

Эксплуатируемые кровли как фактор устойчивого развития городов



**Швалева
Михаил
Дмитриевич**

инженер, обследование
зданий и сооружений,
ООО «Докрос»,
Екатеринбург,
Российская Федерация

e-mail:
shvalev.mixail@yandex.ru



**Мальцева
Ирина
Николаевна**

кандидат технических
наук, доцент, Уральский
федеральный университет
(УрФУ), Институт строи-
тельства и архитектуры,
Екатеринбург, Российская
Федерация

e-mail: 3724316@mail.ru

Зеленые крыши решают важную в настоящее время проблему компенсации зеленых зон, уничтоженных в ходе урбанизации и освоения новых пространств. В данной статье рассматриваются основные преимущества озеленения кровель, факторы, влияющие на выбор типа кровельного покрытия в зависимости от климатических условий и основные виды конструктивных решений в условиях мегаполисов. Анализируется влияние зеленой кровли на энергоэффективность здания в климатических условиях Екатеринбурга. Рассматриваются основные недостатки озелененных эксплуатируемых покрытий. Также предложена новая технология устройства эксплуатируемой кровли безрулонного типа с использованием проникающей гидроизоляции железобетонных конструкций.

Ключевые слова: строительство, монолитная железобетонная кровля безрулонного типа, эксплуатируемая кровля, традиционная кровля, зеленая кровля, теплоизоляция, водоотведение, гидроизоляция.

SHVALEV M. D., MALTSEVA I. N.
OPERATED ROOF AS A FACTOR OF SUSTAINABLE CITY DEVELOPMENT

Green roofs solve the currently important problem of compensating for green areas destroyed during urbanization and the development of new spaces. This article discusses the main advantages of roofing landscaping, the factors that influence the choice of type of roofing depending on climatic conditions and the main types of design solutions in megacities. The authors analyze the influence of the green roof on the energy efficiency of the building in the climatic conditions of Yekaterinburg. The main disadvantages of landscaped exploited coatings are considered. Also proposed is a new technology for the construction of an operated roof without a roll coating, but using penetrating waterproofing of reinforced concrete structures.

Keywords: construction, monolithic reinforced concrete roof of a roll-free type, operated roof, traditional roof, green roof, thermal insulation, water disposal, waterproofing.

Введение

Растущие темпы урбанизации стали восприниматься как проблема около полувека назад. Превращение крупных городов в мегаполисы с архитектурой из стекла и бетона привело к значительному ухудшению экологической обстановки и нехватке зеленых зон в городском пространстве.

Создание зон экологического комфорта в агрессивной городской среде приобретает особое значение в связи с бурным ростом городского населения и уплотнением городской застройки. Сегодня данная задача решается посредством традиционных приемов, как то: созданием парков, скверов, увеличением зеленых насаждений городских улиц. Одним из наиболее перспективных решений в данном направлении является устройство эксплуатируемых озелененных покрытий на кровле зданий, стилобатов, подземных паркингов, особенно под дворовыми территориями.

В работе «Сады на крышах» Н. П. Титова еще в начале 2000-х гг. доказывает возможность значительного улучшения экологической обстановки в крупных городах за счет использования пустующих поверхностей крыш и других искусственных оснований для размещения объектов ландшафтной архитектуры [1]. Решением проблем экологического состояния современной городской среды занимался В. А. Горохов, который сформулировал основные принципы организации зеленых зон в условиях городской застройки [2]. Авторы убеждены, что здания и сооружения с озелененными эксплуатируемыми кровлями будут выделяться из общего городского пейзажа и станут не только одной из дополнительных зон экологического комфорта, но и настоящим украшением современных мегаполисов, где каждый квадратный метр свободного пространства на счету (Иллюстрация 1) [3–7].



