

## Влияние озеленения кровли на энергоэффективность здания

А.А.Бенуж, НИУ МГСУ, Москва

А.В.Богачев, НИУ МГСУ, Москва

Технология озеленения кровли связана с таким понятием как энергосбережение. На сегодняшний день озеленение кровли рассматривается как современная актуальная технология по повышению энергоэффективности зданий, ресурсосбережения и экологической безопасности. Мероприятия по обеспечению энергоэффективности зданий на этапе проектирования, ремонта или реконструкции – необходимая процедура для экономии энергоресурсов и поддержания экологического благосостояния городской среды на долгосрочную перспективу. Требуемая энергетическая эффективность достигается за счёт устройства «зелёной» кровли. Учёт таких физических параметров, как потери тепла и инфильтрация воздуха через толщу ограждающих конструкций кровли, а также поглощение поверхностью покрытия крыши солнечной радиации, напрямую влияет на энергоэффективность зданий и определяет соответствующий ему класс энергосбережения. Экономическая выгода при озеленении кровли существенна и возникает из-за неприхотливости «зелёной» крыши в эксплуатации, а также нечастых ремонтных мероприятий. Кроме того, озеленение кровель благоприятно влияет на экологию городской среды, очищая воздух от вредоносных веществ, уменьшая количество пыли и способствуя уменьшению и стабилизации нагрузки на систему водостоков и водоотведения, тем самым предотвращая возникновение городских наводнений. Из неоспоримых преимуществ можно выделить то, что «зелёная» площадь кровли увеличивает рекреационную зону для отдыха и досуга жильцов и посетителей здания, нивелирует срезанный и уничтоженный при строительстве здания растительный слой. Активное применение «зелёных» технологий в строительстве, а в частности озеленение поверхности кровель способствует улучшению психосоматического состояния жителей.

*Ключевые слова:* «зелёная» кровля, «зелёные» стандарты, энергосбережение, теплофизика, экологическая безопасность.

### **The Effects from the Green Roofs on the Energy Efficiency of Buildings**

A.A.Benuzh, MGSU, Moscow

A.V.Bogachev, MGSU, Moscow

The technology of green roofs is permanently linked for centuries to the concept of energy conservation. Today, greening the roofs of buildings is considered to be a modern and relevant technology, which improves the energy efficiency of buildings, resource conservation, and environmental safety. Measures of ensuring energy efficiency of buildings during

the design, repairing, or renovation are necessary procedures to conserve energy resources and maintain the environmental well-being of the urban environment in the long term. The achievement of the required energy efficiency is carried out using a «green» roof. Consideration of some physical parameters such as heat loss, air infiltration through the barrier structure thickness, and absorption of solar radiation by the roof surface, directly affect the energy efficiency of buildings and determine the related «energy-saving class» corresponding to it. The economic benefit of green roofs is substantial and it arises from the simplicity of green roofs in service, as well as the lack of frequent repairs. In addition, green roofs have a beneficial impact on the urban environment, removing harmful substances from the air, reducing dust. It could also contribute to reducing and stabilizing the pressure on the drainage and drainage system, thereby preventing urban flooding. From indisputable advantages, it is possible to distinguish that green roof area increases the recreational area for a rest and leisure time for the residents and visitors of the building, leveling the cut and destroyed floral layer during the construction of the building. Active use of “green” technologies during the construction, and greening the roof surfaces, in particular, contributes to the improvement of the psychosomatic state of the residents.

*Keywords:* green roof, green standards, energy conservation, thermal physics, sustainable construction.

Первые примеры озеленения крыш можно найти в глубокой древности на Ближнем Востоке в долинах рек Тигр и Ефрат. Древние зодчие и мастера возводили рукотворные оазисы в сердце пустыни вдали от рек и плодородных равнин. На террасах пирамид и зиккуратов высаживались высокие растения и возделывались целые сады. В Европе «зелёную» кровлю повсеместно использовали жители Скандинавии. Средневековые норвежцы и шведы применяли технологию «дёрновых» крыш для маскировки домов при нападении врагов. Впоследствии Скандинавы массово устраивали кровлю своих жилищ с травянистым покрытием не только для маскировки, но и для создания комфортного микроклимата в помещении [1]. В 1939 году в Исландии были произведены крупные археологические раскопки хутора Жердь, благодаря которым можно практически в точности реконструировать облик жилища XI века с «дёрновой» кровлей (рис. 1) [2].

