

# СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

УДК 72.012.6  
DOI 10.52684/2312-3702-2023-45-3-5-10

## ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ВЕРТИКАЛЬНОГО ОЗЕЛЕНЕНИЯ ФАСАДОВ НА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ ЗДАНИЙ

*П. И. Толмасова, А. Н. Гойкалов, М. В. Новиков*

*Толмасова Полина Игоревна*, магистрант, Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж, Российская Федерация, тел.: + 7 (919) 189-94-22; e-mail: ptolmasova@gmail.com;

*Гойкалов Андрей Николаевич*, кандидат технических наук, доцент кафедры проектирования зданий и сооружений им. Н. В. Троицкого, Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж, Российская Федерация, тел.: + 7 (960) 111-44-40; e-mail: goykalov78@mail.ru;

*Новиков Михаил Викторович*, кандидат технических наук, доцент кафедры проектирования зданий и сооружений им. Н. В. Троицкого, Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж, Российская Федерация, тел.: + 7 (920) 214-17-61; e-mail: novikov-2005@mail.ru

Рассмотрена технология «зеленых» фасадов, которая недостаточно изучена и не имеет широкого применения в нашей стране. Однако существует широкая практика применения данных систем за рубежом. Представлены результаты исследования влияния вертикального озеленения различных вариантов конструкций фасадов зданий на температуру внешней и внутренней поверхностей стен и микроклимат внутри помещений. Объектом исследования было здание велотрека в г. Евпатория, Республика Крым. Моделирование микроклимата помещений и городской среды выполнено с помощью программного комплекса Envi-met. Сформулированы выводы, и определена оптимальная конструкция вертикального озеленения с точки зрения охлаждающего эффекта. Установлено, что разница температур внешней и внутренней поверхностей стены с войлочной фасадной системой вертикального озеленения по сравнению с базовым вариантом составила 10,01 °C и 3,9 °C соответственно, модульной системы – 4,57 °C и 1,4 °C, системы вертикального озеленения с опорой на фасад – 1,89 °C и 1,9 °C. Независимой группой экспертов по ряду показателей, характеризующих сочетание здания с окружающей средой, дана квалиметрическая оценка качества архитектурной среды здания велотрека.

**Ключевые слова:** вертикальное озеленение, фасад, энергосбережение, энергоэффективность, «зеленое» строительство, температура воздуха, эксперимент, архитектурная среда.

## ASSESSMENT OF THE IMPACT OF VERTICAL GREENING OF FACADES ON THE ENERGY EFFICIENCY OF BUILDINGS

*P. I. Tolmasova, A. N. Goykalov, M. V. Novikov*

*Tolmasova Polina Igorevna*, graduate student, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russian Federation, phone: + 7 (919) 189-94-22; e-mail: ptolmasova@gmail.com;

*Goykalov Andrey Nikolayevich*, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Design of Buildings and Structures named after N. V. Troitsky, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russian Federation, phone: + 7 (960) 111-44-40; e-mail: goykalov78@mail.ru;

*Novikov Mikhail Viktorovich*, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Design of Buildings and Structures named after N. V. Troitsky, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russian Federation, phone: + 7 (920) 214-17-61; e-mail: novikov-2005@mail.ru

The technology of "green" facades is considered, which is not well understood and is not widely used in our country, however, there is a wide practice of using these systems abroad. The results of a study of the influence of vertical gardening of various options for the construction of building facades on the temperature of the external and internal surfaces of the walls and the microclimate inside the premises are presented. The object of the study was the building of the cycle track in Evpatoria, the Republic of Crimea. Modeling of the indoor microclimate and the urban environment was performed using the Envi-met software package. Conclusions are formulated and the optimal design of vertical gardening is determined from the point of view of the cooling effect. It has been established that the difference in temperatures of the outer and inner surfaces of the wall with a felt facade system of vertical gardening compared to the base case was 10.01 °C and 3.9 °C, respectively, of the modular system - 4.57 °C and 1.4 °C, of the vertical gardening system based on the facade – 1.89 °C and 1.9 °C. An independent group of experts on a number of indicators characterizing the combination of a building with the environment, gave a qualimetric assessment of the quality of the architectural environment of the cycle track building.

**Keywords:** vertical gardening, facade, energy saving, energy efficiency, green building, air temperature, experiment, architectural environment.