Иллюстрация 1. Сады на крышах. Лондон. 2019 г.
Источник: landscapereview.ru (дата обращения: 02.02.20)



Иллюстрация 2. Зеленый двор на крыше паркинга, квартал «Новатор». Екатеринбург. Источник: https://www.e1.ru/news/spool/news_id-483134.html (дата обращения: 02.02.20)

У российских специалистов есть опыт проектирования и возведения эксплуатируемых крыш на жилых и общественных зданиях, чаще в экспериментальных проектах (Иллюстрация 2) [8]. Так, в квартале «Новатор» в Екатеринбурге применена технология устройства озелененного эксплуатируемого покрытия дворовой территории на крыше паркинга.

Грамотно спроектированная и смонтированная зеленая кровля компенсирует природную среду на уровне земли, которой лишается крупный город в результате урбанизации [9].

Основные преимущества использования эксплуатируемых озелененных покрытий заключаются в следующем:

- повышение качества городского воздуха (снижение концентрации углекислого газа);
- снижение пиковых значений и общего объема ливневого водостока (благодаря способности зеленой кровли удерживать и сохранять дождевую воду);
- снижение энергопотребления здания как в холодное, так и в летнее время;
- создание среды обитания для представителей животного мира (насекомых, птиц);
- улучшение эстетической привлекательности здания за счет созданной среды.

Анализ влияния зеленых кровель на энергоэффективность зданий

Зеленые кровли являются надежным инструментом повышения энергоэффективности зданий в регионах с жарким и холодным климатом. В первом случае они защищают здание от перегрева помещений, во втором становятся дополнительным слоем теплоизоляции, удерживающим тепло внутри здания.

Сегодня зеленые кровли — это хорошо продуманные инженерные системы. Они включают в себя базу инверсионной кровли (эффективную теплоизоляцию из плит ЭППС, кровельную мембрану). Поверх стандартного инверсионного пирога укладываются такие компоненты, как дренажный слой, фильтрующий геотекстиль, почвенный субстрат со специальным растительным слоем, устойчивым к климатическим воздействиям [10].

Рассмотрим два варианта покрытий: первое — неэксплуатируемое кровельное покрытие инверсионного типа, характерное для традиционного жилого здания (Таблица 1), и второе — монолитное безрулонное покрытие с озеленением (Таблица 2).

Произведем сравнительный теплотехнический расчет для климатических условий города Екатеринбурга. Требуемое термическое сопротивление конструкции R_0^{TP} ,

исходя из нормативных требований к приведенному сопротивлению теплопередаче, находим по формуле (1) [11]:

$$R_0^{TP} = a \cdot \text{ГСОП} + b = 0,0005 \cdot 5613,4 + 2,2 = 5,01 \frac{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}{\text{Вт}}, \quad (1)$$

где a и b — коэффициенты, значения которых следует принимать по данным [11, Таблица 3] для соответствующих групп зданий (для покрытий: $a = 0,0005$; $b = 2,2$).

Градусо-сутки отопительного периода определяются по формуле (2) [11]:

$$\text{ГСОП} = (t_v + t_{от.п.}) \cdot z_{от} = (-20 - (-5,4)) \cdot 221 = 5613,4 \text{ } ^\circ\text{C} \cdot \text{сут.} \quad (2)$$

Значения продолжительности отопительного периода $z_{от}$ и средней температуры воздуха $t_{от.п.}$ принимаем в соответствии с [12, Таблица 3.1].

