

УДК [691.327:666.973.6].002.611

ВЕРТИКАЛЬНОЕ ОЗЕЛЕНЕНИЕ СЛОЖИВШЕЙСЯ ЗАСТРОЙКИ ГОРОДОВ БЕЛАРУСИ

*канд. техн. наук, доц. О.В. ЛАЗАРЕНКО, канд. техн. наук, доц. А.П. ШВЕДОВ
(Полоцкий государственный университет)*

Рассмотрены задачи зеленого строительства в Республике Беларусь. Отмечены преимущества и недостатки существующих систем для вертикального озеленения фасадов. Установлена возможность применения неавтоклавногo цементного пенобетона для внедрения мохообразных растений в цементную матрицу для естественного прорастания и развития. Определены виды мхов, обеспечивающих устойчивость пенобетона к карбонизации в период эксплуатации. Экспериментально подтверждено, что состав и структура неавтоклавногo ячеистогo пенобетона на основе портландцемента с внедренными спорами мха при смешанном режиме твердения обеспечивают условия для интенсивного прорастания мхов по истечению 2-х недель твердения. Полученный пенобетон может найти применение при строительстве и реконструкции зданий существующей застройки городов для вертикального озеленения фасадов.

Ключевые слова: *зеленое строительство, вертикальное озеленение фасада, преднамеренная интродукция, мох, субстрат, пенобетон, облицовочные плиты.*

Введение. Программа социально-экономического развития Беларуси на 2021–2025 гг. содержит основные направления деятельности строительной отрасли по обеспечению экологичности, здорового образа жизни, комфортности проживания людей путем внедрения принципов зеленого строительства.

Основная задача зеленого строительства – минимальное воздействие застройки на окружающую среду путем применения энерго-, ресурсосберегающих технологий, сокращения отходов, выбросов в окружающую среду. Особое внимание уделено созданию парков, скверов с учетом нормы обеспечения озеленения территорий общего пользования – 8 м² на человека.

Следует отметить, что в направлениях деятельности строительной отрасли зеленое строительство оговорено на стадии разработки градостроительной документации для застройки новых районов.

Внедрение зеленого строительства в сложившиеся районы заложено в проекте «Беларусь: поддержка зеленого градостроительства в малых и средних городах Беларуси» в рамках Программы развития ООН совместно с Министерством природных ресурсов и охраны окружающей среды Беларуси [1]. Программа предусматривает действия по трем направлениям: усиление центров и развитие самодостаточных районов, мобильность без личных авто, создание энергоэффективной инженерной инфраструктуры.

Обеспечение озеленения путем разбивки новых парков усложняется отсутствием свободных территорий в существующих застройках микрорайонов городов Беларуси, где среднее значение отношения площади зеленых насаждений к общей площади города, составлял 20–22% при нормативе 40–50% [2]. Решение задач зеленого строительства в части озеленения территорий существующей застройки возможно путем вертикального озеленения фасадов зданий.

Наружное озеленение зданий растениями используют многие столетия: от висячих садов Семирамиды до современных систем локального или сплошного вертикального озеленения фасадов [3].