### Введение

В 2024 г. Технический комитет по стандартизации «Зеленые» технологии среды жизнедеятельности и «зеленая» инновационная продукция» (далее – ТК 366) совместно с Техническим комитетом по

стандартизации «Строительство» (далее – ТК 465) планирует подготовить и впоследствии утвердить приказами Росстандарта ряд «зеленых» ГОСТ Р, среди которых будет ГОСТ Р «Зеленые» стандарты.

Вертикальное озеленение фасадов зданий и сооружений. Технические и экологические требования.

Энергоэффективность «зеленых» стен заключается в их способности влиять на теплообмен между внутренней средой здания и внешними физико-климатическими воздействиями [1]. Основными внешними факторами, влияющими на теплопередачу через фасад здания, являются солнечное и тепловое излучение атмосферы и земли, температура воздуха, относительная влажность и скорость ветра [2–7]. Растения и другие элементы зеленых стен, такие как насаждения или опорные конструкции, уменьшают воздействие этих климатических факторов на наружную поверхность стен. Все это приводит к уменьшению теплопередачи через фасад и, как следствие, к уменьшению нагрева и потребления энергии на охлаждение [10–11].

*Цель работы* – оценка влияния вертикального озеленения фасадов на тепловой режим помещений здания и качество архитектурной среды.

Для достижения поставленной цели разработана проектная модель здания велотрека; выбраны сравнимые варианты конструкций наружного ограждения с вертикальным озеленением; проведены теплотехнические исследования ограждающих конструкций, определен наибольший охлаждающий эффект от озеленения фасадов и установлены показатели качества архитектурной среды проектируемого здания. Решение поставленных научно-технических задач, направленных на повышения энергоэффективности и архитектурной выразительности здания с помощью проектирования вертикального озеленения фасадов в районах жаркого климата, составляет научную новизну.

*Объектом исследования* выступают различные варианты озеленения фасадных систем для здания велотрека в г. Евпатория, Республика Крым. *Предметом исследования* являются теплотехнические параметры конструктивных решений наружных стен здания и квалиметрическая оценка качества архитектурной среды.

*Методология исследований* носит комплексный характер и включает в себя изучение нормативной документации и научных трудов ученых по проблемам обеспечения теплоустойчивости ограждающих конструкций, применение метода моделирования микроклимата в городской среде с помощью специальной компьютерной программы.

Для оценки влияния вертикального озеленения фасадов зданий на микроклимат помещений пользовались программным комплексом Envi-met. В настоящее время данная программа пользуется наибольшим спросом при моделировании озеленения фасадов [12]. Расчеты производятся на основе усредненного Осборном Рейнольдсом уравнения Новье – Стокса (усредненного по времени уравнения для движения потока жидкости).

Исследования показали, что модельный инструмент точен для моделирования ветрового потока, рассеивания загрязнителей городского микроклимата, турбулентности и потоков радиации [13–14].

#### Эксперимент

Для анализа влияния вертикального озеленения фасадов здания на температуру внутри помещений запроектировано здание велотрека, расположенное в г. Евпатории, Республика Крым.

Климатические характеристики региона строительства велотрека представлены в таблице 1.

Таблица 1

Климатические характеристики рассматриваемого региона

Климатическая характеристика	Значение	Ссылка на значение по СП 131.13330
Географические координаты	широта 45°12 с. ш., долгота 33°21 в. д.	-
Высота над уровнем моря	11 м	-
Среднегодовая температура	11 °С	табл. 5.1
Средняя макс. температура наиболее теплого месяца	27,7 °С	табл. 4.1; к. 5
Абсолютная макс. температура воздуха	38 °С	табл. 4.1; к. 6
Преобладающее направление ветра за апрель – октябрь	в	табл. 4.1; к. 12
Средняя скорость ветра за апрель – октябрь	3,9 м/с	табл. 4.1; к. 13
Количество осадков за апрель – октябрь	119 мм	табл. 4.1; к. 11
Средняя амплитуда температур наиболее теплого месяца	11,7 °С	табл. 4.1; к. 7
Макс. амплитуда температур наиболее теплого месяца	21,1 °С	табл. 6.1
Среднегодовая относительная влажность	63 % – наиболее жаркие месяцы, 84 % – наиболее холодные месяцы	табл. 4.1, табл. 3.1; к. 15
Солнечное излучение	максимум – 915 Вт·ч/м <sup>2</sup> , минимум – 198 Вт·ч/м <sup>2</sup>	табл. 8.1

Для оценки влияния вертикального озеленения фасадов здания на температуру внутри помещений была построена аналитическая модель с использованием конструкций стен, изображенных на рисунке 1.

