



ПОВЫШЕНИЕ ЭКОЛОГИЧНОСТИ ГОРОДОВ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВЛАГОЙ РАСТЕНИЙ, ИНТЕГРИРОВАННЫХ В СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: зеленый маяк, строительная конструкция, капиллярное всасывание, системный междисциплинарный подход, биомиметика

С. В. Корниенко, доктор техн. наук, советник РААСН, ведущий научный сотрудник НИЦ ГП ФГБУ «ЦНИИП Минстроя России», заведующий кафедрой «Архитектура зданий и сооружений» ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет»

Проблема повышения экологического качества городов привлекает все большее внимание специалистов. Усилия ученых направлены на поиск новых решений, призванных создавать целостные системы, формирующие зеленую инфраструктуру городов. Важной практической задачей является создание биопозитивных материалов и строительных конструкций. В таких конструкциях, основанных на применении принципов биомиметики, максимально раскрываются идеи, заложенные природой. Предлагаем системный междисциплинарный подход для реализации комплекса мероприятий по повышению доступности влаги для растений, интегрированных в строительные конструкции.

При интеграции растительности в строительные конструкции требуется решение задачи обеспечения растений водой. Предлагаем системный междисциплинарный подход для реализации комплекса мероприятий по повышению доступности влаги для растений, интегрированных в строительные конструкции.

Зеленые маяки

Интеграция природных решений в городской ландшафт повышает устойчивость городов [1–4]. В частности, зеленые стены могут обеспечить ряд преимуществ, включая улучшение качества воздуха, расширение биоразнообразия, высо-

кое качество акустического и теплового комфорта [5–7]. Материалы, поддерживающие естественное биоразнообразие, снижают негативное воздействие человека на природу, уменьшая углеродный след, что особенно важно в условиях глобального изменения климата [8–10]. Зеленое строительство способствует повышению физического и психологического здоровья горожан [11, 12].

Проблема повышения экологического качества городов привлекает все большее внимание. Одним из ее решений является озеленение каменных причальных стен при их реконструкции [13]. Контакт причальных стен с водой создает благоприятную среду для роста растений. Во многих случаях непосредственному воздействию влаги подвержен лишь облицовочный слой конструкций, выполняющий в основном эстетическую функцию, а следовательно, не затрагивающий несущую функцию стены.

Другим направлением является поиск новых материалов с заданными свойствами. В строительстве и архитектуре особенно актуален биомиметический подход, основанный на изучении природоподобных решений [14]. Например, реализация биомиметического подхода позволила получить бетонный композит, армированный сухой растительной добавкой, с повышенными эксплуатационными свойствами [15]. Создание биорецептивных материалов, способствующих росту биопленок на их поверхностях, дополняет обычные зеленые фасады [16]. Биомиметика – основа создания кинетических фасадов [17].

#терминология

Биорецептивность определяется как «способность материала колонизироваться живыми организмами». Данное понятие впервые предложил в 1995 году О. Гильмит в своей статье «Биорецептивность: новая концепция исследований в области экологии зданий», опубликованной в журнале «Наука. Общая окружающая среда». Этот новый термин в экологии используется для обсуждения вариантов полезного применения строительных материалов в экологических целях.

Наконец, биопозитивные строительные конструкции являются своеобразными зелеными маяками, формирующими зеленую инфраструктуру города (рис. 1). Рассмотрим некоторые особенности капиллярного всасывания воды пористыми материалами.

Капиллярное всасывание

Капиллярное всасывание – свойство материала поглощать воду под действием капиллярных сил.

При исследовании процесса капиллярного всасывания следует различать модель материала (*in vitro*) и реальный материал (*in vivo*).

Удобно принять модель капиллярно-пористого материала в виде пучка параллельных капилляров различного радиуса. Реальные строительные материалы имеют другую структуру, однако в них можно выделить цепочки сообщающихся друг с другом пор различных размеров. Такие цепочки можно



Рис. 1. Озеленение северо-восточного фасада многоквартирного жилого дома в г. Волгограде. По классификации Корпен тип климата – Dfa

рассматривать как капилляры. Движение воды по цепочке пор возможно представить как движение по капилляру с некоторым эквивалентным радиусом.

Капиллярное всасывание происходит в мелких капиллярах со смачивающими поверхностями и вызвано поверхностным натяжением жидкости. Так, вода поднимается выше по стеклянной капиллярной трубке меньшего радиуса, следовательно, механизм капиллярного всасывания более выражен в системах с мелкими капиллярами (рис. 2).

