
ИНЖЕНЕРНЫЕ СИСТЕМЫ ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ НАСЕЛЕННЫХ МЕСТ, ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ. ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ СТРОИТЕЛЬСТВА

LIFE MAINTENANCE ENGINEERING SYSTEMS OF THE INHABITED LOCALITIES, BUILDINGS AND STRUCTURES. ECOLOGICAL SAFETY OF CONSTRUCTION

Известия вузов. Строительство. 2021. № 9. С. 45–57.

ISSN 0536-1052

News of Higher Educational Institutions. Construction. 2021; (9): 45–57.

ISSN 0536-1052

Научная статья

УДК 697.148

DOI: 10.32683/0536-1052-2021-753-9-45-57

ОСОБЕННОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЕЛИЧИНЫ ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ ЧЕРЕЗ КРОВЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ С ОЗЕЛЕНЕНИЕМ

Мухаммет Азатович Разаков^{1, 2}, Юлия Владимировна Кудрявцева²

¹ Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, Москва, Россия

² Национальный исследовательский Московский энергетический институт, Москва, Россия

Аннотация. В работе рассмотрены особенности расчета тепловых потерь кровельных ограждающих конструкций с озеленением. Приведены современные направления развития в области «зеленого» строительства в Российской Федерации и иных странах. Проведен анализ современных нормативных документов, где изложены данные и методики расчетов, связанные только с экологичными конструкциями. Рассмотрены тепловые потери через типовые кровельные конструкции с озеленением. Предложен метод расчета теплового баланса с использованием экологичных конструкций для теплого периода года, который может быть актуальным и для промышленных зданий. Выполнено сравнение тепловых потерь типовых ограждающих кровельных конструкций с озеленением при различных исходных условиях.

Ключевые слова: тепловой баланс, тепловая защита зданий, зеленая архитектура, методика проектирования, ограждающие конструкции с озеленением

Для цитирования: Разаков М.А., Кудрявцева Ю.В. Особенности определения величины тепловых потерь через кровельные конструкции с озеленением // Известия вузов. Строительство. 2021. № 9. С. 45–57. DOI: 10.32683/0536-1052-2021-753-9-45-57.

Original article

FEATURES OF DETERMINING THE MAGNITUDE OF HEAT LOSSES THROUGH ROOFING STRUCTURES WITH LANDSCAPING

Muhammet A. Razakov^{1, 2}, Yuliya V. Kudryavtseva²

¹ National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia

² National Research Moscow Power Engineering Institute, Moscow, Russia

Abstract. There are a method for calculating the heat loss of roof enclosing structures with installed landscaping. Researchers have determined modern directions of development in the field of "Green" constructions in the Russian Federation and other countries. Authors have analyzed the actual regulatory documents which provide information and calculation methods and related only to environmental friendly structures. There are the heat losses through typical roof structures with landscaping in this paper. Researchers also have written a method for calculating the heat balance using environmentally friendly designs for the warm period of a year. It also can be relevant for industrial buildings. There is a comparison of heat losses of typical enclosing roofing structures with landscaping under different initial conditions.

Keywords: heat balance, thermal protection of buildings, green architecture, design methodology, structures envelope with landscaping

For citation: Razakov M.A., Kudryavtseva Yu.V. Features of determining the magnitude of heat losses through roofing structures with landscaping. *News of Higher Educational Institutions. Construction*. 2021; (9): 45–57. (In Russ.). DOI: 10.32683/0536-1052-2021-753-9-45-57.

Введение. Зеленые ограждающие конструкции играют важную роль в решении задач экологического строительства [1–3]. Наиболее распространенными являются следующие виды:

сплошные кровельные конструкции с озеленением в виде основного покрытия (рис. 1);

модульные кровельные конструкции с озеленением (рис. 2);

сплошные встраиваемые кровельные конструкции с озеленением в виде дополнительных покрытий (рис. 3).

Существует еще один вид кровельного озеленения, который редко включают в данный список типовых конструкций – оранжереи. Несмотря на то что аналогами оранжерей являются теплицы, расположенные на земле, данные конструкции применяют и в качестве дополнительных помещений на крыше сооружения. Они имеют свой собственный микроклимат, который поддерживается для сельскохозяйственных культур и насаждений различных видов [4–8]. Оранжереи на крышах имеют меньшие трансмиссионные тепловые потери через пол из-за тепловых поступлений от здания, но при этом добавляются дополнительные потери теплоты от инфильтрующегося воздуха и потери от ограждающих конструкций. В работе [9] представлен охлаждающий и энергосберегающий эффект от стандартных кровель с озеленением в штате Флорида (США) и проведено исследование оптимальной площади с озеленением для частного жилого дома.