Эксперимент 1 является базовым и представляет собой систему навесного вентилируемого фасада без озеленения. С результатами, полученными в данном эксперименте, сравнивались результаты, полученные в экспериментах 2–4. Эксперимент 2 –

система вертикального озеленения с опорой на фасад. Представляет собой контейнеры с вьющимися растениями, которые формируют озеленение по тросам, закрепленным на фасаде. Эксперимент 3 – модульная система вертикального озеленения. Система имеет воздушный зазор, растения устанавливаются

вертикально в контейнеры с ячейками, заполненными питательной средой. Эксперимент 4 – войлочная система вертикального озеленения. Данная система имеет постоянное увлажнение, так как питательные вещества передаются через систему орошения.

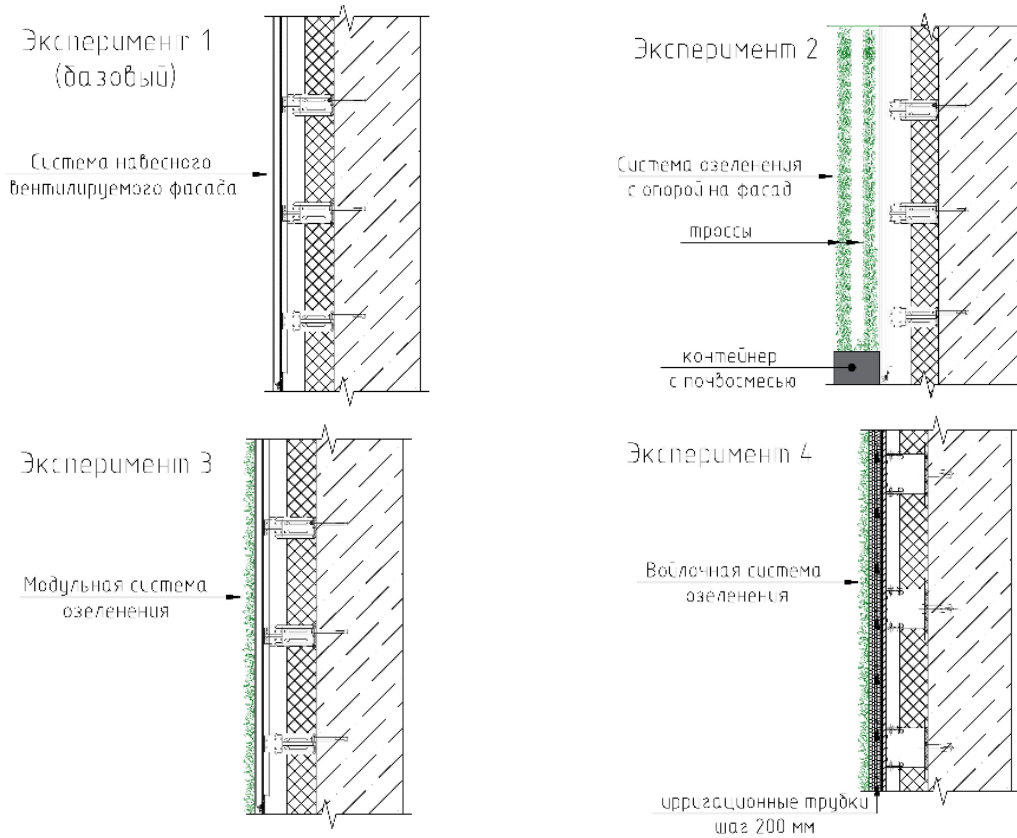


Рис. 1. Исследуемые варианты конструкции наружных стен: 1 – НФС; 2 – система с опорой на фасад; 3 – модульная система; 4 – войлочная система

В программе Envi-met задаем параметры моделирования: месторасположение, географические координаты, период моделирования. Таким образом, после задания основных параметров,

можно оценить расположение солнца, его ход (рис. 2), а также количество излучения в заданный период года (рис. 3).