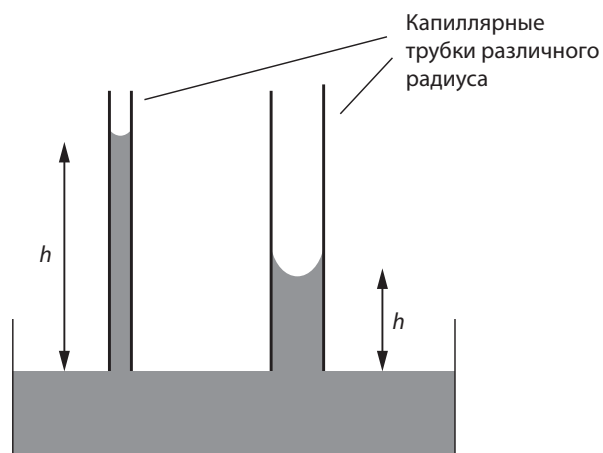


Рис. 2. Подъем воды в капиллярах

Формулы

| Номер формулы в тексте | Формула |
|------------------------|---------------------------------|
| (1) | $p = \frac{2s \cos \theta}{r}$ |
| (2) | $P = \rho gh$ |
| (3) | $h_{\max} = \frac{2s}{\rho gr}$ |

Обозначения в формулах

P – давление жидкости, Па
 s – поверхностное натяжение воды ($s = 0,073$ Н/м)
 θ – краевой угол смачивания поверхности, град.
 r – радиус капилляра, м
 ρ – плотность воды, кг/м³
 g – ускорение свободного падения ($g \approx 9,81$ м/с²)
 h – высота столба жидкости в капилляре, м

Расчет высоты подъема жидкости в капилляре

Капиллярное всасывание создает давление, которое можно рассчитать по формуле (1) (см. Формулы). Давление жидкости в капилляре получаем из формулы (2). Приравняв правые части формул (1) и (2), получим формулу (3), из которой найдем максимальную высоту столба воды в полностью смачиваемом капилляре ($\theta = 0^\circ$). Используя формулу (3), можно рассчитать высоту подъема жидкости в капилляре по известным характеристикам пористой структуры материала.

Результаты расчета характеристик пористой структуры глиняного полнотелого кирпича плотностью 1700 кг/м³ и бетона (2170 кг/м³), полученных по изотермам капиллярного испарения [18], представлены на рис. 3. Из него видно, что основной объем пор в рассматриваемых материалах приходится на диапазон от $5,49 \cdot 10^{-8}$ до $2,72 \cdot 10^{-7}$ м (от 55 до 272 нм). Средний радиус пор равен $1,39 \cdot 10^{-7}$ м (139 нм). Согласно формуле (3), максимальная высота столба воды в капилляре равна 107 м. Следовательно, вода должна подняться в кирпичной или бетонной стенке на указанную высоту. Однако в действительности этого не происходит.



Рис. 4. Среднесуточная интенсивность капиллярного всасывания материалов, кг/(м²·сут.), в течение 10 суток с момента наблюдений

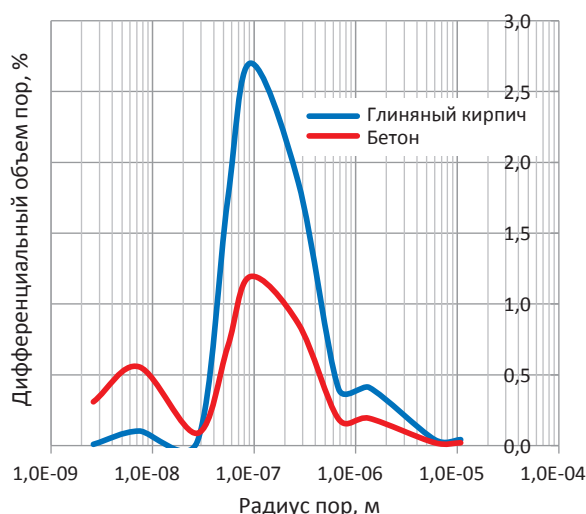


Рис. 3. Распределение дифференциального объема пор по их радиусам

Причины отличия высоты подъема жидкости в реальных строительных материалах от расчетных результатов

Влага в порах материалов перемещается очень медленно. Согласно результатам экспериментальных наблюдений, за первые сутки в глиняном кирпиче вода поднимается лишь на 93 мм, а в бетоне – на 8 мм. За 10 суток от начала капиллярного всасывания вода в кирпиче поднимется на 325 мм, а в бетоне – на 30 мм (рис. 4).

Главная причина расхождения результатов, полученных для реальных и модельных материалов, заключается в гетерогенной структуре пор. Сечение поры по высоте неодинаково. Вода будет всасываться через горловину поры до тех пор, пока не достигнет сечения, где радиус поры значительно больше (рис. 5). В этом сечении капиллярное давление существенно меньше, поэтому капиллярный подъем воды прекратится.