«Дёрновая» кровля удерживала исходящее от очага тепло и обеспечивала непрерывный воздухообмен сквозь толщу

крыши, тем самым улучшая вентиляцию в доме. Из этого можно сделать вывод, что впервые озеленение кровельного покрытия для повышения энергоэффективности зданий, применяли еще в далёком Средневековье.

В современных условиях плотная застройка мегаполисов вытесняет зону зелёных насаждений, тем самым ухудшая экологическую обстановку. Увеличение численности населения городов повышает расход энергоресурсов, а, в свою очередь, сжигание большого количества топлива на нужды энергетики приводит к резко негативному влиянию на экологию. Около половины всех энергоресурсов, вырабатываемых в мире, расходуется на поддержание комфортного пребывания жителей города. Это непосредственно отопление и вентиляция зданий [3]. Поэтому контроль энергоэффективности здания и её повышение – необходимые процедуры для экономии энергоресурсов и поддержания экологического состояния городской среды.

Энергетическая эффективность – это характеристики, отражающие отношение полезного эффекта от использования энергетических ресурсов к затратам энергетических ресурсов, произведённым в целях получения такого эффекта, применительно к продукции, технологическому процессу, юридическому лицу, индивидуальному предпринимателю<sup>1</sup>. Уже много лет в мире действуют директивы комиссии Евросоюза по энергетике и транспорту, регулирующие класс энергосбережения. Для зданий и сооружений классом энергосбережения является отношение расчётного или действительного удельного расхода тепловой энергии на отопление или вентиляцию на квадратный метр к установленному нормативному расходу. Сам удельный расход энергии зависит от геометрии здания, теплотехнических характеристик, свойств инфильтрации воздуха ограждающими конструкциями и уровня теплового поглощения покрытием кровли [4]. В таблице 15 СП 50.13330.2012<sup>2</sup> перечислены классы энергосбережения согласно действующей нормативной документации. Проектирование зданий с классами энергосбережения D, E не допускается. Классы A, B, C устанавливаются для вновь возводимых и реконструируемых зданий на стадии разработки проектной документации. Кроме того, общая энергоэффективность зависит от экологичности возведения и эксплуатации здания, что достигается путём производства экологически чистых строительных материалов и снижения выделения углекислого газа (CO<sub>2</sub>) [5], а также за счёт управляемого снижения негативного влияния от ливневого стока на городскую систему канализации [6].

На сегодняшний день повышение энергоэффективности здания на этапе проектирования или его ремонта приобретает большую важность. Возможный способ достижения требуемой энергетической эффективности за счёт кровли заключается в увеличении суммарного теплосопротивления кровельного пирога, то есть за счёт увеличения толщины эффективного утеплителя (минеральной ваты или экструдированного пенополистирола). В данном способе не учитываются прочие теплотехнические характеристики конструкции кровли, влияющие на теплотери здания.

Применение технологий по озеленению кровли позволяет решить многие задачи по повышению энергоэффективности за счёт того, что теплосопротивление кровельного пирога «зелёной» крыши равнозначно значению теплосопротивления стандартной [7] и имеет ряд энергетически сберегающих преимуществ.

Для того чтобы разобраться в различиях стандартных и озеленённых кровель, необходимо проанализировать их конструктивные особенности. Обычно верхним слоем стандартного кровельного пирога (рис. 2 а) является гидроизоляционное покрытие из битумной рулонной наплавляемой гидроизоляции или ПВХ-мембрана. Далее идет уклонообразующий слой, за ним теплоизоляция из эффективного утеплителя (минеральная вата или экструзионный пенополистирол). Заключительным слоем чаще всего выступает пароизоляционная мембрана. Не менее распространены также и инверсионные (балластные) кровли (рис. 2 б). Их особенностью является то, что гидроизоляционный слой расположен под всеми слоями пирога, примыкая к несущей части перекрытия. Над гидроизоляцией устраивается гидрофобный эффективный утеплитель (экструзионный пенополистирол), далее балластный слой из гравия или другого сыпучего материала крупной фракции. «Зелёные» крыши (рис. 2 в) по своему типу тоже относятся к инверсионным кровлям.

<sup>1</sup> Федеральный закон от 23.11.2009 N 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности, и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».

<sup>2</sup> СП 50.13330.2012. Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003 (М. : Минрегион России, 2012. С. 95).