Цель работы – разработка метода расчета тепловых потерь через кровельную конструкцию с озеленением.

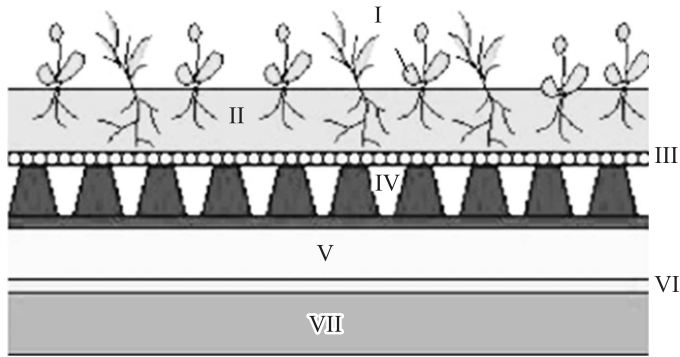


Рис. 1. Сплошная кровельная конструкция с озеленением в виде основного покрытия

I – растительный покров; II – грунтовый покров; III – фильтрующая мембрана; IV – дренажная система с корневым и гидроизоляционным барьером; V – теплоизоляционный слой; VI – гидроизоляционный слой; VII – основной конструктивный элемент кровли

Fig. 1. Solid roofing structure with landscaping in the form of a basic coating

I – vegetation cover; II – ground cover; III – filter membrane; IV – drainage system with root and waterproofing barrier; V – thermal insulation layer; VI – waterproofing layer; VII – the main structural element of the roof

Расчетные методы. Современные мировые и отечественные «зеленые стандарты», к сожалению, могут быть использованы только лишь для оценки экологичности здания, но не для проектирования тепловой защиты сооружения [10–13]. Необходимо отметить, что по рекомендациям СП 230.1325800.2015, «Конструкции ограждающие зданий. Характеристики теплотехнических неоднородностей» данные, которые указаны в нем, можно использовать и для научных исследований. Также необходимо уточнить, что для зданий с большим

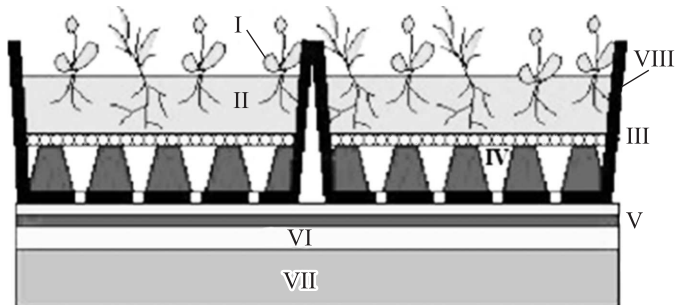


Рис. 2. Модульные кровельные конструкции с озеленением

I – растительный покров; II – грунтовый покров; III – фильтрующая мембрана; IV – дренажная система с корневым барьером; V – гидроизоляционный и пароизоляционный слои; VI – теплоизоляционный слой; VII – основной конструктивный элемент кровли; VIII – модуль

Fig. 2. Modular roofing structures with landscaping

I – vegetation cover; II – ground cover; III – filter membrane; IV – drainage system with root barrier; V – waterproofing and vapor barrier layers; VI – thermal insulation layer; VII – the main structural element of the roof; VIII – module

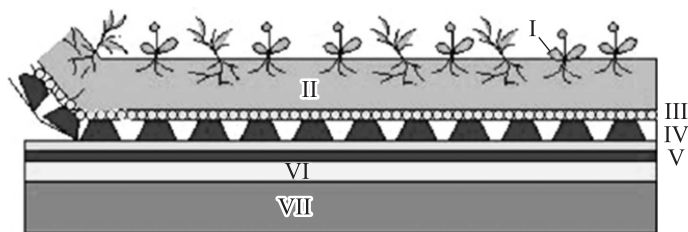


Рис. 3. Сплошные встраиваемые кровельные конструкции с озеленением в виде дополнительных покрытий

I – растительный покров; II – грунтовый покров; III – фильтрующая мембрана; IV – дренажная система с корневым барьером; V – гидроизоляционный и паронизоляционный слой; VI – теплоизоляционный слой; VII – основной конструктивный элемент кровли

Fig. 3. Solid embedded roofing structures with landscaping in the form of additional coatings

I – vegetation cover; II – ground cover; III – filter membrane; IV – drainage system with root barrier; V – waterproofing and vapor barrier layers; VI – thermal insulation layer; VII – the main structural element of the roof

сроком эксплуатации для снижения риска возникновения аварийных ситуаций и неблагоприятного влияния возможных последствий процесса реконструкции, согласно новым нормативным требованиям, возможно применение более ранних версий данных нормативных документов [14].