Наблюдения за озеленением строительных конструкций in situ показывают, что растения активно развиваются в нижней зоне конструкций (рис. 6). Это можно объяснить капиллярным всасыванием грунтовой влаги. Здесь влага максимально доступна для растений. По мере удаления от поверхности земли интенсивность капиллярного всасывания постепенно снижается, что способствует замедлению роста растений. Минимальную активность имеют растения, расположенные в верхней зоне, что обусловлено ограничением доступности капиллярной влаги.

Рассмотренные особенности капиллярного всасывания воды пористыми материалами позволяют сформулировать предложения по повышению доступности влаги для растений, интегрированных в строительные конструкции.

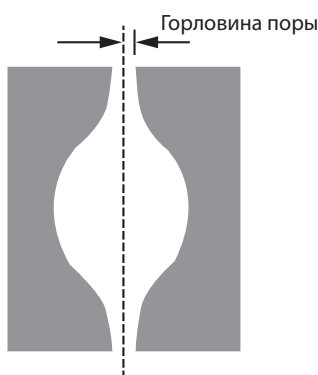


Рис. 5. Гетерогенная структура пор

Системный междисциплинарный подход

С целью создания благоприятной температурно-влажностной среды для растений, интегрированных в строительные конструкции, предлагаем системный междисциплинарный подход.

Моделирование шероховатости поверхности

Это свойство непосредственно связано с биорецептивностью, поскольку увеличивает доступную площадь поверхности и тем самым обеспечивает адгезию микроорганизмов, питательных веществ и воды. Для образования биопленки шероховатость поверхности должна быть немного больше размера клеток рассматриваемых организмов [11].



Рис. 6. Озеленение юго-западного фасада кирпичного столба в г. Волгограде. По классификации Коррен тип климата – Dfa

Создание требуемой пористой структуры материала

Обычно следует избегать высокой пористости, поскольку это снижает прочность на сжатие материала и его морозостойкость. Капиллярные поры оказывают наибольшее влияние на рост растений, поскольку они контролируют перенос пара и жидкости через материал и обеспечивают растения водой [19].

Регулирование связности пор

Закрытые поры инертны по отношению к влаге. Связанные друг с другом капилляры создают сеть капиллярных пор, что способствует переносу парообразной и жидкой фаз влаги вглубь материала и является решающим фактором для поглощения и удерживания воды, а также сушки материалов. Следует также учитывать особенности увлажнения материалов строительных конструкций косыми дождями [20].

Регулирование смачиваемости поверхностей

Обычно краевой угол смачиваемости варьируется от 10° для гидрофильных поверхностей до 150° для гидрофобных поверхностей. Особенно интересны пограничные состояния при краевых углах смачивания менее 10° и более 150° . В гидрофильных материалах площадь контактирующей влаги с материалом больше, чем в гидрофобных. Отсюда следует, что в гидрофобных материалах вода не способна проникать в материал и скатывается в виде капель, например при образовании росы.

Повышение роли биомиметики

Имитация биологических структур открывает широкие возможности создания новых материалов с заданными свойствами. Например, листья лотоса (lotus effect) демонстрируют различные комбинации макро- и микроструктуры, что позволяет создать супергидрофобную поверхность с краевым углом смачивания более 150° [11]. В результате растение самоочищается, так как капли воды сразу стекают, унося с собой загрязняющие вещества. Другим подходом при проектировании новых биорецептивных материалов является создание гетерогенных гидрофобно-адгезионных поверхностных структур, содержащих нано- и микропоры [11]. Такие структуры, основанные на эффекте лепестка (petal effect), увеличивают продолжительность пребывания жидкой фазы влаги на поверхности за счет «приклеивания» капель к ней.

Таким образом, рассмотренный в статье системный междисциплинарный подход кроме чисто познавательного имеет большое практическое значение. Он может быть положен в основу создания новых материалов с заданными свойствами, позволяющими повысить доступность влаги для растений на строительных конструкциях.

Литература

1. Есаулов Г. В. Экологически ориентированная архитектура высоких технологий // АВОК. 2022. № 7. С. 4–13.
2. Табунщиков Ю. А. Экология среды обитания человека: реальность, которую игнорировать бесконечно опасно // АВОК. 2023. № 3. С. 4–15.
3. Бродяч М. М., Шилкин Н. В. Глобальные цели устойчивого развития и экологические требования к объектам недвижимости // Энергосбережение. 2022. № 6. С. 1–13.

«РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ ИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ ДОШКОЛЬНЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ»

4. Бродач М. М., Шилкин Н. В. Стратегия устойчивого развития – основа создания здоровой среды обитания // Энергосбережение. 2021. № 4. С. 1–11.

5. Бродач М. М., Шилкин Н. В. Зеленые здания – требования устойчивого развития. Российские рейтинговые системы оценки соответствия здания критериям зеленого строительства // АВОК. 2024. № 2. С. 48–53.

