and Buildings. 2016. No. 128. Pp. 442–457.
- [77] Vasiutina S., Vatin N. Reconstruction of Khrushchev's buildings of series 1-528. Applied Mechanics and Materials. 2014. No. 633–634. Pp. 1018–1022.

- [78] Vatin N.I., Nemova D.V., Kazimirova A.S., Gureev K.N. Increase of energy efficiency of the building of kindergarten. *Applied Mechanics and Materials*. 2014. No. 633–634. Pp. 1018–1022.
- [79] Vatin N.I., Nemova D.V., Tarasova D.S., Staritcyna A.A. Increase of energy efficiency for educational institution building. *Advanced Materials Research*. 2014. No. 1065. Pp. 2669–2673.
- [80] Vatin N., Gamayunova O. Energy saving at home. *Applied Mechanics and Materials*. 2014. No. 672–674. Pp. 550–553.
- [81] Harmati N., Jakšić Z., Vatin N. Energy consumption modeling via heat balance method for energy performance of a building. *Procedia Engineering*. 2015. No. 117. Pp. 924–937.
- [82] Alihodzic R., Murgul V., Vatin N., Tanić M., Stanković D. Renewable energy sources used to supply pre-school facilities with energy in different weather conditions. *Applied Mechanics and Materials*. 2014. No. 624. Pp. 604–612.
- [83] Шеина С.Г., Миненко А.Н. Разработка оптимизационной модели управления устойчивым энергосбережением зданий // *Жилищное строительство*. 2014. № 8. С. 3–5.
- [84] Табунщиков Ю.А., Миллер Ю.В. Энергоэффективность зданий и сооружений. Новые своды правил // *Энергосбережение*. 2013. № 5. С. 21–25.
- [85] Опарина Л.А. Жизненный цикл энергоэффективного здания — системный подход // *Энергосбережение*. 2013. № 7. С. 76–79.
- [86] Михайлова М.К., Семашкина Д.О., Советников Д.О. Основные требования, предъявляемые международными и национальным стандартами к зданиям в зеленом строительстве // *Строительство уникальных зданий и сооружений*. 2015. № 6. С. 7–18.
- [87] Герасимов Н.А. Моделирование энергопотребления зданий — краеугольный камень зеленого проектирования для инженеров // *Энергосбережение*. 2014. № 4. С. 28–33.
- [88] Бенуж А.А., Оренбурова Е.Н. Процесс ввода в эксплуатацию здания согласно стандарту BREEAM // *Жилищное строительство*. 2015. № 2. С. 14–16.
- [89] Бенуж А.А., Подшиваленко Д.В. Оценка совокупной стоимости жизненного цикла здания с учетом энергоэффективности и экологической безопасности // *Промышленное и гражданское строительство*. 2014. № 10. С. 43–46.
- [90] Башмаков И.А. Энергоэффективность зданий в России и в зарубежных странах // *Энергосбережение*. 2015. № 3. С. 24–29.
- [91] Старынина Н.А. Особенности сертификации и оценки эффективности энергосберегающих проектов // *Вестник гражданских инженеров*. 2015. № 2 (49). С. 187–193.
- [92] Carpio M., Martín-Morales M., Zamorano M. Comparative study by an expert panel of documents recognized for energy efficiency certification of buildings in Spain. *Energy and Buildings*. 2015. No. 99. Pp. 98–103.
- [93] Komurlu R., Arditi D., Gurgun A.P. Energy and atmosphere standards for sustainable design and construction in different countries. *Energy and Buildings*. 2015. No. 90. Pp. 156–165.
- [94] Миков В.Л. «Человеческий фактор» и строительная теплотехника окон // *Academia*. Архитектура и строительство. 2010. № 3. С. 411–415.
- [95] СТО НОСТРОЙ 2.35.4–2011. «Зеленое строительство». Здания жилые и общественные. Рейтинговая система оценки устойчивости среды обитания. URL: [http:// http://docs.cntd.ru/document/1200087581](http://docs.cntd.ru/document/1200087581) (дата обращения: 01.02.2017).