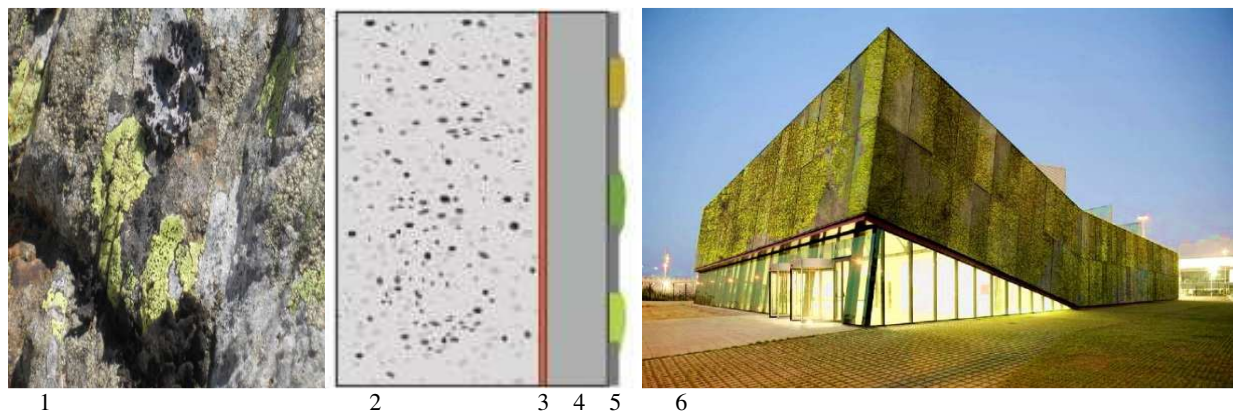
Основная функция локального озеленения – декорирование поверхности. Сплошное озеленение позволяет сократить расходы на отопление (кондиционирование) зданий, обеспечивает комфортный микроклимат внутри здания за счет сохранения влажности воздуха и переработки растениями углекислого газа в кислород [4; 5].

Исходя из метода выращивания растений, современные системы вертикального озеленения фасадов можно разделить на три группы. К первой относятся системы, в которых растения выращивают в почвенном субстрате. Модули, контейнеры с растениями крепят к опорным элементам в виде канатов, планок, сеток, прикрепленных к поверхности фасада [6; 7].

Ко второй относятся системы для беспочвенного (гидропонного) выращивания растений в слоях органического войлока или слое неорганического пористого материала многослойных навесных фасадных панелей [8; 9]. Системы первых двух групп требуют установки оборудования для дренажа и полива растений.

К третьей группе относятся системы с естественной колонизацией и прорастанием неприхотливых растений в минеральном субстрате, расположенном в облицовочных минеральных панелях [10; 11]. Панели имеют четыре слоя: гидроизоляция, несущий слой, слой субстрата – «биологический» бетон, наружный слой для поглощения и удерживания атмосферной влаги (рисунок 1) [10]. Метод обеспечивает развитие и рост растений без полива.

В Беларуси вертикальное озеленение не применяют вследствие разных причин: большинство систем предназначены для выращивания теплолюбивых растений, имеют высокую стоимость оборудования и энергозатрат в период эксплуатации; основным вяжущим для получения «биологического» бетона является фосфатно-магнийсодержащий цемент, который в Беларуси не производят, в России его выпускают для нужд стоматологии. Стоимость 1 т импортруемого цемента составляет 300–1000 долл.



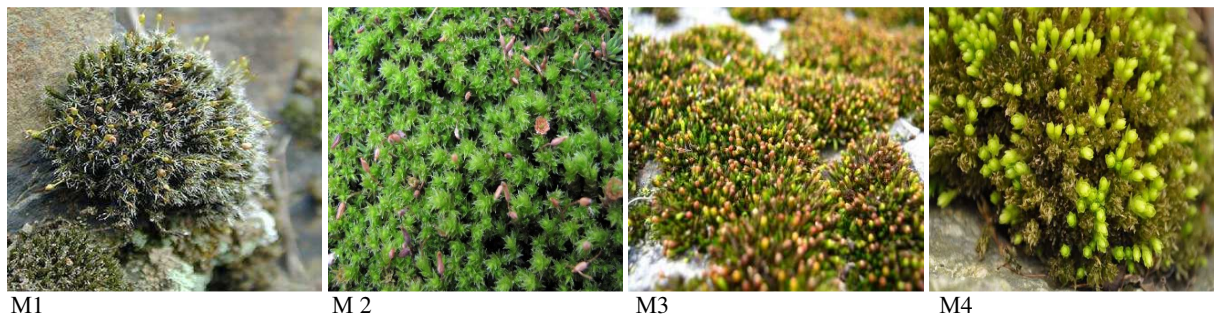
1 – микроструктура субстрата для мха; 2 – несущий слой; 3 – гидроизоляция;
4 – слой субстрата для мха; 5 – проросший мох;
6 – облицовка многослойными панелями стен культурного центра, Барселона, Испания.