Сопrotивление теплопередаче с последовательно расположенными однородными слоями определяется как сумма термических сопротивлений отдельных слоев (формулы (3) и (4)), что характерно для первого покрытия:

$$R_1^{ysl} = \frac{1}{\alpha_v} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{1}{\alpha_n} = \frac{1}{8,7} + 6,48 + \frac{1}{23} = 6,63 \frac{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}{\text{Вт}}. \quad (3)$$

С учетом неоднородности конструкции:

$$R_1^{pr} = R_1^{ysl} \cdot r = 6,63 \cdot 0,92 = 6,09 \frac{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}{\text{Вт}} > R_0^{TP} = 5,01 \frac{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}{\text{Вт}}. \quad (4)$$

Сопrotивление теплопередаче для второго покрытия находим по формулам (5) и (6).

$$R_2^{ysl} = \frac{1}{\alpha_v} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{1}{\alpha_n} = \frac{1}{8,7} + 6,67 + \frac{1}{23} = 6,83 \frac{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}{\text{Вт}}. \quad (5)$$

С учетом неоднородности конструкции:

$$R_2^{pr} = R_2^{ysl} \cdot r = 6,83 \cdot 0,92 = 6,28 \frac{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}{\text{Вт}} > R_0^{TP} = 5,01 \frac{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}{\text{Вт}}. \quad (6)$$

Таблица 1. Неэксплуатируемое кровельное покрытие инверсионного типа

№	Вид материала	Толщина слоя σ, мм	Коэффициент теплопроводности λ, Вт/м·°С	Термическое сопротивление R, м²·°С/Вт
1	Балласт (мытый гравий)	—	—	—
2	Геотекстиль (термообработанный)	—	—	—
3	Экструзионный пенополистирол Техноколь CARBON PROF t = 100 + 100 = 200 мм	200	0,032	6,25
4	Геотекстиль (иглопробивной)	—	—	—
5	Гидроизоляция Техноэласт ЭПП (2 слоя)	10	0,17	0,06
6	Армированная цементно-песчаная стяжка (по уклону, t _{min} = 50 мм)	50	0,76	0,07
7	Монолитная ж/б плита В25, F75, W4	200	1,92	0,10
Термическое сопротивление покрытия № 1				6,48

Таблица 2. Монолитное безрулонное покрытие с озеленением

№	Вид материала	Толщина слоя σ, мм	Коэффициент теплопроводности λ Вт/м·°С	Термическое сопротивление R, м²·°С/Вт
1	Грунт с зелеными насаждениями	200	1,05	0,19
2	Профилированная мембрана Planter	8,5	—	—
3	Геотекстиль (термообработанный)	—	—	—
4	Экструзионный пенополистирол Техноколь CARBON PROF t = 100 + 100 = 200 мм	200	0,032	6,25
5	Геотекстиль (иглопробивной)	—	—	—
6	Гидроизоляция Техноэласт ГРИН (1 слой)	10	0,17	0,06
7	Гидроизоляция Техноэласт ЭПП (1 слой)			
8	Армированная цементно-песчаная стяжка (по уклону, t _{min} = 50 мм)	50	0,76	0,07
9	Монолитная ж/б плита В25, F75, W4	200	1,92	0,10
Термическое сопротивление покрытия				6,67

Разница величин приведенных сопротивлений теплопередаче составляет

$$\Delta R^{\Phi} = 0,19 \frac{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С}}{\text{Вт}};$$

$$R_1^{\text{np}} = 6,09 \frac{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С}}{\text{Вт}} < R_2^{\text{np}} =$$

$$= 6,28 \frac{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С}}{\text{Вт}}.$$

Исходя из полученных результатов (Иллюстрация 3), можно сделать вывод, что наиболее оптимальным типом озеленения кровли в климатических условиях Екатеринбурга является экстенсивный тип с толщиной почвенного субстрата 150–200 мм. Данная технология объединяет в себе повышение теплотехнических характеристик кровли, защиту здания от перегрева в летний период при сравнительно небольшом утяжелении кровли — 100–150 кг/м².

Особенности устройства озелененных эксплуатируемых покрытий

В отличие от обычной плоской кровли, рассчитываемой только на воздействие климатических нагрузок, эксплуатируемая подвержена повышенным механическим нагрузкам, возникающим от скопления людей, движения автомобилей, нагрузок от собственного веса материалов, используемых с целью создания функционального пространства.