«Green» construction in Russia and other countries

S.V. Korniyenko^{1*}, E.D. Popova²

^{1,2} Volgograd State Technical University, 28, Lenina Ave., Volgograd, Russia, 400005

ARTICLE INFO

review

doi: 10.18720/CUBS.55.5

Article history

Received 11.02.2017

Keywords

buildings;
construction;
civil engineering;
green construction;
sustainable development;
energy efficiency;
renewable energy;
thermorenovation;
zero-energy building;
rating

ABSTRACT

It is considered that technical progress is a basic reason of global warming. Activities of the person lead to growth of content in the atmosphere of greenhouse gases due to the increasing combustion of fuel that is the factor of increasing temperature. Climatic anomalies provoke social cataclysms. The major task at the present stage is decrease in global risks and increase in safety of people. The effective instrument of increase in sustainability is constructions of green buildings. In this article the analytical review of a modern direction of the green construction problem in Russia and in foreign countries is executed. The basic principles of a green construction, conceptual bases of buildings with low energy consumption are considered. It is specified that green roofs and green facades are important elements of ecologically steady architecture and energy-saving construction. Problems of increase in energy efficiency in case of thermorenovation of facades are considered. The principles of rating in a green construction are indicated. The received results have important practical value. Systematization and generalization of data on a green construction allow to plan further ways of increase in energy efficiency and ecological safety of buildings and structures in case of the solution of an urgent problem of increase in sustainability in town planning and architecture.

Contact information:

1* +7(988)4912459, svkorn2009@yandex.ru (Sergey Korniyenko, Ph.D., Associate Professor)
2 +7(937)7161036, ekaterina_popova94@bk.ru (Ekaterina Popova, Student)