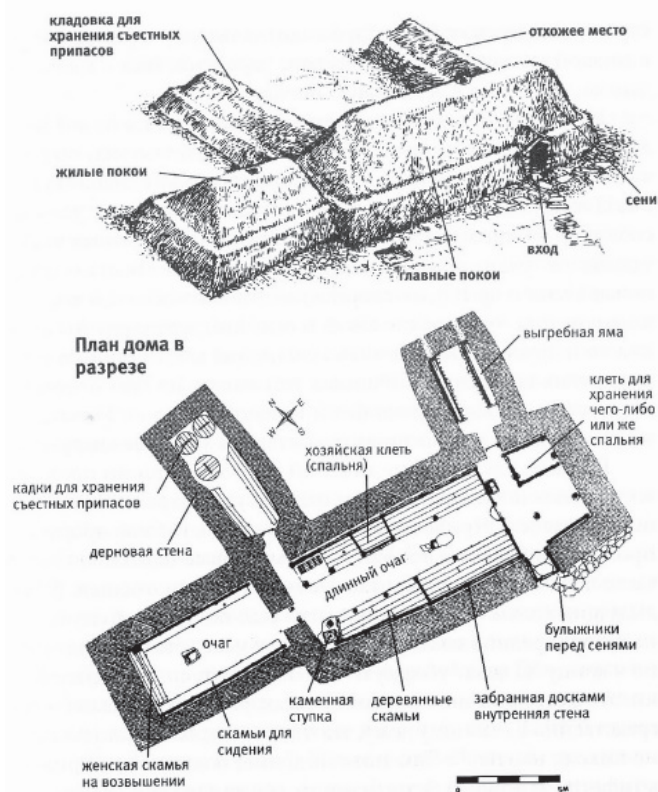


Рис. 1. Развалины «долгого» дома на хуторе Жердь (источник: [2])

Но гравийный балластный слой заменен на систему, состоящую из таких составляющих, как дренаж, субстрат и растительный слой [8, с. 172]. Субстратным слоем могут выступать сыпучие минеральные составы, субстратные плиты и растительные (вегетационные) маты. Использовать растительные грунты, изъятые при строительстве, и несертифицированные субстраты, а также их компоненты запрещается<sup>3</sup>. Сертифицированные материалы и составляющие имеют сыпучую пористую структуру, что обеспечивает низкий показатель плотности при высокой степени пористости, следовательно, обладают высоким коэффициентом теплопроводности в абсолютно сухом состоянии.

Одним из важных параметров, влияющих на энергоэффективность, является внутренний воздухообмен здания [9]. Влияние воздухообмена можно отследить в упрощенной формуле удельного расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания за отопительный период, не учитывающей работу терморегуляторов и превышение теплоступлений над теплотерями в отопительный период:

$$q_{от}^p = k_{об} + k_{вент} + k_{быт} + k_{рад}, \quad (1)$$

где  $k_{об}$  – удельная теплозащитная характеристика здания;  $k_{вент}$  – удельная вентиляционная характеристика здания;  $k_{быт}$  – удельная характеристика бытовых тепловыделений здания;  $k_{рад}$  – удельная характеристика теплоступлений в здание от солнечной радиации здания через светопрозрачные ограждающие конструкции. Слагаемые  $k_{быт}$  и  $k_{рад}$  принимаются одинаковыми

<sup>3</sup> ГОСТ Р 58875-2020 «Зелёные» стандарты. Озеленяемые и эксплуатируемые крыши зданий и сооружений. Технические и экологические требования (М. : Стандартинформ, 2020. С. 15–16).

в случае с традиционной типовой и «зелёной» крышей, так как озеленение не повлияет на эти характеристики.

Для доказательства эффективности «зеленой» кровли, необходимо рассмотреть характеристику  $k_{вент}$ , которая складывается из суммы удельной характеристики, зависящей от приточного воздуха  $k_{пр}$  и от инфильтрирующего воздуха  $k_{инф}$ .

$$k_{вент} = k_{пр} + k_{инф}, \quad (2)$$

В свою очередь  $k_{инф}$  прямо пропорционально количеству инфильтрирующегося воздуха в здание через ограждающие конструкции  $G_{инф}$ , которое определяется из суммарного количества воздуха, проходящего через такие ограждающие конструкции, как окна и двери, но без учёта воздуха, проходящего через толщу кровли. Для определения разницы между энергоэффективностью стандартной и озеленённой кровли необходимо учесть инфильтрацию воздуха через массив чердачного перекрытия  $G_{кровл}$ .