Для расчета трансмиссионных тепловых потерь через кровельные ограждающие конструкции используется стандартная формула Ньютона–Рихмана с учетом типовых точечных и линейных тепловых включений для кровельных ограждений с озеленением. Обобщающая формула имеет вид

$$Q_1 = \frac{\Delta t F}{1 + \frac{(\alpha_{li} + \alpha_{ki})(\alpha_{li+1} + \alpha_{ki+1})}{(\alpha_{li} + \alpha_{ki}) + (\alpha_{li+1} + \alpha_{ki+1})} + \sum_{i=1}^{i=n} \frac{\delta x_i}{\lambda_i} + \sum l_j \Psi_j + \sum n_k \chi_k} = \frac{\Delta t F}{\sum a_i U_i + \sum l_j \Psi_j + \sum n_k \chi_k}, \quad (1)$$

где Δt – разность средней температуры воздуха внутри здания и температуры наружного воздуха, °C;

F – площадь кровельной поверхности, м²;

α_{ki} – конвективная составляющая теплоотдачи i и $i + 1$ поверхности, Вт/(м² · °C);

α_{li} – лучистая составляющая теплоотдачи i и $i + 1$ поверхности, Вт/(м² · °C);

λ_i – коэффициент теплопроводности материала i -го слоя кровельной конструкции, Вт / (м · K);

δx_i – толщина материала i -го слоя кровельной конструкции, м;

l_j – протяженность линейной неоднородности j -го вида, приходящаяся на 1 м² фрагмента теплозащитной оболочки здания или выделенной ограждающей конструкции, м/м²;

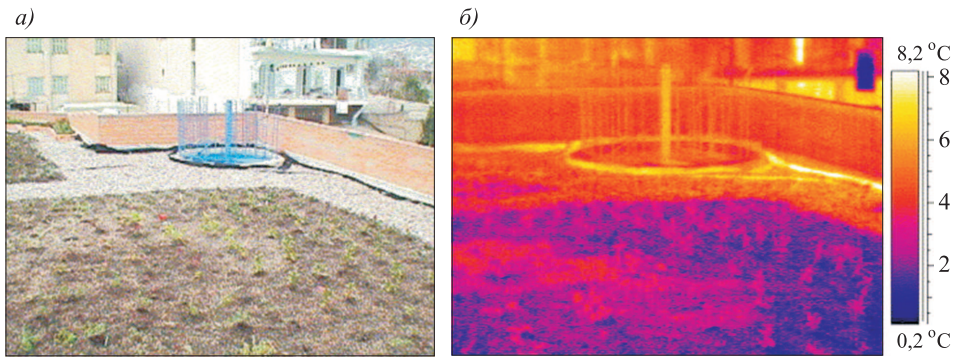


Рис. 4. Внешний вид (а) и термограмма (б) типowego теплового включения (трубопровод от инженерной системы)

Fig. 4. Appearance (a) and thermogram (b) of a typical thermal inclusion (pipeline from the engineering system)

Ψ_j – удельные потери теплоты через линейную неоднородность j -го вида, Вт/(м · °С);

n_k – количество точечных неоднородностей k -го вида, приходящихся на 1 м² фрагмента теплозащитной оболочки здания или выделенной ограждающей конструкции, шт/м²;

χ_k – удельные потери теплоты через точечную неоднородность k -го вида, Вт/°С;

a_i – площадь плоского элемента конструкции i -го вида, приходящаяся на 1 м² фрагмента теплозащитной оболочки здания или выделенной ограждающей конструкции, м²/м²;

U_i – коэффициент теплопередачи однородной i -й части фрагмента теплозащитной оболочки здания, Вт / (м² · °С).

На рис. 4 представлены внешний вид и термограмма одного из типовых тепловых включений, который влияет на характеристики сопротивления теплопередачи кровельной ограждающей конструкции [15].

Можно также учитывать суммарные тепловые поступления от солнечной инсоляции. В формуле (2) приведена данная модель с добавлением дополнительных членов, характеризующих кровельную систему с озеленением¹

$$Q_{II} = Q_{пр} - Q_{зат} + Q_p + Q_{от} \pm Q_{тмо}, \quad (2)$$

где $Q_{пр}$ – тепловые поступления от прямой солнечной инсоляции, Вт;

$Q_{зат}$ – тепловые поступления от прямой солнечной инсоляции, не попадающие на поверхность перекрытия, вследствие затенения от элементов системы озеленения и конструктивных элементов здания, Вт (возможно принять равным в диапазоне 1–5 % от тепловых поступлений прямой солнечной инсоляции);

Q_p – тепловые поступления от рассеянной солнечной инсоляции, Вт;

$Q_{от}$ – тепловые поступления от отраженной солнечной инсоляции, Вт;

$Q_{тмо}$ – тепломассообменные процессы, возникающие между воздухом и влагой в грунте, Вт (в зимний период ее можно принять равной 0).