Дополнительная нагрузка озелененного покрытия зависит от номенклатуры используемых растений, веса грунтового и гравийного слоя во влажном состоянии, веса дополнительного покрытия дорожных площадок, веса необходимого оборудования и др. (Иллюстрация 4) [13].

Различают два основных типа зеленых кровельных систем: экстенсивный и интенсивный. Они отличаются, главным образом, выбором используемых растений, толщиной растительной среды, а также стоимостью.

Экстенсивные зеленые кровли характеризуются:

- малым весом (растительный слой 10–20 см, вес во влажном состоянии 100–250 кг/м²);
- малым разнообразием применяемых растений (растительный слой, обладающий высокой выносливостью к климатическим воздействиям);
- минимальными требованиями по обслуживанию кровли.

Интенсивные зеленые кровли характеризуются:

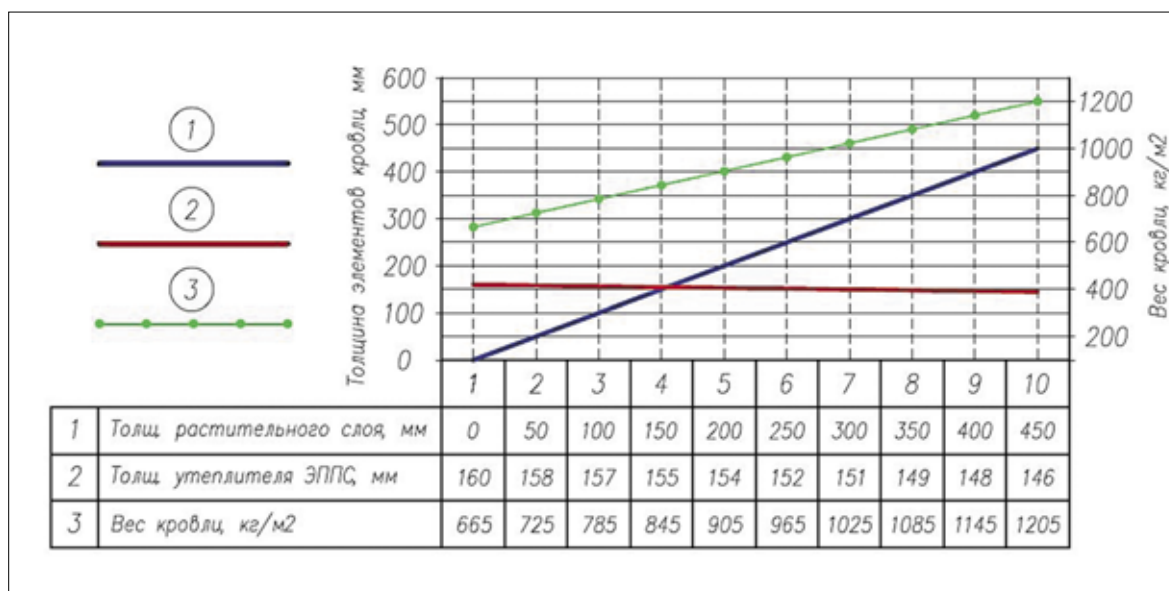


Иллюстрация 3. График зависимости веса кровли от толщин растительного слоя и утеплителя при постоянном термическом сопротивлении ограждающей конструкции $5,2 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$ (кровельное покрытие №2). Авторы: М. Д. Швалев, И. Н. Мальцева