$$G_{инф} = G_{окн} + G_{двер} + [G_{кровл}], \quad (3)$$

где количество воздуха  $G_{кровл}$  (без учёта разницы давления) определяется отношением площади кровли к суммарному сопротивлению воздухопроницаемости:

$$G_{кровл} = \frac{A_{кровл}}{R_{и, кровл}} \cdot \Delta p_{кровл}, \quad (4)$$

Воздухопроницаемость стандартной или инверсионной кровли меньше воздухопроницаемости «зелёной» за счёт более эффективной инфильтрации воздуха через толщу чердачного перекрытия. Следовательно, уменьшаются рас-

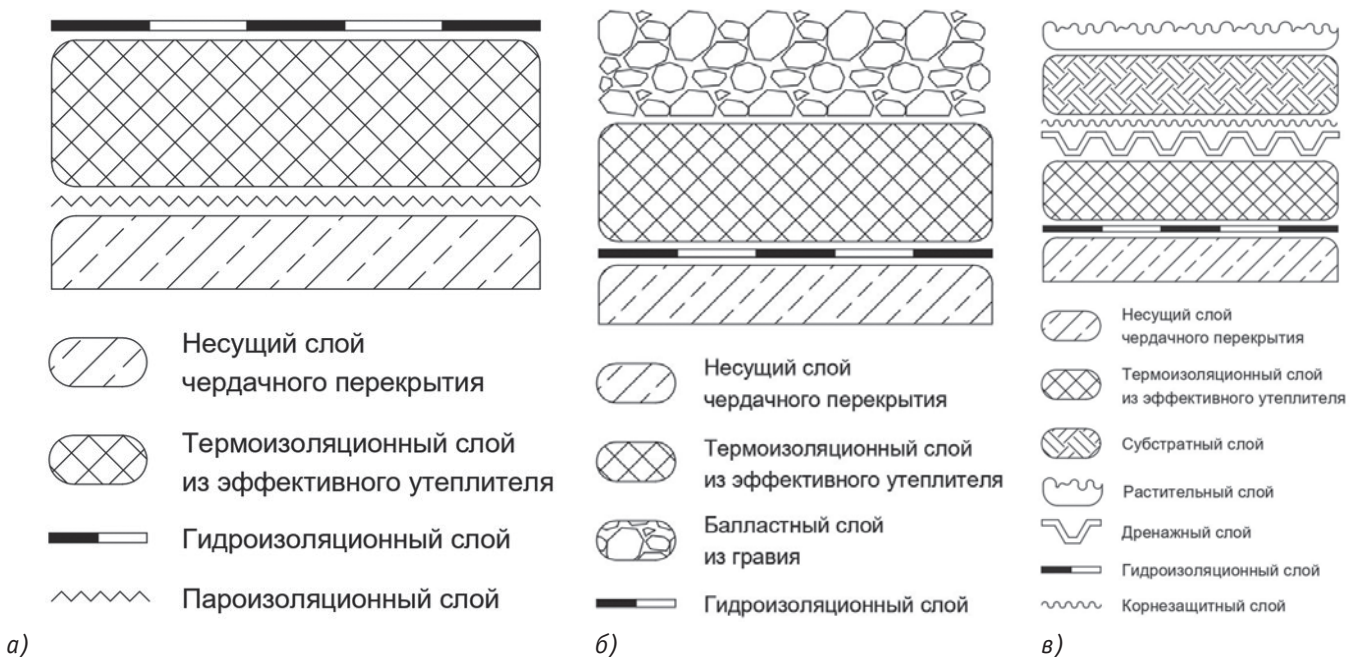


Рис. 2. Схема расположения основных слоёв кровельного пирога (источник: [2]): а) стандартной кровли; б) инверсионной кровли; в) озелененной кровли

ходы на вентиляцию. Таким образом можно повысить класс энергоэффективности на один порядок. При этом в зданиях с низкой этажностью и со значительной площадью поверхности кровли рассмотренный показатель может поднять энергетическую эффективность на несколько классов выше.

Также стоит учесть нагрев поверхности кровли за счёт солнечной радиации в отопительный период, который создаёт дополнительные теплопоступления через крышу дома, приводящие к серьёзным сбоям в системах вентиляции. Кровельные гидроизоляционные материалы имеют высокий коэффициент поглощения солнечной радиации. В свою очередь, растительное покрытие «зелёной» кровли поглощает лишь часть солнечной радиации, равномерно распределяя тепло через толщу почвенного слоя и тем самым минимизирует дополнительные теплопоступления во внутренний объём здания. Учитывая, что уменьшение дополнительных теплопоступлений за счёт растительного слоя снижает расходы на вентиляцию, можно добиться понижения характеристики  $k_{ос}$  из формулы (1).