¹ Справочник проектировщика: Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха / под ред. Н.Н. Павлова, Ю.И. Шиллера. М.: Стройиздат, 1992. 416 с.

В работе [16] приведена методика расчета последней составляющей тепловых поступлений от солнечной инсоляции. Для проектного стационарного режима также возможно использование модели тепловых поступлений через горизонтальные покрытия, предложенной В.Н. Богословским, Б.А. Крупновым и В.И. Мошкиным¹. Актуализированная модель для кровельных покрытий с озеленением имеет вид

$$Q_{II} = \left[\left(K_{пер} \left(t_{н.ср} + \frac{\rho_{пер} q_{ср}^r}{\alpha_H^r} - t_B^{пер} \right) + \left(\frac{\alpha_B^r \beta_{пр}}{\nu_{пер}} \left(0,5 A_{t_n} \beta_2 + \frac{\rho_{пер} (S_{г} + D_{г} - q_{ср}^r)}{\alpha_H^r} \right) \right) \right) F_{пер} \right] - Q_{зат} \pm Q_{тмо}, \quad (3)$$

где $K_{пер}$ – коэффициент теплопередачи перекрытия, Вт / (м² · °С);

$\rho_{пер}$ – коэффициент поглощения солнечной радиации поверхностью перекрытия (можно принимать равным 0,9 или 1, так как почти вся солнечная радиация попадает на ограждающую конструкцию);

$q_{ср}^r$ – среднее суточное количество теплоты прямой и рассеянной солнечной радиации, поступающей на поверхность перекрытия, Вт/м² (принимается по формуле (4));

A_{t_n} – суточная амплитуда температуры наружного воздуха (принимается по формуле (4)), °С;

β_2 – коэффициент, учитывающий гармоническое изменение температуры наружного воздуха;

β_{II} – дополнительный коэффициент, учитывающий наличие в конструкции воздушной прослойки ($\beta_{II} = 1$ при отсутствии и $\beta_{II} = 0,6$ при наличии воздушной прослойки);

$t_B^{пер}$ – принятая температура внутреннего воздуха в помещении под перекрытием, °С;

$\nu_{пер}$ – значение затухания колебаний температуры наружного воздуха в конструкции перекрытия;

$S_{г}$ – количество прямой солнечной радиации в каждый час с учетом периода запаздывания колебаний температуры, Вт/м²;

$D_{г}$ – количество рассеянной солнечной радиации в каждый час с учетом периода запаздывания колебаний температуры, Вт/м²;

ε – период запаздывания, ч;

$F_{пер}$ – площадь перекрытия, м²;

α_H^r – суммарный наружный коэффициент теплоотдачи поверхности перекрытия, Вт/(м² · °С).

$$q_{ср}^r = 0,0002x^4 - 9 \cdot (10^{-7})x^5 - 0,0101x^3 + 0,1629x^2 + 2,0033x + 304,1, \quad (4)$$

где x – географические координаты расположения здания (широта).

α_H^r определялась по зависимости

$$\alpha_H^r = 8,7 + 2,6\sqrt{V}, \quad (5)$$

где V – скорость воздуха, м/с (при стационарном режиме принимается по СП 131.13330.2020 «Строительная климатология», при нестационарном режиме – по фактическим измеренным данным).

Итоговые тепловые потери через перекрытия с озеленением определяются по формуле

$$Q_I - Q_{II} = Q_{тп}. \quad (6)$$

При расчете тепловых поступлений в темное время суток возможно принять, что $Q_{II} = 0$ и $Q_I = Q_{тп}$.

Анализ результатов расчетов. В качестве примера применения данного актуализированного метода расчета кровельных покрытий с озеленением рассмотрены четыре варианта перекрытий для здания общежития в г. Краснодар: базовая конструкция без системы озеленения и три вида зеленой кровли (см. рис. 1–3).

Площадь кровли 546 м². При строительстве использовались железобетонные панели размером 1490 × 5980 мм, согласно ГОСТ 28042–2013. Суммарная длина швов в местах стыков железобетонных панелей равна 318 м. Тепловые потери через стыки между парапетом и покрытием ограждающей конструкции, согласно СП 230.1325800.2015, рекомендовано относить к тепловым потерям от вертикальных ограждающих конструкций (наружные стены здания). На кровельной конструкции установлено две вентиляционные шахты и два вентиляционных трубопровода системы канализации. В качестве креплений отдельных элементов конструкции (например, пароизоляции или текстильного слоя) использовались 2440 дюбелей со стальным сердечником. На крыше также имеется два люка с периметром 12 м и четыре выхода с кабелями.