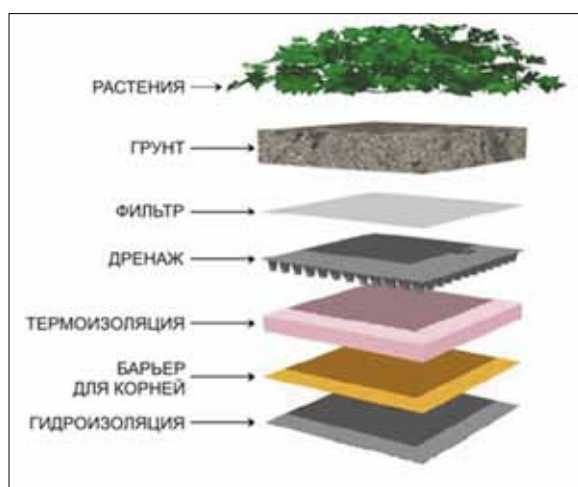


Иллюстрация 4. Принципиальная схема устройства «зеленой кровли». Источник: <http://kryshikrovli.ru> (дата обращения: 02.02.20)

- большим весом (растительный слой 20–60 см, вес во влажном состоянии $250\text{--}950 \text{ кг}/\text{м}^2$);
- широким разнообразием растительного покрова;
- высокими требованиями по обслуживанию кровли (необходимость использования специальных систем дренажа и полива растений).

Традиционная озелененная эксплуатируемая кровля отличается крайне низкой ремонтопригодностью, поэтому к выбору комплектующих, а особенно к устройству гидроизоляционного слоя, необходимо подходить крайне ответственно.

Если со временем гидроизоляционный слой эксплуатируемого покрытия начнет протекать, то для его ремонта потребуются демонтировать весь пирог кровли, расположенный над ним. Следовательно, как несущие элементы, так и гидроизоляционные материалы озелененного кровельного покрытия должны соответствовать высочайшим требованиям по прочности и долговечности.

Безрулонный тип кровельного покрытия

Гидроизоляционный слой защищает конструктивные элементы кровли от пагубного воздействия внешних кли-

матических факторов, таких как влага, мороз, ультрафиолет и др. Чаще всего от надежности гидроизоляционного слоя зависит срок службы всего здания.

Традиционно для гидроизоляции бетонных конструкций используются рулонные или обмазочные материалы. Они защищают бетон от влаги, но работают отдельно от основной конструкции. В процессе работы такие материалы отслаиваются от основания, разрушаются и полностью выключаются из работы, вследствие чего появляются протечки [14].

Для решения проблем долговечности и качества кровельных покрытий сотрудниками ЭПК «Докрос» запатентован новый тип кровли «Железобетонная кровля безрулонного типа» (Иллюстрация 5).

Конструкция кровли представляет собой монолитные железобетонные плиты (карты), разделенные деформационными швами в зависимости от размеров покрытия. Конструктивные параметры плит покрытия (высота сечения, армирование, класс бетона) подбираются исходя из условий работы и расчетной нагрузки на кровлю [15].

Необходимые свойства бетона по плотности и водонепроницаемости обеспечиваются за счет подбора соответствующих добавок системы «Пенетрон» в качестве первичной гидроизоляции, что позволяет отказаться от использования традиционных кровельных материалов с непродолжительным сроком службы.

Достаточно гидроизолировать только бетонную плиту покрытия, используя при этом специальную добавку для бетона «Пенетрон Адмикс», которая обеспечит высокий уровень водонепроницаемости конструкции уже на стадии строительства [16]. Гидроизоляция швов бетонирования, а также мест ввода коммуникаций осуществляется материалами системы «Пенебар».

Основные плюсы железобетонной кровли безрулонного типа:

- повышение надежности и долговечности кровельного покрытия (срок службы первичной гидроизоляции равен сроку службы железобетона до 100 лет);
- снижение трудозатрат на устройство кровли (исключение вторичной гидроизоляции);
- снижение веса кровельного покрытия на $10\text{--}15 \text{ кг}/\text{м}^2$.