Рисунок 1. – Навесная многослойная панель

Целью данного исследования является разработка изделия для вертикального озеленения фасада для климатических условий Республики Беларусь с минимальными материальными и энергетическими затратами.

Основная часть. Предпосылками получения изделия для вертикального озеленения фасада являются исследования по преднамеренной интродукции (переселению) простейших растений: мхов, водорослей, в искусственный пористый минеральный субстрат для дальнейшего развития [9–11].

При анализе видов мохообразных растений, произрастающих в Беларуси, были выделены мхи семейства кальцефилов благодаря их биологическим характеристикам: размножение спорами с сохранением жизнеспособности до сотни лет в карбонизированных природных средах, близких по составу цементным бетонам, без питательных веществ; устойчивость к высокой, низкой температурам, ультрафиолетовому излучению; быстрое поглощение и удержание влаги капиллярами; поглощение и удерживание углекислого газа [12–14]. Распространенными представителями мхов семейства кальцефилов являются Гриммия, Нифотрихум, Схистидий, Андрея (рисунок 2) [12].



М1 – Гриммия; М2 – Нифотрихум; М3 – Схистидий; М4 – Андрея.

Рисунок 2. – Мхи семейства кальцефилов

В качестве вяжущего вещества для получения субстрата был принят портландцемент. Цементный камень субстрата должен иметь пористую макроструктуру, которая обеспечит мху условия для произрастания и развития. Наибольший интерес представляют ячеистые цементные неавтоклавные газо-, пенобетоны, средний размер пор которых колеблется от $(0,5-0,8)10^{-3}$ до $(2-2,2)10^{-3}$ м, поры разделены минеральными перегородками. Пенобетон имеет больший разброс размеров пор, газобетон – более однородный. Оптимальной для произрастания мха является цементная матрица пенобетона: соотношение открытой и закрытой пористостей и распределение пор создадут благоприятные условия для произрастания мхов, обеспечат паропроницаемость и гигроскопичность. При этом стоимость единицы продукции пенобетона в 1,4–1,8 раза ниже, чем газобетона [15]. Принято решение применить в исследованиях неавтоклавный ячеистый пенобетон.

Применяя пенобетон в качестве субстрата для развития мха, необходимо учесть его недостатки. К ним относятся: низкая прочность межпоровых перегородок, карбонизация и карбонизационная усадка цементного камня.

На практике прочность межпоровых перегородок повышают введением в пенобетонную смесь суперпластификаторов и ультрадисперсных наполнителей: микрокремнезема, метакаолина. В нашем случае мох, содер-

жащий макроэлементы Si, Fe и Al и микроэлементы Ti, Sc, La, повысит прочность межпоровых перегородок за счет формирования кремниевого скелета [16].

Проблема карбонизации пенобетона успешно решается с помощью мха. Процесс карбонизации происходит при реакции компонентов цементного камня с углекислым газом CO₂, содержащимся в воздухе, с образованием карбоната кальция (кальцита). Увеличение веса, вызванное карбонизацией, сопровождается карбонизационной усадкой цементного камня, основные минералы разрушаются, снижаются прочностные и деформативные свойства бетона.

Ученые Института химии Макса Планка (Германия), обобщив около 200 исследований, выявили, что мхи и лишайники ежегодно извлекают из атмосферы, связывают и удерживают около 14 млрд т углекислого газа. Наиболее эффективно поглощают углекислый газ мхи и лишайники, произрастающие в лесах умеренного и субтропического поясов [17]. Таким образом, связывание углекислого газа мхом будет препятствовать карбонизации пенобетона.

Установленные возможности применения неавтоклавного пенобетона на основе портландцемента в качестве субстрата для прорастания и развития мхов были подтверждены выполненными исследованиями.

Для изготовления неавтоклавного пенобетона использовались: портландцемент ПЦ 500-Д20 ОАО «Красносельскстройматериалы» с НГЦТ 26,6%; протеиновый пенообразователь Foamix C, кратность пены – 80, стабильность пены – 0,7–2,5 ч в количестве 1,1% от массы портландцемента; мхи (гриммия, нифотрихум, схистидий, андрея), насыпная плотность в сухом состоянии – 1300 кг/м³. Расчет состава пенобетона проводили по методике, разработанной Н.П. Блещиком [18]. Принят одинаковый состав пенобетонной смеси для разных мхов (таблица 1) [19].