Энергетическая эффективность здания определяется из отношения расчётного удельного расхода тепловой энергии  $q_{ом}^P$  к нормируемому. То есть, чем меньше расчётный удельный расход тепла, тем выше класс энергоэффективности здания. При озеленении кровли характеристика  $k_{енм}$  уменьшается за счёт сокращения инфильтрации воздуха, а также характеристика  $k_{енм}$  понижает свое значение за счёт незначительного нагрева растительного слоя. Сокращение значения этих характеристик уменьшает  $q_{ом}^P$ , что повышает энергетическую эффективность. Особенно заметна разница в энергоэффективности между «зелёной» и стандартной крышами при большой площади покрытия кровли.

В подтверждение вышеобозначенных факторов, можно привести исследования Брэда Басса из Торонтского университета в 2006 году [10]. Предметом его исследований являлись показатели энергоэффективности восьмизэтажного жилого здания со стандартной инверсионной кровлей в городе Мадриде. В основном анализе рассматриваются две альтернативные замены существующей кровли. Первый вариант – это устройство «белой» крыши. Метод заключается в покрытии гравийного слоя лакокрасочным составом с высокой степенью отражательной способности. Второй способ – это применение технологии озеленения кровли. По результатам исследования сделан вывод, что расходы на вентиляцию у «зелёной» крыши меньше, чем у стандартной (инверсионной) и «белой». Также был сделан вывод, что общий показатель теплопроводности для кровельного пирога озеленённой крыши меньше, чем у стандартной. Из этого следует, что затраты на отопление здания с «зелёной» кровли меньше [10]. Но стоит учесть, что если содержание влаги в субстрате составляет 85% и более, его теплопроводность становится незначительной и никак

не влияет на сбережение тепла. Поэтому необходимо всегда предусматривать теплоизоляционный слой в конструкции кровельного пирога «зелёной» крыши, особенно в климатических регионах с высоким количеством среднегодовых осадков.

Из общестроительного опыта монтажа и применения кровель с озеленением, известно, что стоимость возведения «зелёной» кровли превышает стоимость традиционной, но при регулярном уходе и обслуживании озеленённой кровли, срок её службы значительно больше. Ремонт или замена гидроизоляции, теплоизоляции и прочих составляющих традиционного кровельного пирога требуется значительно чаще, чем у «зелёной» кровли, что доказывает её экономическую выгоду при долгосрочной эксплуатации.

Большое исследование по этой теме провело Министерство энергетики и окружающей среды города Гамбург. В результате массового исследования и наблюдения за зелёными крышами города было выявлено, что средняя стоимость строительства традиционной кровли составляет 25 евро за квадратный метр, для «зелёной» кровли эта цифра составляет 75 евро. Ожидаемая стоимость обслуживания 0,25 евро за квадратный метр в год для обычной и 0,60 евро для озеленённой. При этом традиционную кровлю необходимо ремонтировать каждые 15–25 лет, в отличие от «зелёной», которая не нуждается в плановом ремонте, средняя стоимость которого составит 55 евро за квадратный метр при регулярной и качественной работе по её обслуживанию и эксплуатации. Данные цифры позволили сделать вывод, что «зелёная» кровля в долгосрочной перспективе при непрерывной эксплуатации ее конструкций, экономически выгоднее