Кроме того, компоненты системы «Пенетрон» дают возможность проведения ремонта кровли с внутренней

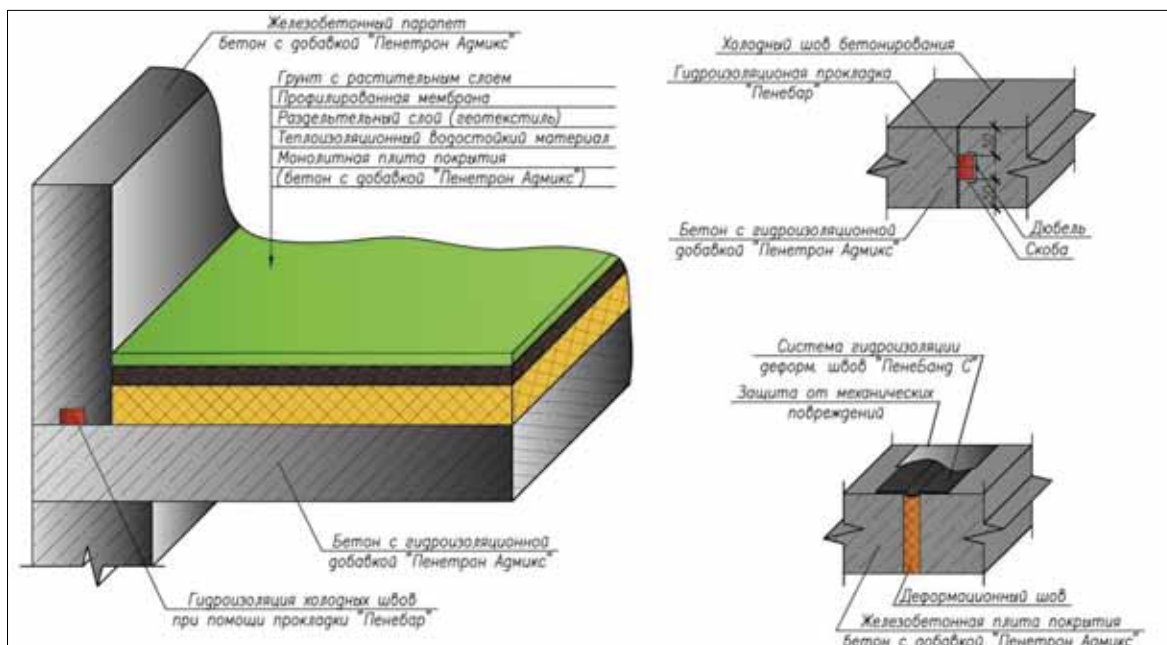


Иллюстрация 5. Упрощенная схема устройства кровли безрулонного типа

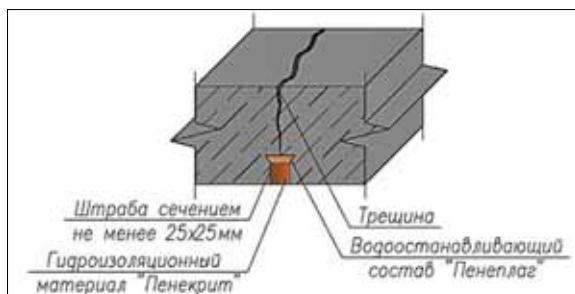


Иллюстрация 6. Устранение напорных течей и герметизация трещин в монолитной железобетонной кровле изнутри помещения

стороны помещения, что существенно снижает сложность, а главное, стоимость ремонтных работ, особенно на озелененных эксплуатируемых кровлях (Иллюстрация 6) [17].

Данная кровля будет служить надежным основанием для устройства озелененного эксплуатируемого покрытия как на высотной части здания, так и над паркингом или стилобатом любой архитектурной формы.

Заключение

Созданием эксплуатируемых озелененных крыш можно решить множество задач, в том числе и сократить количество серых, ничем не приметных крыш существующих зданий, а также решить проблему нехватки городских пространств для создания зон экологического комфорта.

Однако важной инженерной задачей является повышение надежности и долговечности озелененных эксплуатируемых кровель ввиду дорогостоящего обслуживания и ремонта традиционных кровельных систем с применением рулонных гидроизоляционных материалов.