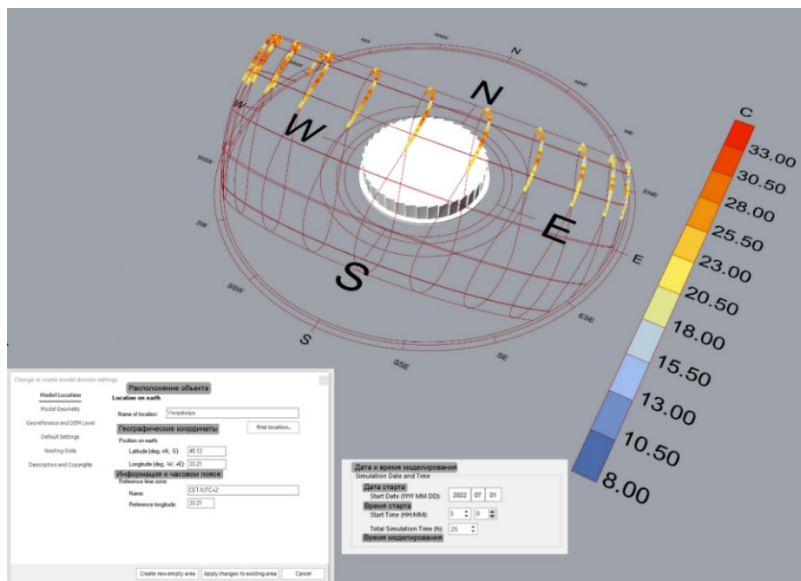


Рис. 2. Движение солнца в заданный период времени. Температура воздуха, °C

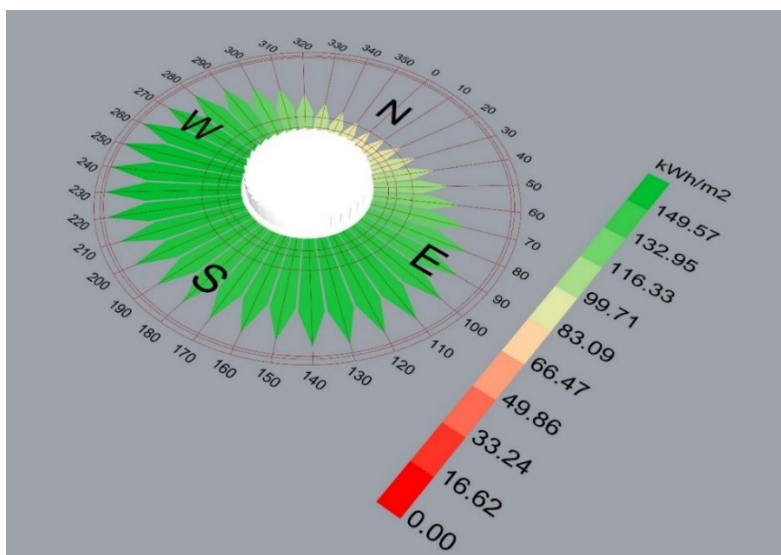


Рис. 3. Суммарная солнечная радиация за расчетный период, кВт·ч/м<sup>2</sup>

Аналитическая модель здания умышленно выполнена без остекления, так как целью данного расчета являлась оценка воздействия вертикального озеленения фасада на температуру помещений внутри здания. В случае выполнения остекления результат исследования может отличаться. Он будет направлен на оценку энергоэффективности здания в целом.

#### Анализ результатов

Для исследования выбран следующий период: 24 часа – с 6:00 1 июля до 7:00 2 июля. Отделка фасада сплошная. Из-за особенностей движения Земли вокруг Солнца оценивался юго-западный фасад в самое жаркое время суток в 14:00 часов. В результате моделирования получена температура фасадов для экспериментов 1–4.

В эксперименте 1 (базовом) максимальная температура фасада равна 47,24 °С. Для оценки влияния озеленения на здание сравним полученный результат с результатами экспериментов 2–3.

Температура фасада для эксперимента 2 составляет 45,35 °С. Снижение температуры юго-западного фасада при использовании системы вертикального озеленения с опорой на фасад до 1,89 °С; температура северного – до 0,25 °С. Температура фасада для эксперимента 3 составляет 42,67 °С. Снижение температуры в случае использования модульной системы озеленения для юго-западного фасада до 4,57 °С; для северного – до 0,66 °С. Температура фасада для эксперимента 4 – 37,23 °С. Снижение температуры в случае использования модульной системы озеленения для юго-западного фасада составляет 10,01 °С; для северного – 1,05 °С.