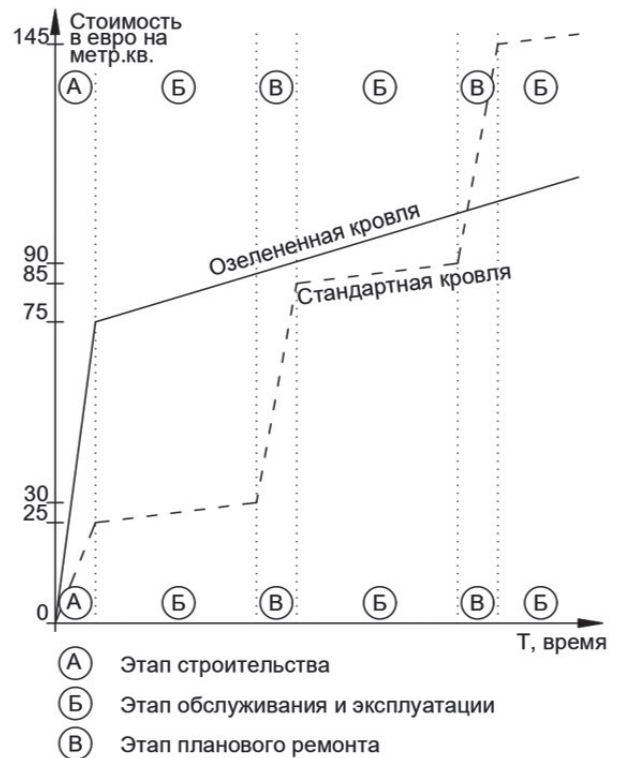


Рис. 3. График экономического преимущества озеленённой кровли перед стандартной

<sup>4</sup> Распоряжение Правительства Российской Федерации от 18.11.2020 г. № 3024-р (Собрание законодательства Российской Федерации, №47 от 23 ноября 2020 года, ст. 7623).

традиционной кровли (рис. 3) [11]. Кроме того, озеленённая кровля приводит к увеличению ценности объекта недвижимости.

В Распоряжении Правительства Российской Федерации от 18.11.2020 № 3024-р устанавливаются на ближайшее время роли и задачи «...развития инвестиционной деятельности и привлечения внебюджетных средств в проекты устойчивого (в том числе зелёного) развития в Российской Федерации». Это подтверждает важность и актуальность стабилизации экологической ситуации в Российской Федерации и поисков новых способов её достижения, в том числе и в сфере строительства. Применение технологии «зелёной» кровли зданий способствует поглощению главных загрязнителей воздуха [оксида азота ( $\text{NO}_2$ ), озона ( $\text{O}_3$ ), оксида серы ( $\text{SO}_2$ ), твёрдых частиц] и улучшению качества воздуха, в районах с плотной застройкой может уменьшить среднюю температуру воздуха, тем самым улучшить экологичность среды. Озеленённые кровли возмещают застроенные некогда «зелёные» территории, увеличивая рекреационные зоны отдыха. Кроме того, озеленённая поверхность кровли может служить эксплуатируемым пространством для жильцов здания. Массовое применение «зелёных» кровель преобразит облик современных городов и улучшит экологическую ситуацию во всем мире [12; 13].

Немаловажным преимуществом «зелёных» крыш является понижение уровня ливневых стоков за счёт того, что субстратный слой удерживает влагу и питает ею растения. Кроме того, озеленение поглощает вредные вещества, содержащиеся в дождевых осадках, и препятствует их попаданию в ливневые стоки. Уменьшение ливневых стоков за счёт применения технологии «зелёных» кровель, позволяет разгрузить систему городской канализации, тем самым сокращает потребление электроэнергии, препятствует увеличению интенсивности и частоты городских наводнений, а также уменьшает сброс загрязнённых стоков в водостоки и водоёмы [8, с. 172].

В результате данного исследования были выявлены преимущества в энергоэффективности «зелёной» кровли по отношению к традиционной, проанализированы основные параметры, влияющие на класс энергоэффективности здания. К основным преимуществам озеленения можно отнести: низкий показатель воздухопроницаемости, который прямым образом влияет на воздухообмен всего внутреннего объёма здания; способность «зелёной» кровли равномерно распределять теплопоступления от солнечной радиации, не нагреваться до критических температур в летний период и передавать дополнительные теплопоступления в отопительный период; экономическую выгоду при долгосрочном использовании по отношению к традиционным аналогам. Все эти параметры совокупно могут привести к повышению класса энергоэффективности здания. Для подтверждения полученных результатов исследования планируется создать опытную модель и провести её испытание.

#### Литература

1. Беликова, Т.Н. Зелёные крыши или «Сады Семирамиды» / Т.Н. Беликова // Комплексные проблемы развития науки, образования и экономики региона. – 2014. – № 2 (5). – С. 18–29.

2. Байок, Д.Л. Исландия эпохи викингов / Д.Л. Байок; пер. с англ., фр. И. Свердлова – М. : Астрель : CORPUS, 2012. – С. 548–553.

3. Желтова, Е.В. Анализ критериев энергоэффективности при проектировании зданий / Желтова Е.В. // Научное обеспечение развития АПК в условиях импортозамещения. – 2019. – С. 17–19.

4. Пилипенков, Н.В. Тепловые потери и энергетическая эффективность зданий и сооружений : учеб. пособие / Н.В. Пилипенков. – М. : СПб Университет ИТМО, 2016. – С. 32–34.

5. Григорьева, Н.А. Факторы экологичности и энергоэффективности в оценке экономической эффективности мероприятий по повышению энергоэффективности жилых зданий / Н.А. Григорьева // Труды БГТУ. Серия 5: Экономика и управление. – 2017. – № 2 (202). – С. 80–85.