References

- [1] Tabunshchikov Yu.A., Naumov A.L., Miller Yu.V. Kriterii energoeffektivnosti v «zelenom» stroitel'stve [Criteria of energy efficiency in “green” construction]. *Energoberezhenie*. 2012. No. 1. Pp. 1–9. (rus)
- [2] Esaulov G.V. Energoeffektivnost' i ustoychivaya arkhitektura kak vektory razvitiya [Energy efficiency and sustainable architecture as development vectors]. *AVOK: Ventilyatsiya, otoplenie, konditsionirovanie vozdukh, teplosnabzhenie i stroitel'naya teplofizika*. 2015. No. 5. Pp. 4–13. (rus)
- [3] Telichenko V.I., Benuzh A.A. Sovershenstvovanie printsiptov ustoychivogo razvitiya na osnove opyta primeneniya «zelenykh» standartov pri stroitel'stve olimpiyskikh ob"ektov v Sochi [Improvement of the principles of sustainable development based on application of “green” standards at construction of Olympic venues in Sochi]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2014. No. 10. Pp. 40–43. (rus)
- [4] Naumov A.L., Kapko D.V., Sud'ina O.S. Energoeffektivnost', stoykost' zhiznennogo tsikla i zelenye standarty [Energy efficiency, cost of life cycle and green standards]. *AVOK: Ventilyatsiya, otoplenie, konditsionirovanie vozdukh, teplosnabzhenie i stroitel'naya teplofizika*. 2015. No. 5. Pp. 22–31. (rus)
- [5] Savin V.K. Energoberezhenie i klimatologiya [Energy saving and climatology]. *AVOK: Ventilyatsiya, otoplenie, konditsionirovanie vozdukh, teplosnabzhenie i stroitel'naya teplofizika*. 2016. No. 2. Pp. 72–77. (rus)
- [6] Zhukov A.D., Bobrova E.Yu., Bessonov I.V. Stroitel'nye sistemy i osobennosti primeneniya teploizolyatsionnykh materialov [Construction systems and features of use of heat-insulating materials]. *Zhilishchnoe stroitel'stvo*. 2015. No. 7. Pp. 49–51. (rus)
- [7] Shilkin N.V. Estestvennoe osveshchenie — effektivnyy instrument energoberezheniya [Natural lighting is the effective instrument of energy saving]. *Energoberezhenie*. 2016. No. 5. Pp. 58–72. (rus)
- [8] Gasho E.G., Pirogov A.N., Stepanova M.V. Energoeffektivnost' — vazhneyshaya sostavlyayushchaya kapremonta [Energy efficiency is the most important component of capital repairs]. *AVOK: Ventilyatsiya, otoplenie, konditsionirovanie vozdukh, teplosnabzhenie i stroitel'naya teplofizika*. 2014. No. 7. Pp. 18–25. (rus)
- [9] Krygina A.M. Resurso-, energoberezhenie i ekologichnost' stroitel'stva kak osnova innovatsionnogo ustoychivogo razvitiya zhilishchnoy nedvizhimosti [Resource-saving, energy-saving and ecological compatibility of a construction as basis of innovative sustainable development of the housing real estate]. *Zhilishchnoe stroitel'stvo*. 2015. No. 6. Pp. 57–59. (rus)
- [10] Remizov A.N. Ekoustoychivaya arkhitektura kak protsess [Ecosteady architecture as process]. *Zhilishchnoe stroitel'stvo*. 2016. No. 4. Pp. 48–50. (rus)
- [11] Raji B., Tenpierik M.J., A. van den Dobbelsteen. An assessment of energy-saving solutions for the envelope design of high-rise buildings in temperate climates: A case study in the Netherlands. *Energy and Buildings*. 2016. No. 124. Pp. 210–221.
- [12] Lin B., Liu Y., Wang Z., Pei Z., Davies M. Measured energy use and indoor environment quality in green office buildings in China. *Energy and Buildings*. 2016. No. 129. Pp. 9–18.
- [13] Li Y., Yu W., Li B., Yao R. A multidimensional model for green building assessment: A case study of a highest-rated project in Chongqing. *Energy and Buildings*. 2016. No. 125. Pp. 231–243.
- [14] Kim M.J., Oh M.W., Kim J.T. A method for evaluating the performance of green buildings with a focus on user experience. *Energy and Buildings*. 2013. No. 66. Pp. 203–210.
- [15] Dwaikat L.N., Ali K.N. Green buildings cost premium: A review of empirical evidence. *Energy and Buildings*. 2016. No. 110. Pp. 396–403.
- [16] Liu Y., Guo X., Hu F. Cost-benefit analysis on green building energy efficiency technology application: A case in China. *Energy and Buildings*. 2014. No. 82. Pp. 37–46.
- [17] Gubina I.A., Gorshkov A.S. Energoberezhenie v zdaniyakh pri utilizatsii tepla vytyazhnogo vozdukh [Energy saving in buildings at utilization of heat of exhaust air]. *Construction of Unique Buildings and Structures*. 2015. No. 4 (31). Pp. 209–219. (rus)
- [18] Basok B.I., Bozhko I.K., Nedbaylo A.N., Lysenko O.N. Polivalentnaya sistema teploobespecheniya passivnogo doma na osnove vozobnovlyaemykh istochnikov energii [Polyvalent system of heat supply of the passive house on the basis of renewables]. *Magazine of Civil Engineering*. 2015. No.6 (58). Pp. 32–43. (rus)
- [19] Naumova E.A., Serov S.F., Efremov V.V., Kapko D.V. Puti povysheniya effektivnosti primeneniya adaptivnykh sistem ventilyatsii v obshchestvennykh i zhilykh zdaniyakh [Ways of increase in efficiency of use of adaptive systems of ventilation in public and residential buildings]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2016. No. 6. Pp. 40–45. (rus)