Полученные значения температуры внешней поверхности фасадов представлены на рисунке 4.

На рисунке 5 изображен график изменения температуры внутренней поверхности стен для экспериментов 1–4.

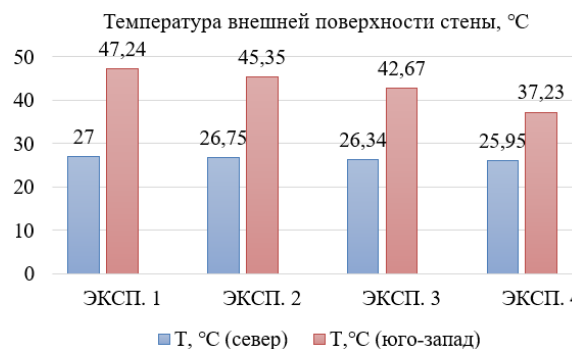


Рис. 4. Температура внешней поверхности по всем вариантам исполнения стен в течение дня

В 23:00 температура внутренней поверхности стен достигает своих пиковых значений. В эксперименте 1 температура поверхности в помещении постепенно повышалась с 20,3 °С в 6 утра до максимальной отметки в 30,9 °С в 23:00, после чего постепенно начинала снижаться. Наилучшие показатели по охлаждению показал эксперимент 4 (войлочная система зеленой стены). По сравнению с базовым вариантом, пиковая температура данной стены на 3,9 °С меньше, разница между базовым вариантом и экспериментом 3 (модульная система озеленения) – 3,4 °С, а эксперимент 2 (система озеленения с опорой на фасад) холоднее на 1,9 °С.

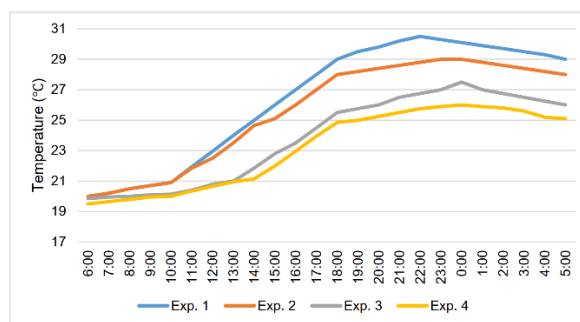


Рис. 5. Внутренняя температура в течении дня для всех экспериментов



Кроме того, была выполнена оценка качества архитектурной среды на основе методики, описанной в проведенных ранее исследованиях [15–17].

Квалиметрическая оценка – это методика анализа объекта строительства и окружающей среды, представленная в форме иерархической структуры. Заключается в том, чтобы объект оценивался независимой группой экспертов по ряду показателей, характеризующих сочетание здания с окружающей средой. Классификация сочетания по результатам оценки представлена в таблице 2. Дерево свойств и вычисление значений ярусных коэффициентов весомости  $G_i$  приведено на рисунке 6. Оценка качества архитектурной среды здания велотрека в г. Евпатории для базового варианта и варианта с озеленением дана в таблицах 3–4.

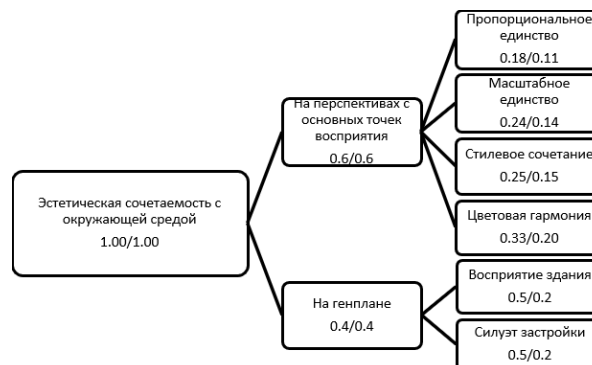


Рис. 6. Дерево свойств и вычисление значений ярусных коэффициентов весомости  $G_i$