В качестве модульных элементов системы озеленения кровли использовались модули диаметром 0,5 м [3]. Их суммарное количество – 714 шт. Суммарная площадь, занятая модулями, 357 м².

Температура наружного воздуха принята равной –15 °С. Температура внутреннего воздуха +24 °С, согласно ГОСТ 30494–2011. Основные теплофизические данные материалов характерных элементов конструкций приведены в табл. 1. Базовая конструкция без системы озеленения дана в табл. 1

Таблица 1. Основные теплофизические характеристики материалов
Table 1. Basic thermophysical characteristics of materials

№ слоя	Слой	Позиция из СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий»	Принятая толщина слоя, м	Плотность материала, кг/м ³	Теплопроводность материала, Вт/(м · °С)	Теплоемкость материала, кДж/(кг · °С)
1	2	3	4	5	6	7
Стандартное кровельное покрытие без озеленения						
1	Железобетонная многопустотная панель	199	0,2	2500	1,92 (2,04*)	0,84
2	Битумная гидроизоляция	218	0,01	1400	0,27	1,68
3	Пароизоляция	223	0,003	30	0,05	2,0
4	Плиты минераловатные из каменного волокна	25	0,15	180	0,045 (0,048*)	0,84
5	Цементно-песчаная стяжка	201	0,05	1800	0,76 (0,93*)	0,84

Окончание табл. 1

1	2	3	4	5	6	7
6	Рубероид (гидроизоляция)	222	0,01	600	0,17	1,68
Кровельное покрытие с озеленением (вид 1 по рис. 1)						
1	Железобетонная многопустотная панель	199	0,2	2500	1,92 (2,04*)	0,84
2	Битумная гидроизоляция	218	0,01	1400	0,27	1,68
3	Пароизоляция	223	0,003	30	0,05	2,0
4	Плиты минераловатные из каменного волокна	25	0,05	180	0,045 (0,048*)	0,84
5	Полиэтиленовая пленка	223	0,003	30	0,05	2,0
6	Рубероид (гидроизоляция)	222	0,01	600	0,17	1,68
7	Мембрана	222	0,005	600	0,17	1,68
8	Грунт	По данным [17]	0,3	1100	0,5	0,9
Кровельное покрытие с озеленением (вид 2 по рис. 2)						
1	Железобетонная многопустотная панель	199	0,2	2500	1,92 (2,04*)	0,84
2	Битумная гидроизоляция	218	0,01	1400	0,27	1,68
3	Пароизоляция	223	0,003	30	0,05	2,0
4	Плиты минераловатные из каменного волокна	25	0,15	180	0,045 (0,048*)	0,84
5	Полиэтиленовая пленка	223	0,003	30	0,05	2,0
6	Материал модуля (углепластик)	По данным [17]	0,05	–	2,0	–
7	Рубероид (гидроизоляция)	222	0,01	600	0,17	1,68
8	Мембрана	222	0,005	600	0,17	1,68
9	Грунт	По данным [17]	0,5	1100	0,5	0,9
Кровельное покрытие с озеленением (вид 3 по рис. 3)						
1	Железобетонная многопустотная панель	199	0,2	2500	1,92 (2,04*)	0,84
2	Битумная гидроизоляция	218	0,01	1400	0,27	1,68
3	Пароизоляция	223	0,003	30	0,05	2,0
4	Плиты минераловатные из каменного волокна	25	0,15	180	0,045 (0,048)	0,84
5	Полиэтиленовая пленка	223	0,003	30	0,05	2,0
6	Рубероид (гидроизоляция)	222	0,01	600	0,17	1,68
7	Мембрана	222	0,005	600	0,17	1,68
8	Грунт	По данным [17]	0,2	1100	0,5	0,9

* При условиях эксплуатации Б.