- [20] Attia S., Carlucci S. Impact of different thermal comfort models on zero energy residential buildings in hot climate. *Energy and Buildings*. 2015. No. 102. Pp. 117–128.
- [21] Ascione F., Bianco N., Böttcher O., Kaltenbrunner R., 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. Pp. 688–710.
- [22] Ferreira M., Almeida M., 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. *Energy and Buildings*. 2016. No. 133. Pp. 724–737.
- [23] Vatin N.I., Gorshkov A.S., Nemova D.V. Energoeffektivnost' ograzhdayushchikh konstruksiy pri kapital'nom remonte [Energy efficiency of building components at capital repairs]. *Construction of Unique Buildings and Structures*. 2013. No. 3 (8). Pp. 1–11. (rus)
- [24] Gorshkov A.S., Derunov D.V., Zavgorodniy V.V. Tekhnologiya i organizatsiya stroitel'stva zdaniya s nulevym potrebleniem energii [Technology and organization of zero-energy building construction]. *Construction of Unique Buildings and Structures*. 2013. No. 3 (8). Pp. 12–23. (rus)
- [25] Sovetnikov D.O., Semashkina D.O. Proektirovanie i analiz energoeffektivnosti doma, udovletvoryayushchego printsipam standarta «Passivhaus» [Design and the analysis of energy efficiency of the house satisfying to the principles of the Passivhaus standard]. *Construction of Unique Buildings and Structures*. 2016. No. 6 (45). Pp. 68–88. (rus)
- [26] Foustalieraki M., Assimakopoulos M.N., Santamouris M., Pangalou H. Energy performance of a medium scale green roof system installed on a commercial building using numerical and experimental data recorded during the cold period of the year. *Energy and Buildings*. 2017. No. 135. Pp. 33–38.
- [27] Pianella A., Clarke R.E., Williams N.S.G., Chen Z., Aye L. Steady-state and transient thermal measurements of green roof substrates. *Energy and Buildings*. 2016. No. 131. Pp. 123–131.
- [28] Huang Y.-Y., Chen C.-T., Tsai Y.-C. Reduction of temperatures and temperature fluctuations by hydroponic green roofs in a subtropical urban climate. *Energy and Buildings*. 2016. No. 129. Pp. 174–185.
- [29] 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.
- [30] Tang X., Qu M. Phase change and thermal performance analysis for green roofs in cold climates. *Energy and Buildings*. 2016. No. 121. Pp. 165–175.
- [31] Berardi U. The outdoor microclimate benefits and energy saving resulting from green roofs retrofits. *Energy and Buildings*. 2016. No. 121. Pp. 217–229.
- [32] Silva C.M., Gomes M.G., Silva M. Green roofs energy performance in Mediterranean climate. *Energy and Buildings*. 2016. No. 116. Pp. 318–325.
- [33] Karachaliou P., Santamouris M., Pangalou H. Experimental and numerical analysis of the energy performance of a large scale intensive green roof system installed on an office building in Athens. *Energy and Buildings*. 2016. No. 114. Pp. 256–264.
- [34] Virk G., Jansz A., Mavrogianni A., Mylona A., Stocker J., Davies M. Microclimatic effects of green and cool roofs in London and their impacts on energy use for a typical office building. *Energy and Buildings*. 2015. No. 88. Pp. 214–228.
- [35] Roche P.L., Berardi U. Comfort and energy savings with active green roofs. *Energy and Buildings*. 2014. No. 82. Pp. 492–504.
- [36] 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. No. 71. Pp. 20–27.
- [37] Chan A.L.S., Chow T.T. Energy and economic performance of green roof system under future climatic conditions in Hong Kong. *Energy and Buildings*. 2013. No. 64. Pp. 182–198.
- [38] Moody S.S., Sailor D.J. Development and application of a building energy performance metric for green roof systems. *Energy and Buildings*. 2013. No. 60. Pp. 262–269.
- [39] Olivieri F., Perna C.D., D'Orazio M., Olivieri L., Neila J. Experimental measurements and numerical model for the summer performance assessment of extensive green roofs in a Mediterranean coastal climate. *Energy and Buildings*. 2013. No. 63. Pp. 1–14.
- [40] Lundholm J.T., Weddle B.M., MacIvor J.S. Snow depth and vegetation type affect green roof thermal performance in winter. *Energy and Buildings*. 2014. No. 84. Pp. 299–307.