Таблица 2

Класс	Характеристика	Результат оценки качества архитектуры, %	Рекомендуемые мероприятия
1	Эталонная совместимость архитектуры	90–100	Экономическое стимулирование (софинансирование, выгодные условия кредитования, налоговые льготы)
2	Гармоничное сочетание здания с окружающей застройкой	80–90	Экономическое стимулирование (налоговые льготы)
3	Удовлетворительный уровень сочетания	70–80	Мероприятия не разрабатываются
4	Дисгармония застройки	50–70	Требуется доработка архитектурно-градостроительного решения
5	Неприемлемое сочетание здания с окружающей средой	Менее 50	Переработка проекта

Таблица 3

Коэффициент весомости, $G_i$	Абсолютный показатель свойства			Относительный показатель свойства $k_i$	$k_i \cdot G_i$
	Браковочное значение, $q^{бр}$	Эталонное значение, $q^{эм}$	$q_i$		
0,11	0	100	80	0,8	0,088
0,14			78,57	0,7857	0,1099
0,15			84,29	0,8429	0,1264
0,20			80	0,8	0,160
0,20			88,90	0,8890	0,1778
0,20			92,86	0,9286	0,1857
$K = \sum k_i \cdot G_i$					0,8478

Таблица 4

Коэффициент весомости, $G_i$	Абсолютный показатель свойства			Относительный показатель свойства $k_i$	$k_i \cdot G_i$
	Браковочное значение, $q^{бр}$	Эталонное значение, $q^{эм}$	$q_i$		
0,18	0	100	85,71	0,8571	0,1543
0,13			80	0,8	0,1040
0,20			88,57	0,8857	0,1771
0,15			87,14	0,8714	0,1307
0,20			88,90	0,8890	0,1778
0,19			92,86	0,9286	0,1764
$K = \sum k_i \cdot G_i$					0,9203

По итогам оценки было установлено, что коэффициент качества базового фасада составляет 85 % ( $K = 0,8478$ ), для фасада с озеленением – 92 % ( $K = 0,9203$ ). По мнению экспертной группы, фасад с озеленением является наиболее визуально привлекательным и гармонично вписывается в окружающую застройку.

### Выводы

Результаты моделирования в программном комплексе Envi-met показали, что правильно подобранная система вертикального озеленения фасадов зданий способна снизить температуру воздуха внутри помещений на 1–3 °С. Для того, чтобы озеленение имело максимальный охлаждающий

эффект, важно учитывать ориентацию фасада по сторонам света. На северном фасаде охлаждающий эффект от использования систем вертикального озеленения составлял 0,25–1,05 °С, по сравнению с базовым вариантом отделки фасада. Тогда как на юго-западном фасаде имел температуру 1,89–10,01 °С. Кроме того, системы вертикального озеленения защищают наружную стену от высоких температурных перепадов и тем самым повышают срок эксплуатации материалов.

Предпочтительный вариант вертикального озеленения – это войлочная система. Разница температур внешней и внутренней поверхностей стены, по сравнению с базовым вариантом, составила 10,01 °С и 3,9 °С соответственно, мо-

дульной системы – 4,57 °С и 1,4 °С, системы вертикального озеленения с опорой на фасад – 1,89 °С и 1,9 °С. Такие значения получились благодаря технологии орошения данной системы.

Вертикальное озеленение не только оказывает охлаждающий эффект на фасад, защищает от климатического воздействия, но и является визуально привлекательным решением, что подтверждается оценкой качества архитектурной среды.

Данные, полученные в ходе исследования, могут использоваться при проектировании и строительстве новых энергоэффективных объектов, как метод достижения эффективной теплоустойчивости ограждающих конструкций с заданными параметрами теплового режима помещений в летних условиях эксплуатации.