Таблица 2. Основные тепловые включения
Table 2. Main thermal inclusions

Элемент конструкции	Удельный геометрический показатель	Удельные потери теплоты, Вт/(м ² ·°С)	Удельный поток теплоты, обусловленный элементом, Вт/(м ² ·°С)
1	2	3	4
Стандартное кровельное покрытие без озеленения			
Гладь кровельной конструкции без озеленения, м ² /м ²	$a = 1$	$U = 0,262$	0,262
Стыки в трехслойных железобетонных панелях плит перекрытий, м / м ²	$l = 0,583$	$\psi = 0,15 (0,3^*)$	0,088
Вентиляционные шахты (а) и иные инженерные коммуникации (б), шт/м ²	а) $n = 0,004$ б) $n = 0,004$	а) $\chi = 0,408$ б) $\chi = 0,05$	а) 0,002 б) 0,0002
Откос от двери на крышу, м/м ²	$l = 0,022$	$\psi = 0,04$	0,0009
Дюбели пластиковые со стальным сердечником для крепления некоторых видов строительных материалов, шт/м ²	$n = 4,5$	$\chi = 0,006$	0,027
Кабели от инженерных систем, шт/м ²	$n = 0,007$	$\chi = 0,012$	0,00008
Итого			0,380
Кровельное покрытие с озеленением (вид 1 по рис. 1)			
Гладь кровельной конструкции с озеленением, м ² /м ²	$a = 1$	$U = 0,236$	0,236
Стыки в трехслойных железобетонных панелях плит перекрытий, м / м ²	$l = 0,583$	$\psi = 0,15 (0,3^*)$	0,088
Вентиляционные шахты (а) и иные инженерные коммуникации (б), шт/м ²	а) $n = 0,004$ б) $n = 0,004$	а) $\chi = 0,408$ б) $\chi = 0,05$	а) 0,002 б) 0,0002
Откос от двери на крышу, м/м ²	$l = 0,022$	$\psi = 0,04$	0,0009
Дюбели пластиковые со стальным сердечником для крепления некоторых видов строительных материалов, шт/м ²	$n = 4,5$	$\chi = 0,006$	0,027
Кабели от инженерных систем, шт/м ²	$n = 0,007$	$\chi = 0,012$	0,00008
Итого			0,354
Кровельное покрытие с озеленением (вид 2 по рис. 2)			
Гладь кровельной конструкции с озеленением, м ² /м ²	$a = 1$	$U = 0,206$	0,206
Гладь кровельной конструкции без озеленения, м ² /м ²	$a = 1$	$U = 0,266$	0,266
Стыки в трехслойных железобетонных панелях плит перекрытий, м / м ²	$l = 0,583$	$\psi = 0,15 (0,3^*)$	0,088
Вентиляционные шахты (а) и иные инженерные коммуникации (б), шт/м ²	а) $n = 0,004$ б) $n = 0,004$	а) $\chi = 0,408$ б) $\chi = 0,05$	а) 0,002 б) 0,0002

Окончание табл. 2

1	2	3	4
Откос от двери на крышу, м/м ²	$l = 0,022$	$\psi = 0,04$	0,0009
Дюбели пластиковые со стальным сердечником для крепления некоторых видов строительных материалов, шт/м ²	$n = 4,5$	$\chi = 0,006$	0,027
Кабели от инженерных систем, шт/м ²	$n = 0,007$	$\chi = 0,012$	0,00008
Итого			0,206/0,384**
Кровельное покрытие с озеленением (вид 3 по рис. 3)			
Гладь кровельной конструкции с озеленением, м ² /м ²	$a = 1$	$U = 0,248$	0,248
Стыки в трехслойных железобетонных панелях плит перекрытий, м / м ²	$l = 0,583$	$\psi = 0,15 (0,3^*)$	0,088
Вентиляционные шахты (а) и иные инженерные коммуникации (б), шт/м ²	а) $n = 0,004$ б) $n = 0,004$	а) $\chi = 0,408$ б) $\chi = 0,05$	а) 0,002 б) 0,0002
Откос от двери на крышу, м/м ²	$l = 0,022$	$\psi = 0,04$	0,0009
Дюбели пластиковые со стальным сердечником для крепления некоторых видов строительных материалов, шт/м ²	$n = 4,5$	$\chi = 0,006$	0,027
Кабели от инженерных систем, шт/м ²	$n = 0,007$	$\chi = 0,012$	0,00008
Итого			0,366

* При разрыве утеплителя в местах сопряжения панелей.

** Кровельная конструкция без озеленения.

и 2, основные точечные и линейные тепловые включения для характерных конструкций – в табл. 2.

При использовании модульных элементов, их необходимо относить к однородной конструкции кровельного покрытия. Заполнение межмодульных пространств может быть выполнено с помощью грунта или наружного воздуха (при отсутствии защиты). Поэтому рекомендуется разделять расчет площади кровельного покрытия с озеленением и без озеленения.

Таблица 3. Результаты сравнения кровельных конструкций различных видов с озеленением

Table 3. Results of comparison of roofing structures of various types with landscaping

Конструкция	Толщина утеплителя, м	Занято зеленой кровлей, %	Толщина грунта, м	Суммарные тепловые потери через кровельную конструкцию, Вт
Базовая	0,15	100	0	8095
Вид 1 (по рис. 1)	0,05	100	0,3	7540
Вид 2 (по рис. 2)	0,15	65	0,5 (в модуле) и 0 (на остальной части кровли)	5700
Вид 3 (по рис. 3)	0,15	100	0,2	7790

В СП 230.1325800.2015 не приводится информации для расчета кровельных покрытий с озеленением. В работе принято, что межмодульное пространство заполнено наружным воздухом.