6. Статистический анализ литературных данных по проблеме управления ливневым стоком с помощью использования зеленых крыш / Н.Н. Красногорская, С.А. Мусина, Л.Ф. Хасанова, А.И. Щелкова // Научные достижения и открытия : Сборник статей X Международного научно-исследовательского конкурса. – 2019. – С. 68–72.

7. Аксёнов, И.В. «Зелёные кровли» как решение ряда экологических проблем современной городской среды / И.В. Аксёнов, Е.В. Сысоева // Инновации и инвестиции. – 2018. – № 9. – С. 176–179.

8. Исследование сопротивления теплопередачи при устройстве «зелёной кровли» в сравнении с традиционной кровлей [Электронный ресурс] / В.В. Балагуров, Е.В. Комова, А.Е. Безроднов [и др.] // Инженерный вестник Дона. – 2018. – №4 (51). – Режим доступа: [http://www.ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD\\_22\\_Balagurov\\_N.pdf\\_d61279f8f4.pdf](http://www.ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_22_Balagurov_N.pdf_d61279f8f4.pdf) (Дата обращения 12.02.2020)

9. Фошина, К.С. Роль воздухообмена в показателях энергоэффективности гражданских зданий / К.С. Фошина // Шаг в науку. – 2018. – № 3. – С. 89–91.

10. Comparative Life Cycle Assessment of Standard and Green Roofs / Susana Saiz, Christopher Kennedy, Brad Bass, Kim Pressnail // Environ. Sci. Technol. – 2006. – № 40. – P. 4312–4316.

11. Зелёные крыши Гамбурга. Опыт строительства, обзор и обоснование [Электронный ресурс] // Зелёная стрела. Международный центр ландшафтного искусства. Официальный сайт. – Режим доступа: <https://zstrela.ru/projects/magazine/sections/dizayn-sada/zelyonye-kryshi-gamburga-ekonomicheskoe-obosnovanie> (дата обращения 12.02.2020).

12. Жадан, О.В. Экологические преимущества устройства кровель с применением технологии озеленения / О.В. Жадан, Л.А. Смирнова // Научное обеспечение развития АПК в условиях импортозамещения. – 2019. – С. 14–17.

13. Benuzh, A. Implementation of Sustainable Technology of Green Roofs for Renovation in Moscow / A. Benuzh, I. Mochalov // Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2019. – № 753. – P. 1–9.

#### References

1. Belikova T.N. Zelyonye kryshi ili "Sady Semiramidy" [Green roofs or "Gardens of Semiramis"]. In: *Kompleksnyye problemy*

*razvitiya nauki, obrazovaniya i ekonomiki regiona [Complex problems of the development of science, education and the economy of the region]*, 2014, no. 2 (5), pp. 18–29. (In Russ.)

2. Bajok D.L. Islandiya epohi vikingov [Iceland of the Viking Age], trans. from engl., french I. Sverdlov. Moscow, Astrel': CORPUS Publ., 2012, pp. 548–553. (In Russ.)

3. Zheltova E.V. Analiz kriteriev energoeffektivnosti pri proektirovanii zdaniy [Analysis of energy efficiency criteria in the design of buildings]. In: *Nauchnoe obespechenie razvitiya APK v usloviyakh importozameshcheniya [Scientific support for the development of the agro-industrial complex in the context of import substitution]*, 2019, pp. 17–19. (In Russ., abstr. in Engl.)

4. Pilipenkov N.V. Teplovye poteri i energeticheskaya effektivnost' zdaniy i sooruzhenij [Heat losses and energy efficiency of buildings and structures]. Moscow, St. Petersburg Universitet ITMO Publ., 2016, pp. 32–34. (In Russ.)

5. Grigor'eva N.A. Faktory ekologichnosti i energoeffektivnosti v ocenke ekonomicheskoy effektivnosti meropriyatij po povysheniyu energoeffektivnosti zhilyh zdaniy [Factors of environmental friendliness and energy efficiency in assessing the economic efficiency of measures to improve the energy efficiency of residential buildings]. In: *Trudy BGTU. Seriya 5: Ekonomika i upravlenie [Proceedings of BSTU. Series 5: Economics and Management]*, 2017, no. 2 (202), pp. 80–85. (In Russ.)