6. Корниенко С. В. Город как единая акустическая система // Энергосбережение. 2024. № 1. С. 32–35.

7. Корниенко С. В. Зеленая реконструкция зданий первых массовых серий // Энергосбережение. 2024. № 6. С. 20–27.

8. Gorshkov A. S., Vatin N. I., Rymkevich P. P. Climate change and the thermal island effect in the million-plus city // Construction of Unique Buildings and Structures. 2020. № 4 (89). P. 8902.

9. Варламов Н. В., Горшков А. С., Жирнов А. Е., Парашенко Н. А., Лезер А. Ю. Градусо-сутки отопительного и охлаждающего периодов для климатических условий города Москвы // Сантехника, Отопление, Кондиционирование. 2024. № 4 (268). С. 54–59.

10. Мильков Д. А., Юферев Ю. В., Тютюнников А. И., Горшков А. С. Изменение климата и его влияние на инженерно-энергетический комплекс (на примере Санкт-Петербурга) // Теплоэнергетика. 2023. № 3. С. 87–96.

11. Бродач М. М., Шилкин Н. В. От зеленых зданий – к здоровым зданиям: в фокусе внимания здоровье и благополучие людей // Энергосбережение. 2020. № 7. С. 26–31.

12. Корниенко С. В. Энергоэффективность, экологическая безопасность, экономическая эффективность – приоритетные задачи «зеленого» строительства // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2017. № 49 (68). С. 167–177.

13. Mulder K., Lubelli B., Dijkhuis E. Factors favouring vegetation in quay masonry walls: A pilot field study // Building and Environment. 2023. Vol. 233. P. 110090.

14. Корниенко С. В. Биомиметика: идеи, вдохновленные природой // Социология города. 2021. № 4. С. 27–38.

15. Мусорина Т. А., Петриченко М. Р., Заборова Д. Д., Гамаюнова О. С., Куколев М. И. Улучшение свойств бетонного композита, армированного сухой растительной добавкой // Строительство и техногенная безопасность. 2021. № 22 (74). С. 57–65.

16. Stohl L., Manninger T., Von Werder J., Dehn F., Gorbushina A., Meng B. Bioreceptivity of concrete: A review // Journal of Building Engineering. 2023. № 76. P. 107201.

17. Korniyenko S. V. Progressive trend in adaptive façade system technology. A review // AlfaBuild. 2021. № 4 (19). P. 1902.

18. Перехоженцев А. Г. Вопросы теории и расчета влажностного состояния неоднородных участков ограждающих конструкций зданий. Волгоград: ВолгГАСА, 1997. 273 с.

19. Корниенко С. В. Характеристики состояния влаги в материалах ограждающих конструкций зданий // Строительные материалы. 2007. № 4. С. 74–78.

20. D'Ayala D., Aktas Y. D. Moisture dynamics in the masonry fabric of historic buildings subjected to wind-driven rain and flooding // Building and Environment. 2016. № 104. Pp. 208–220. ■



«Рекомендации по проектированию инженерных систем дошкольных образовательных организаций» будут содержать правила проектирования инженерных систем в зданиях дошкольных образовательных организаций, которые обусловлены:

- санитарно-гигиеническими особенностями воздушной среды помещений: наличием в воздухе двуокси углерода (CO₂), а также инфекций различного происхождения, что определяется особенностью планировочных решений и скученностью большого количества детей в ограниченных объемах помещений;
- наличием газового и теплового дискомфорта и частых вспышек заболеваемости среди детей и персонала, связанных с тем, что основным путем передачи инфекции является воздушная среда;
- особенностями контингента маленьких детей с различным соматическим здоровьем и сниженным иммунным статусом.

Целью настоящих рекомендаций является обеспечение условий микроклимата в помещениях дошкольных образовательных организаций (ДОО), способствующих удобству и безопасности пребывания детей дошкольного возраста и взрослых в здании учреждений в течение дня (или более длительного времени), а также повышению качества услуг по их образованию, воспитанию и физическому развитию. Настоящие рекомендации направлены на улучшение здоровья детей, снижение степени их заболеваемости во время вспышек инфекционных заражений.

Стандарт АВОК 7.11-2024 «Рекомендации по проектированию инженерных систем дошкольных образовательных организаций» развивает положения СП 252.1325800.2016 «Здания дошкольных образовательных организаций. Правила проектирования», СП 251.1325800.2016 «Здания общеобразовательных организаций. Правила проектирования» и является дополнением к требованиям действующих нормативных документов по обеспечению микроклимата в помещениях дошкольных образовательных организаций.

Плановая дата выхода – IV квартал 2024 года.

Приглашаем к участию в разработке документа компании, имеющие опыт работы на объектах дошкольных образовательных организаций (s.mironova@abok.ru)