Итоговые тепловые потери при отсутствии солнечной инсоляции и значимые характеристики представлены в табл. 3.

Заключение. Предложен метод расчета тепловых потерь через типовые кровельные ограждающие конструкции с озеленением. При расчете тепловых потерь здания через кровельную конструкцию с озеленением были обнаружены недостатки современных нормативных документов в Российской Федерации. Рассмотренные конструкции в различном исполнении можно использовать в южных климатических регионах России. Наиболее эффективным, по предварительным проектным оценкам, является модульное исполнение кровельной конструкции (вид 2), которая занимает 65 % от всей площади кровли здания при толщине грунта в модуле 0,5 м. Для дополнительного снижения тепловых потерь модули необходимо установить над стыками железобетонных панелей.

Список источников

1. Liu K. Engineering performance of rooftop gardens through field evaluation // RCI 18th International Convention and Trade Show (Tampa, Florida, 3/13/2003). P. 1–15.
2. Oberndorfer E., Lundholm J., Bass B., Coffman R.R., Doshi H., Dunnett N., Gaffin S., Kuhler M., Liu K.K.Y., Rowe B. Green roofs as urban ecosystems: Ecological structures, functions, and services // *BioScience*. 2007. No. 57. P. 823–833.
3. Korol E., Shushunova N. Innovative modular greening system for modern buildings // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2021. Vol. 1030, no. 1. P. 012062.
4. Sheryazov S.K., Popova S.A. Light and temperature control for greenhouse plant growth // *Engineering Technologies and Systems*. 2021. Vol. 31, no. 1. P. 8–20. DOI: <https://doi.org/10.15507/2658-4123.031.202101.008-020>
5. Olle M., Viršile A. The effects of light-emitting diode lighting on greenhouse plant growth and quality // *Agricultural and food science*. 2013. Vol. 22, no. 2. P. 223–234.
6. Went F.W. Plant growth under controlled conditions. I. The air-conditioned greenhouses at the California Institute of Technology // *American Journal of Botany*. 1943. Vol. 30, no. 2. P. 157–163. <https://doi.org/10.2307/2437258>
7. Бодров В.И., Бодров М.В. Термодинамические процессы в воздушном объеме теплиц в теплый период года // *Вестн. Том. гос. архитектурно-строит. ун-та*. 2010. № 2. С. 169–175.
8. Рымаров А.Г., Савичев В.В. «Зимний сад» и регенеративная система вентиляции // *Сантехника. Отопление. Кондиционирование*. 2013. № 6. С. 64–65.
9. Chang N.B., Rivera B.J., Wanielist M.P. Optimal design for water conservation and energy savings using green roofs in a green building under mixed uncertainties // *Journal of Cleaner Production*. 2011. Vol. 19, no. 11. P. 1180–1188.
10. Telichenko V., Benuzh A., Eames G. et al. Development of green standards for construction in Russia // *Procedia Engineering*. 2016. Vol. 153. P. 726–730. DOI: 10.1016/j.proeng.2016.08.233
11. Korol E., Shushunova N. Green roofs: standardization and quality control of processes in green construction // *MATEC Web of Conferences*. 2017. No. 106. P. 06014.
12. Куликова Е.Н., Чукин Е.А., Тагиров Т.А., Тускаева З.Р. Зеленое строительство: сегодня и завтра // *Инновации и инвестиции*. 2021. № 2. С. 175–178.

13. Saiz S., Kennedy C., Bass B., Pressnail K. Comparative life cycle assessment of standard and green roofs // *Environmental Science and Technology*. 2006. Vol. 40, no. 13. P. 4312-6. DOI: 10.1021/es0517522
14. Баранова Т.Н., Разаков М.А. Применение энергосберегающих мероприятий в жилых малоэтажных домах с длительным периодом эксплуатации // *Сантехника. Отопление. Кондиционирование*. 2018. № 12. С. 84–87.
15. Santamouris M., Pavlou C., Doukas P., Mihalakakou G., Synnefa A., Hatzibiros A., Patargias P. Investigating and analysing the energy and environmental performance of an experimental green roof system installed in a nursery school building in Athens, Greece // *Energy*. 2007. Vol. 9, no. 32. P. 1781–1788.
16. Korkina E.V., Shmarov I.A. Analytical method of calculation of the diffuse solar radiation received on a vertical surface with partially obstructed sky // *News of Higher Educational Institutions. Technology of the textile industry*. 2018. Vol. 375, no. 3. P. 230–236.
17. Хлебникова В.В., Макарычев С.В., Шишкин А.В. Тепловые и общезфизические свойства черноземов под насаждениями декоративных культур в дендрарии // *Вестн. Алт. гос. аграрного ун-та*. 2020. Т. 3, № 185. С. 69–74.