6. Krasnogorskaya N.N., Musina S.A., Hasanova L.F., Shchelkova A.I. Statisticheskii analiz literaturnykh dannykh po probleme upravleniya livnevym stokom s pomoshch'yu ispol'zovaniya zelenykh krysh [Statistical analysis of literature data on the problem of storm runoff management using green roofs]. In: *Nauchnye dostizheniya i otkrytiya : Sbornik statei X Mezhdunarodnogo nauchno-issledovatel'skogo konkursa [Scientific achievements and discoveries: Collection of articles of the X International research competition]*, 2019, pp. 68–72. (In Russ., abstr. in Engl.)

7. Aksenov I.V., Syssoeva E.V. «Zelenye krovli» kak reshenie ryada ekologicheskikh problem sovremennoi gorodskoi srede ["Green roofs" as a solution to a number of environmental problems of the modern urban environment]. In: *Innovatsii i*

*investitsii [Innovation & Investment]*, 2018, no. 9, pp. 176–179. (In Russ.)

8. Balagurov V.V., Komova E.V., Bezrodnov A.E., Gravidina P.G., Pan'kov P.A. Issledovanie soprotivleniya teploperedachi pri ustroistve "zelenoi krovli" v sravnenii s traditsionnoi krovlei [Investigation of the resistance of heat transfer when installing a "green roof" in comparison with a traditional roof]. In: *Inzhenernyi vestnik Dona [Engineering journal of Don]*, 2018, no. 4 (51). Access mode: [http://www.ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD\\_22\\_Balagurov\\_N.pdf\\_d61279f8f4.pdf](http://www.ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_22_Balagurov_N.pdf_d61279f8f4.pdf) (Accessed 12/02/2021) (In Russ.)

9. Foshina, K.S. Rol' vozdukhoobmena v pokazatelyakh energoeffektivnosti grazhdanskikh zdaniy [The role of air exchange in the energy efficiency of civil buildings]. In: *Shag v nauku [Step into Science]*, 2018, no. 3, pp. 89–91. (In Russ.)

10. Susana Saiz, Christopher Kennedy, Brad Bass, Kim Pressnail. Comparative Life Cycle Assessment of Standard and Green Roofs. In: *Environ. Sci. Technol.*, 2006, no. 40, pp. 4312–4316. (In Engl.)

11. Zelenye kryshi Gamburga. Opyt stroitel'stva, obzor i obosnovanie [Green roofs of Hamburg. Construction experience, review and justification]. In: *Zelenaya strela. Mezhdunarodnyi tsentr landshaftnogo iskusstva. Ofitsial'nyi sait [Green arrow. International Center for Landscape Art. Official site]*. – Access mode: <https://zstrela.ru/projects/magazine/sections/dizaynsada/zelyonye-kryshi-gamburga-ekonomicheskoe-obosnovanie> (Accessed 02/12/2020). (In Russ.)

12. Zhadan O.V., Smirnova L.A. Ekologicheskie preimushchestva ustroistva krovlei s primeneniem tekhnologii ozeleneniya [Environmental advantages of roofing with the use of greening technology]. In: *Nauchnoe obespechenie razvitiya APK v usloviyakh importozameshcheniya [Scientific support for the development of the agro-industrial complex in the context of import substitution]*, 2019, pp. 14–17. (In Russ.)

13. A. Benuzh, I. Mochalov. Implementation of Sustainable Technology of Green Roofs for Renovation in Moscow. In: *Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2019, no. 753, pp. 1–9. (In Engl.)

**Бенуж Андрей Александрович** (Москва). Кандидат технических наук, доцент, советник РААСН. Руководитель НОЦ "Зелёные стандарты" ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (129337, Москва, Ярославское шоссе 26. НИУ МГСУ). Эл. почта: [abenuzh@gmail.com](mailto:abenuzh@gmail.com).

**Богачёв Алексей Вячеславович** (Москва). Бакалавр ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (129337, Москва, Ярославское шоссе 26. НИУ МГСУ). Эл. почта: [alexbog.lem@yandex.ru](mailto:alexbog.lem@yandex.ru)

**Benuzh Andrey A.** (Moscow). Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Advisor of RAACS. Head of Research Educational Center "Green Standards", Associate Professor at the National Research Moscow State University of Civil Engineering (26 Yaroslavskoye Highway, Moscow, 129337. MGSU). Email: [abenuzh@gmail.com](mailto:abenuzh@gmail.com).

**Bogachev Alexey V.** (Moscow). Associate Professor of the National Research Moscow State University of Civil Engineering (26 Yaroslavskoye Highway, Moscow, 129337. MGSU).