- [41] Kopylova A.I., Bogomolova A.K., Nemova D.V. Energeticheskaya effektivnost' zdaniya s primeneniem tekhnologii «zelenaya krovlya» [Energy efficiency of the building using “green roof” technology]. Construction of Unique Buildings and Structures. 2016. No. 10 (49). Pp. 20–34. (rus)
- [42] Kornienko S.V. Mnogofaktornaya otsenka teplovogo rezhima v elementakh obolochki zdaniya [Multiple-factor assessment of the thermal condition in building components]. Magazine of Civil Engineering. 2014. No. 8 (52). Pp. 25–37. (rus)
- [43] Kornienko S.V. Povyschenie energoeffektivnosti zdaniy za schet snizheniya teplopoter' v kraevykh zonakh ograzhdayushchikh konstruksiy [Increase in energy efficiency of buildings due to decrease in heat-losses in edge zones of building components]. Volgograd: VolgGASU, 2011. 107 p. (rus)
- [44] Hoelscher M.-T., Nehls T., Jänicke B., Wessolek G. Quantifying cooling effects of facade greening: Shading, transpiration and insulation. Energy and Buildings. 2016. No. 114. Pp. 283–290.
- [45] Haggag M., Hassan A., Elmasry S. Experimental study on reduced heat gain through green façades in a high heat load climate. Energy and Buildings. 2014. No. 82. Pp. 668–674.
- [46] Korjenic A., Zach J., Hroudová J. The use of insulating materials based on natural fibers in combination with plant facades in building constructions. Energy and Buildings. 2016. No. 116. Pp. 45–58.
- [47] Aznabaev A.A., Ovsyannikova A.V., Povzun A.O., Gaevskaya Z.A. Assessment of straw construction technologies in terms of thermal efficiency. Construction of Unique Buildings and Structures. 2016. No. 4 (43). Pp. 103–116. (eng)
- [48] Korniyenko S. Evaluation of thermal performance of residential building envelope. Procedia Engineering. 2015. No. 117. Pp. 191–196.
- [49] Kornienko S.V., Vatin N.I., Gorshkov A.S. Naturnye teplofizicheskie ispytaniya zhilykh zdaniy iz gazobetonnykh blokov [Thermophysical field testing of residential buildings made of autoclaved aerated concrete blocks]. Magazine of Civil Engineering. 2016. No. 4 (64). Pp. 10–25. (eng)
- [50] Kornienko S.V. Metod resheniya trekhmernoy zadachi sovmestnogo nestatsionarnogo teplo- i vlagoperenosa dlya ograzhdayushchikh konstruksiy zdaniy [Method of the solution of a three-dimensional problem joint non-stationary heat and moisture transfer in building components]. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Stroitel'stvo. 2006. No. 2. Pp. 108–110. (rus)
- [51] Gorshkov A.S., Rymkevich P.P., Vatin N.I. Modelirovanie protsessov nestatsionarnogo perenosa tepla v stenovykh konstruksiyakh iz gazobetonnykh blokov [Modeling of processes of non-stationary transfer of heat in wall designs made from gas-concrete blocks]. Magazine of Civil Engineering. 2014. No.8(52). Pp. 38-48. (rus)
- [52] Vatin N., Gorshkov A., Nemova D., Gamayunova O., Tarasova D. Humidity conditions of homogeneous wall from gas-concrete blocks with finishing plaster compounds. Applied Mechanics and Materials. 2014. No. 671–671. Pp. 349–354.
- [53] Kornienko S.V., Vatin N.I., Petrichenko M.R., Gorshkov A.S. Otsenka vlazhnostnogo rezhima mnogosloynnoy stenovoy konstruksii v godovom tsikle [Assessment of moisture conditions of a multilayered wall design in an annual cycle]. Construction of Unique Buildings and Structures. 2015. No. 6. Pp. 19–33. (rus)
- [54] Vatin N.I., Gorshkov A.S., Nemova D.V., Staritsyna A.A., Tarasova D.S. The energy-efficient heat insulation thickness for systems of hinged ventilated facades. Advanced Materials Research. 2014. No. 942. Pp. 786-799.
- [55] Petrichenko M., Vatin N., Nemova D., Kharkov N., Korsun A. Numerical modeling of thermogravitational convection in air gap of system of rear ventilated facades. Applied Mechanics and Materials. 2014. No. 672–674. Pp. 1903–1908.
- [56] Chebyshev M.V. Konstruktivnye osobennosti ventiliruemogo fasada s uteplitelem iz penostekla [Design features of the ventilated facade with foamglass insulation]. Zhilishchnoe stroitel'stvo. 2015. No. 7. Pp. 27-28. (rus)
- [57] RMD 51–25–2015. Rekomendatsii po proektirovaniyu, montazhu i ekspluatatsii fasadnykh sistem dlya novogo stroitel'stva, rekonstruksii i remonta zhilykh i obshchestvennykh zdaniy v Sankt-Peterburge [Recommendations about design, mounting and operation of front systems for new construction, reconstruction and repair of residential and public buildings in St. Petersburg]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/456025964> (data obrashcheniya: 30.01.2017). (rus)
- [58] Portnyagin D.G. Povyschenie teplozashchity uzlov ograzhdayushchikh konstruksiy zdaniy s primeneniem penosteklokristallicheskogo materiala [Increase in a heat-shielding of building component joints with use of penosteklokristallichesky material]. Magazine of Civil Engineering. 2015. No. 8 (60). Pp. 56–67. (rus)