#### Список литературы

1. Захарова О. А. Развитие концепции вертикального озеленения / О. А. Захарова, Э. Е. Семенова // Проектирование и строительство : сборник научных трудов 5-й Международной научно-практической конференции. – Курск, 2021. – С. 45–48.
2. Энергоэффективные здания / А. Н. Дмитриев, И. Н. Ковалев, Ю. А. Табунщиков, Н. В. Шилкин – Москва : АВОК-ПРЕСС, 2003.
3. Гойкалов А. Н. Исследование эффективности систем вертикального озеленения зданий в южных регионах России / А. Н. Гойкалов, П. И. Толмасова, А. Д. Харитонова // Инженерные системы и сооружения. – 2022. – № 4 (50). – С. 8–17.
4. Руководство по оценке эффективности инвестиций в энергосберегающие мероприятия / А. Н. Дмитриев, И. Н. Ковалев, Ю. А. Табунщиков, Н. В. Шилкин. – Москва : АВОК-ПРЕСС, 2005. – 120 с.
5. Новиков М. В. Влияние материала кладки наружных стен на тепловые потери малоэтажного жилого дома / М. В. Новиков, А. Е. Вороновский // Инженерные системы и сооружения. – 2020. – № 3–4 (41–42). – С. 43–49.
6. Валуик А. Е. Исследование теплоизоляционных элементов общественного здания с помощью полнофакторного эксперимента / А. Е. Валуик, М. В. Новиков, Е. А. Пуликова // Инженерные системы и сооружения. – 2020. – № 3–4 (41–42). – С. 50–57.
7. Tkachuk A. Two-Dimensional Temperature Fields of Variants Design of a Double-Skin Facade Structure / A. Tkachuk, E. Umerenkova, A. Goikalov, M. Novikov // Modern Problems in Construction. Lecture Notes in Civil Engineering. – 2023. – Vol. 287. – Pp. 255–269.
8. Hoyano A. Climatological Uses of Plants for Solar Control and the Effects on the Thermal Environment of a Building. / A. Hoyano // Energy and Buildings. – 1988. – Vol. 11. – Pp. 181–199.
9. Di H. F. Cooling Effect of Ivy on a Wall. / H. F. Di, D. N. Wang // Experimental Heat Transfer. – Vol. 12. – 1999. – Pp. 235–245.
10. Evmorfopoulou E. A. Experimental Approach to the Contribution of Paint Covered Walls to the Thermal Behavior of Building Envelopes / E. A. Evmorfopoulou, K. J. Kontoleon // Building and Environment. – Vol. 44 (5). – 2009. – Pp. 1024–1038.
11. Wong N. H. Thermal Evaluation of Vertical Greenery Systems for Building Walls / N. H. Wong, et al. // Building and Environment. – 2010. – Vol. 44 (3). – Pp. 663–672.
12. Huttner S. Further Development and Application of the 3D Microclimate Simulation Envi-Met / S. Huttner. – Mainz University : Mainz, Germany, 2012.
13. Yang X. Evaluation of a microclimate model for predicting the thermal behavior of different ground surfaces / X. Yang, L. Zhao, M. Bruse, Q. Meng // Building Environment. – Vol. 60. – 2013. – Pp. 93–104.
14. Lahme E. Microclimatic effects of a small urban park in densely built-up areas: Measurements and model simulations / E. Lahme, M. Bruse // In Proceedings of the 5th International Conference on Urban Climate, Lodz, Poland, 1–5 September 2003. – Poland, 2003.
15. Ткачук, А. Э. Проектирование двойного фасада в архитектуре зданий арктических регионов / А. Э. Ткачук, А. Н. Гойкалов, М. В. Новиков // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2022. – № 3 (41). – С. 87–92.
16. Новиков М. В. Несущая способность комплексных конструкций из ячеистых бетонов / М. В. Новиков, О. А. Сотникова, А. Н. Гойкалов // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2021. – № 2 (36). – С. 5–10.
17. Гойкалов А. Н. Разработка метода оценки качества архитектурно-исторической среды / А. Н. Гойкалов, Т. В. Макарова, А. Ю. Семенихина // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2022. – № 1 (39). – С. 73–79.
18. Семенихина А. Ю. Способ регулирования визуального сочетания зданий в исторической застройке / А. Ю. Семенихина, О. А. Сотникова, А. Н. Гойкалов, Т. В. Макарова // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. – 2022. – № 3 (22). – С. 84–93.
19. Ткачук А. Э. Метод оценки характеристик архитектурного освещения зданий / А. Э. Ткачук, О. А. Сотникова, А. Н. Гойкалов // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2021. – № 2 (36). – С. 47–53.

© П. И. Толмасова, А. Н. Гойкалов, М. В. Новиков

#### Ссылка для цитирования:

Толмасова П. И., Гойкалов А. Н., Новиков М. В. Оценка влияния вертикального озеленения фасадов на энергоэффективность зданий // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГАОУ АО ВО «АГАСУ», 2023. № 3 (45). С. 5–10.