Одним из решений данной задачи является устройство эксплуатируемого покрытия на базе монолитного покрытия безрулонного типа, что не только упрощает монтаж покрытия, но и позволяет снизить затраты на его эксплуатацию. Кроме того, отсутствие хрупкого гидроизоляционного ковра существенно расширяет возможности

в выборе систем и технологий устройства эксплуатируемого покрытия.

Список использованной литературы

- 1 Титова Н.П. Сады на крышах. — М.: ОЛМА-ПРЕСС Гранд, 2002. — 112 с.
- 2 Горохов В. А. Зеленая природа города: учебник для вузов — М.: Стройиздат, 2003.
- 3 Детский сад на крыше супермаркета. Мельбурн, Австралия. — URL: <https://www.ecosoil.ru/useful/luchshiesady-na-kryshah/> (дата обращения: 02.02.2020).
- 4 Сад на крыше паркинга торгового центра «MOM Park Shopping Centre». Будапешт, Венгрия. — URL: <https://www.ecosoil.ru/useful/luchshiesady-na-kryshah/> (дата обращения: 02.02.2020).
- 5 Детская больница. Филадельфия, США. — URL: <https://architizer.com/projects/childrens-hospital-of-philadelphia/> (дата обращения: 02.02.2020).
- 6 Эксплуатируемая кровля современного паркинга. Швеция. — URL: <https://www.gtrus.ru/news/ispolzuemaya-krovlya-sovremennogo-parkinga-proekt-iz-shvecii/> (дата обращения: 02.02.2020).
- 7 Зеленая кровля здания «City Hall». Чикаго, США. — URL: <https://kulturologia.ru/blogs/171013/19044/> (дата обращения: 02.02.2020).
- 8 Кровля с настоящим живым садом в городе Екатеринбург. — URL: https://www.e1.ru/news/spool/news_id-483134.html (дата обращения: 02.02.2020).
- 9 Беликова Т.Н. Зеленые крыши и «Сады Семирамиды» // Комплексные проблемы развития науки, образования и экономики. — Коломна: Коломен. ин-т (филиал) ФГБОУ ВПО «Московский государственный машиностроительный университет (МАМИ)», 2017. — С. 18–29.
- 10 Зеленые кровли в условиях холодного климата. — URL: <http://vogean.com/katalog/538/index.php> (дата обращения: 02.02.2020).
- 11 СП 50.13330.2012 Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003.
- 12 СП 131.13330.2012 Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23-01-99*

- 13 Рекомендации по проектированию озеленения и благоустройства крыш жилых и общественных зданий и других искусственных оснований. — ОАО «Моспроект», 2000. — 28 с.
- 14 Гидроизоляция плит перекрытия и эксплуатируемой кровли надземного паркинга. — URL: <https://www.s-zakon.ru/> (дата обращения: 02.02.2020).
- 15 Домнин В. В., Домнин К. В. Монолитные железобетонные безрулонные крыши для жилых и общественных зданий. (Технические решения). — Екатеринбург: ЭПК ООО «Докрос», 2011.
- 16 Патент на полезную модель № 99037 Российская Федерация. Конструкция железобетонной кровли и способ ее ремонта / В. В. Домнин, К. В. Домнин. Оpubл. 05.09.09.
- 17 СТО-6658209531-003-2017. Ремонт бетонных и железобетонных обделок транспортных тоннелей и подземных сооружений метрополитенов с применением материалов ЗАО «ГК ПЕНЕТРОН-РОССИЯ».