- [59] Kryshov S.I., Kurilyuk I.S. Problemy ekspertnoy otsenki teplovoy zashchity zdaniy [Problems of expert assessment of buildings thermal protection]. Zhilishchnoe stroitel'stvo. 2016. No. 7. Pp. 3–5. (rus)
- [60] Li Zh., Bantserova O.L. Issledovanie voprosov energoeffektivnosti mnogoetazhnykh zhilykh zdaniy v Kitae [Research of questions of energy efficiency of multystoried residential buildings in China]. Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. 2015. No. 11. Pp. 52–56. (rus)
- [61] Orlova A.V., Zhmarin E.N., Pramonov K.O. Energeticheskaya effektivnost' domov iz LSTK [Energy efficiency of houses from LSTK]. Construction of Unique Buildings and Structures. 2013. No. 6 (11). Pp. 1–13. (rus)
- [62] Startsev S.A., Vlasov D.Yu., Shlychkova D.M., Petrochenko O.V. Mikologicheskoe obsledovanie zdaniya na primere khrama v derevne Penino [Mycologic inspection of the building on the example of the temple in the village of Penino]. Construction of Unique Buildings and Structures. 2014. No. 2 (17). Pp. 44–55. (rus)
- [63] Gorshkov A.S., Vatin N.I., Datsyuk T.A., Bezrukov A.Yu., Nemova D.V., Kakela P., Vitonen A. Al'bom tekhnicheskikh resheniy po primeneniyu teploizolyatsionnykh izdeliy iz penopoliuretana v stroitel'stve zhilykh, obshchestvennykh i promyshlennykh zdaniy [Album of technical solutions on application of heat-insulating products from polyurethane foam in a construction of residential, public and plant buildings]. Construction of Unique Buildings and Structures. 2014. No. 5 (20). Pp. 71–439. (rus)
- [64] Belyaev V.S., Akhmyarov T.A. Energoeffektivnost' krupnopanel'nykh zdaniy [Energy efficiency of large-panel buildings]. Zhilishchnoe stroitel'stvo. 2012. No. 4. Pp. 47–49. (rus)
- [65] Anan'yev A.I., Lobov O.I. Keramicheskyy kirpich i ego mesto v sovremennom stroitel'stve [Ceramic brick and its place in modern construction]. Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. 2014. No. 10. Pp. 62–64. (rus)
- [66] Petrosova D.V., Kuz'menko N.M., Petrosov D.V. Eksperimental'noe issledovanie teplovogo rezhima legkoy ograzhdayushchey konstruksii v naturnykh usloviyakh [Pilot study of the thermal mode of the easy protecting design in natural conditions]. Magazine of Civil Engineering. 2013. No.8(43). Pp. 31–37. (rus)
- [67] Savin V.K., Savina N.V. Arkhitektura i energoeffektivnost' okna [Architecture and energy performance of a window]. Zhilishchnoe stroitel'stvo. 2015. No. 10. Pp. 47–50. (rus)