References

1. Liu K. Engineering performance of rooftop gardens through field evaluation. RCI 18th International Convention and Trade Show (Tampa, Florida, 3/13/2003): 1–15.
2. Oberndorfer E., Lundholm J., Bass B., Coffman R.R., Doshi H., Dunnett N., Gaffin S., Kuhler M., Liu K.K.Y., Rowe B. Green roofs as urban ecosystems: Ecological structures, functions, and services. *BioScience*. 2007; (57): 823–833.
3. Korol E., Shushunova N. Innovative modular greening system for modern buildings. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2021; 1030 (1): 012062.
4. Sheryazov S.K., Popova S.A. Light and temperature control for greenhouse plant growth. *Engineering Technologies and Systems*. 2021; 31 (1): 8–20. DOI: <https://doi.org/10.15507/2658-4123.031.202101.008-020>
5. Olle M., Viršile A. The effects of light-emitting diode lighting on greenhouse plant growth and quality. *Agricultural and food science*. 2013; 22 (2): 223–234.
6. Went F.W. Plant Growth Under Controlled Conditions. I. The Air-Conditioned Greenhouses at the California Institute of Technology. *American Journal of Botany*. 1943; 30 (2): 157–163. <https://doi.org/10.2307/2437258>
7. Bodrov V.I., Bodrov M.V. Thermodynamic processes inside the greenhouses during the warm period of the year. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta = Journal of Construction and Architecture*. 2010; (2): 169–175. (In Russ.).
8. Rymarov A.G., Savichev V.V. "Winter garden" and regenerative ventilation system. *Santekhnika. Otopleniye. Konditsionirovaniye = Plumbing. Heating. Air-conditioning*. 2013; (6): 64–65. (In Russ.).
9. Chang N.B., Rivera B.J., Wanielista M.P. Optimal design for water conservation and energy savings using green roofs in a green building under mixed uncertainties. *Journal of Cleaner Production*. 2011; 19 (11): 1180–1188.
10. Telichenko V., Benuzh A., Eames G. et al. Development of green standards for construction in Russia. *Procedia Engineering*. 2016; (153): 726–730. DOI: 10.1016/j.proeng.2016.08.233
11. Korol E., Shushunova N. Green roofs: standardization and quality control of processes in green construction. *MATEC Web of Conferences*. 2017; (106): 06014.

12. Kulikova Ye.N., Chukin Ye.A., Tagirov T.A., Tuskayeva Z.R. Green building: today and tomorrow. *Innovatsii i investitsii = Innovation and investment*. 2021; (2): 175–178. (In Russ.).
13. Saiz S., Kennedy C., Bass B., Pressnail K. Comparative life cycle assessment of standard and green roofs. *Environmental Science and Technology*. 2006; 40 (13): 4312-6. DOI: 10.1021/es0517522
14. Baranova T.N., Razakov M.A. The energy saving measures in low-rise residential buildings with a long period of operating. *Santekhnika. Otopleniye. Konditsionirovaniye = Plumbing. Heating. Air-conditioning*. 2018; (12): 84–87. (In Russ.).
15. Santamouris M., Pavlou C., Doukas P., Mihalakakou G., Synnefa A., Hatzibiros A., Patargias P. Investigating and analysing the energy and environmental performance of an experimental green roof system installed in a nursery school building in Athens, Greece. *Energy*. 2007; 9 (32): 1781–1788.
16. Korkina E.V., Shmarov I.A. Analytical method of calculation of the diffuse solar radiation received on a vertical surface with partially obstructed sky. *News of Higher Educational Institutions. Technology of the textile industry*. 2018; 375 (3): 230–236.
17. Khlebnikova V.V., Makarychev S.V., Shishkin A.V. Thermal and general physical properties of chernozems under ornamental crop plantations in the arboretum. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Bulletin of Altai State Agrarian University*. 2020; 3 (185): 69–74. (In Russ.).

Информация об авторах

М.А. Разаков – ассистент

Ю.В. Кудрявцева – ассистент

Information about the authors

M.A. Razakov – Lecturer

Yu.V. Kudryavtseva – Lecturer

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 28.07.2021

Одобрена после рецензирования 29.08.2021

Принята к публикации 03.09.2021

The article was submitted 28.07.2021

Approved after reviewing 29.08.2021

Accepted for publication 03.09.2021