References

- 1 Titova N. P. Sady na kryshah. — М.: OLMA-PRESS Grand, 2002. — 112 s.
- 2 Gorohov V. A. Zelenaya priroda goroda: uchebnik dlya vuzov — М.: Strojizdat, 2003.
- 3 Detskij sal na kryshe supermarketa. Mel'burn, Avstraliya. — URL: <https://www.ecosoil.ru/useful/luchshie-sady-na-kryshah/> (data obrashcheniya: 02.02.2020).
- 4 Sad na kryshe parkinga trgovogo centra «MOM Park Shopping Centre». Budapesht, Vengriya. — URL: <https://www.ecosoil.ru/useful/luchshie-sady-na-kryshah/> (data obrashcheniya: 02.02.2020).
- 5 Detskaya bol'nica. Filadel'fiya, SSHA. — URL: <https://architizer.com/projects/childrens-hospital-of-philadelphia/> (data obrashcheniya: 02.02.2020).
- 6 Ekspluatiruemaya krovlya sovremennogo parkinga. SHveciya. — URL: <http://www.grrus.ru/news/ispolzuemaya-krovlya-sovremennogo-parkinga-proekt-iz-shvecii/> (data obrashcheniya: 02.02.2020).
- 7 Zelenaya krovlya zdaniya «City Hall». Chikago, SSHA. — URL: <https://kulturologia.ru/blogs/171013/19044/> (data obrashcheniya: 02.02.2020).
- 8 Krovlya s nastoyashchim zhivym sadom v gorode Ekaterinburg. — URL: https://www.e1.ru/news/spool/news_id-483134.html (data obrashcheniya: 02.02.2020).
- 9 Belikova T. N. Zelenye kryshi i «Sady Semiramidy» // Kompleksnye problemy razvitiya nauki, obrazovaniya i ekonomiki. — Kolomna: Kolomen. in-t (filial) FGBOU VPO «Moskovskij gosudarstvennyj mashinostroitel'nyj universitet (MAMI)», 2017. — S. 18–29.
- 10 Zelenye krovli v usloviyah holodnogo klimata. — URL: <http://vogeant.com/katalog/538/index.php> (data obrashcheniya: 02.02.2020).
- 11 SP 50.13330.2012 Teplovaya zashchita zdaniy. Aktualizirovannaya redakciya SNIp 23-02-2003.
- 12 SP 131.13330.2012 Stroitel'naya klimatologiya. Aktualizirovannaya redakciya SNIp 23-01-99*
- 13 Rekomendacii po proektirovaniyu ozeleneniya i blagoustrojstva krysh zhilyh i obshchestvennyh zdaniy i drugih iskusstvennyh osnovanij. — ОАО «Моспроект», 2000. — 28 с.
- 14 Gidroizolyaciya plit perekrytiya i ekspluatiruemoj krovli nadzemnogo parkinga. — URL: <https://www.s-zakon.ru/> (data obrashcheniya: 02.02.2020).
- 15 Domnin V. V., Domnin K. V. Monolitnye zhelezobetonnye bezrulonnnye kryshi dlya zhilyh i obshchestvennyh zdaniy.

(Tekhnicheskie resheniya). — Ekaterinburg: EPK ООО «Dokros», 2011.

- 16 Patent na poleznuyu model' № 99037 Rossijskaya Federaciya. Konstrukciya zhelezobetonnoj krovli i sposob ee remonta / V. V. Domnin, K. V. Domnin. Opubl. 05.09.09.
- 17 STO-6658209531-003-2017. Remont betonnyh i zhelezobetonnyh obdelok transportnyh tonnelej i podzemnyh sooruzhenij metropolitenov s primeneniem materialov ZAO «GK PENETRON-ROSSIYA».

Статья поступила в редакцию в мае 2020 г.

Опубликована в сентябре 2020 г.

Mikhail Shvaley

Engineer, survey of buildings and structures, Dokros LLC, Yekaterinburg, Russian Federation

Irina Maltseva

Candidate of technical Sciences, associate Professor, Ural Federal University (UrFU), Institute of construction and architecture, Yekaterinburg, Russian Federation
e-mail: 3724316@mail.ru