- [68] Kim L.N., Kashulina E.V. Proektirovanie energoeffektivnykh svetoprozrachnykh konstruksiy s zadannymi teplozashchitnymi kachestvami [Design of energy efficient translucent designs with the set heat-shielding qualities]. Zhilishchnoe stroitel'stvo. 2015. No. 8. Pp. 20–23. (rus)
- [69] Belyaev V.S. Energoberezhenie pri vybore svetoprozrachnykh naruzhnykh ograzhdeniy [Energy saving at the choice of translucent external protections]. Zhilishchnoe stroitel'stvo. 2014. No. 8. Pp. 6–11. (rus)
- [70] Samarin O.D., Vinskiy P.V. Vliyaniye izmeneniya teplozashchity okonnykh blokov na klass energoberezheniya zdaniy [Influence of change of a heat-shielding of window blocks on a class of energy saving of buildings]. Zhilishchnoe stroitel'stvo. 2015. No. 8. Pp. 9–13. (rus)
- [71] Penić M., Vatin N., Murgul V. Double skin facades in energy efficient design. Applied Mechanics and Materials. 2014. No. 680. Pp. 534–538.
- [72] Kiryudcheva A.E., Shishkina V.V. Energoeffektivnyye fasadnye sistemy [Energy efficient façade systems]. Construction of Unique Buildings and Structures. 2015. No. 4 (31). Pp. 248–262. (rus)
- [73] D' Santoli L., R. D'Ambrosio Alfano F. Energoeffektivnost' i sistemy OVK v sushchestvuyushchikh i istoricheskikh zdaniyakh [Energy efficiency and HVAC systems in the existing and historical buildings]. AVOK: Ventilyatsiya, otopenie, konditsionirovanie vozdukh, teplosnabzhenie i stroitel'naya teplofizika. 2015. No. 2. Pp. 46–57. (rus)
- [74] Plotnikov A.A. Arkhitekturno-konstruktivnye printsipy i innovatsii v stroitel'stve steklyannykh zdaniy [The architectural and constructive principles and innovations in construction of glass buildings]. Vestnik MGSU. 2015. No. 11. Pp. 7–15. (rus)
- [75] Prikupets L.B. Energoberezhenie i energoeffektivnost' v svetotekhnike [Energy saving and energy efficiency in lighting engineering]. Energoberezhenie. 2014. No. 3. Pp. 38–42. (rus)
- [76] Ortiz J., Fonseca i Casas A., Salom J., Garrido Soriano N., Fonseca i Casas P. Cost-effective analysis for selecting energy efficiency measures for refurbishment of residential buildings in Catalonia. Energy and Buildings. 2016. No. 128. Pp. 442–457.
- [77] Vasiutina S., Vatin N. Reconstruction of Khrushchev's buildings of series 1-528. Applied Mechanics and Materials. 2014. No. 633–634. Pp. 1018–1022.
- [78] Vatin N.I., Nemova D.V., Kazimirova A.S., Gureev K.N. Increase of energy efficiency of the building of kindergarten. Applied Mechanics and Materials. 2014. No. 633–634. Pp. 1018–1022.

- [79] Vatin N.I., Nemova D.V., Tarasova D.S., Staritsyna A.A. Increase of energy efficiency for educational institution building. *Advanced Materials Research*. 2014. No. 1065. Pp. 2669–2673.
- [80] Vatin N., Gamayunova O. Energy saving at home. *Applied Mechanics and Materials*. 2014. No. 672–674. Pp. 550–553.
- [81] Harmati N., Jakšić Z., Vatin N. Energy consumption modeling via heat balance method for energy performance of a building. *Procedia Engineering*. 2015. No. 117. Pp. 924–937.
- [82] Alihodzic R., Murgul V., Vatin N., Tanić M., Stanković D. Renewable energy sources used to supply pre-school facilities with energy in different weather conditions. *Applied Mechanics and Materials*. 2014. No. 624. Pp. 604–612.
- [83] Sheina S.G., Minenko A.N. Razrabotka optimizatsionnoy modeli upravleniya ustoychivym energosberezheniem zdaniy [Development of optimizing model of management of steady energy saving for buildings]. *Zhilishchnoe stroitel'stvo*. 2014. No. 8. Pp. 3–5. (rus)
- [84] Tabunshchikov Yu.A., Miller Yu.V. Energoeffektivnost' zdaniy i sooruzheniy. *Novye svody pravil [Energy efficiency of buildings and constructions]*. *Energosberezhenie*. 2013. No. 5. Pp. 21–25. (rus)
- [85] Oparina L.A. Zhiznennyy tsikl energoeffektivnogo zdaniya — sistemnyy podkhod [Life cycle of the energy efficient building: System approach]. *Energosberezhenie*. 2013. No. 7. Pp. 76–79. (rus)
- [86] Mikhaylova M.K., Semashkina D.O., Sovetnikov D.O. Osnovnye trebovaniya, pred'yavlyaemye mezhdunarodnymi i natsional'nym standartami k zdaniyam v zelenom stroitel'stve [The main requirements imposed international and national by standards to buildings in green construction]. *Construction of Unique Buildings and Structures*. 2015. No. 6. Pp. 7–18. (rus)
- [87] Gerasimov N.A. Modelirovanie energopotrebleniya zdaniy — kraeugol'nyy kamen' zelenogo proektirovaniya dlya inzhenerov [Modeling of energy consumption of buildings is a “cornerstone” of green design for engineers]. *Energosberezhenie*. 2014. No. 4. Pp. 28–33. (rus)
- [88] Benuzh A.A., Orenburova E.N. Protssess vvoda v ekspluatatsiyu zdaniya soglasno standartu BREEAM [Process of commissioning of the building according to the BREEAM standard]. *Zhilishchnoe stroitel'stvo*. 2015. No. 2. Pp. 14–16. (rus)
- [89] Benuzh A.A., Podshivalenko D.V. Otsenka sovokupnoy stoimosti zhiznennogo tsikla zdaniya s uchetom energoeffektivnosti i ekologicheskoy bezopasnosti [Assessment of cumulative cost of life cycle of the building taking into account energy efficiency and ecological safety]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*. 2014. No. 10. Pp. 43–46. (rus)
- [90] Bashmakov I.A. Energoeffektivnost' zdaniy v Rossii i v zarubezhnykh stranakh [Energy efficiency of buildings in Russia and in foreign countries]. *Energosberezhenie*. 2015. No. 3. Pp. 24–29. (rus)
- [91] Starynina N.A. Osobennosti sertifikatsii i otsenki effektivnosti energosberegayushchikh proektov [Features of certification and efficiency evaluation of energy saving projects]. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov*. 2015. No. 2 (49). Pp. 187–193. (rus)
- [92] Carpio M., Martín-Morales M., Zamorano M. Comparative study by an expert panel of documents recognized for energy efficiency certification of buildings in Spain. *Energy and Buildings*. 2015. No. 99. Pp. 98–103.
- [93] Komurlu R., Arditi D., Gurgun A.P. Energy and atmosphere standards for sustainable design and construction in different countries. *Energy and Buildings*. 2015. No. 90. Pp. 156–165.
- [94] Mikov V.L. «Chelovecheskiy faktor» i stroitel'naya teplotekhnika okon [“Human factor” and construction heating engineer of windows]. *Academia. Arhitektura i stroitel'stvo*. 2010. No. 3. Pp. 411–415. (rus)
- [95] Standard of Organization STO NOSTROY 2.35.4–2011. «Zelenoe stroitel'stvo». Zdaniya zhilye i obshchestvennye. Reytingovaya sistema otsenki ustoychivosti sredy obitaniya [Green construction. Buildings inhabited and public. Rating system for the habitat stability assessment]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200087581> (data obrashcheniya: 01.02.2017).

Корниенко С.В., Попова Е.Д., «Зеленое» строительство в России и за рубежом. Строительство уникальных зданий и сооружений, 2017, №4 (55). С. 67-93.

Kornienko S.V., Popova E.D. «Green» construction in Russia and other countries. Construction of Unique Buildings and Structures. 2017. 4(55). Pp. 67-93. (rus)