Таблица 1. – Состав пенобетонной смеси

Расход составляющих на м ³					
Ц, кг	М, кг	Ц:М	В, л	В/Ц	Раствор пенообразователя, л
140	260	1:2	180	0,78	0,026

Испытания проводились весной с учетом активного спороношения мхов. Мхи четырех видов, с условным обозначением М1–М4 (см. рисунок 2), измельчали до кусочков крупностью 1 мм. Приготовление пенобетонной смеси производили в последовательности: портландцемент, измельченный мох, воду перемешивали в течение 120±10 с до получения однородной смеси, заливали пенообразователь.

Формование образцов проводилась по литьевой технологии в металлических формах с размером ребра 10×10×10 см и размером 4×12×16 см для каждого состава с мхами М1–М4. Твердение образцов проводили в естественных условиях при температуре 20±2 °С и относительной влажности более 90% до достижения 28-суточного возраста и по смешанному режиму: выдерживали формы в естественных условиях в течение 24 ч; ТВО в течение 3-х ч с подъемом температуры со скоростью 5–60 град/ч до 80 °С; извлекали формы; укрывали поверхность полиэтиленовой пленкой; через 3 суток образцы извлекали из форм; продолжали твердение в естественных условиях при температуре 20±2 °С и относительной влажности более 90% до достижения 28-суточного возраста [20]. Результаты испытаний приведены в таблицах 2, 3 [19].

Таблица 2. – Физико-механические свойства пенобетона

Состав	Вид мха	Средняя плотность бетона, кг/м ³	Прочность при сжатии, МПа
М1	Гриммия	398	0,581
М2	Нифотрихум	405	0,590
М3	Схистидий	380	0,510
М4	Андрея	423	0,593

Таблица 3. – Интенсивность прорастания мхов

Состав	Вид мха	Интенсивность прорастания в естественных условиях твердения				Интенсивность прорастания в условиях ТВО			
		7 сут	14 сут	28 сут	42 сут	7 сут	14 сут	28 сут	42 сут
М1	Гриммия	Прорастание не наблюдалось	Прорастание не наблюдалось	Тонкая пленка из мха на поверхности	Прорастание с локальными участками из пленки мха	Тонкая пленка из мха на поверхности	Прорастание с локальными участками из пленки мха	Полное прорастание	
М2	Нифотрихум								
М3	Схистидий								
М4	Андрея			Прорастание не наблюдалось	Тонкая пленка из мха на поверхности	Прорастание не наблюдалось	Тонкая пленка из мха на поверхности	Прорастание с локальными участками из пленки мха	

Установлено, что марка полученного пенобетона по средней плотности – D400, класс по прочности на сжатие – B0,5, что не противоречит требованиям, предъявляемым к материалам для устройства навесных фасадных систем. Осмотр наружной поверхности образцов в возрасте 28 суток показал отсутствие трещин.

Оптимальный режим твердения пенобетона с внедренными мхами семейства кальцефилов – смешанный: сочетание кратковременного ТВО и естественных условий. Подъем температуры обеспечивает усиление спорообразования мхов. Поддерживаемая влажная среда на весь период твердения обеспечивает их прорастание. Разница в интенсивности прорастания мхов связана с их структурой; их всех рассмотренных мхов самое медленное прорастание у мхов семейства андреевых.

Исследование свойств разработанных составов пенобетона с преднамеренной интродукцией мхов, определенный режим твердения предполагают возможность изготовления однослойной облицовочной плиты для вертикального озеленения фасада разных размеров, толщиной до 80 мм с внутренним оштукатуриванием, а также отдельных декоративных элементов различных форм (рисунок 3). Следует отметить, что требуется продолжение исследований в течение не менее полутора лет по изучению структуры изделий, состояния поверхности, интенсивности прорастания и выживаемости мхов.

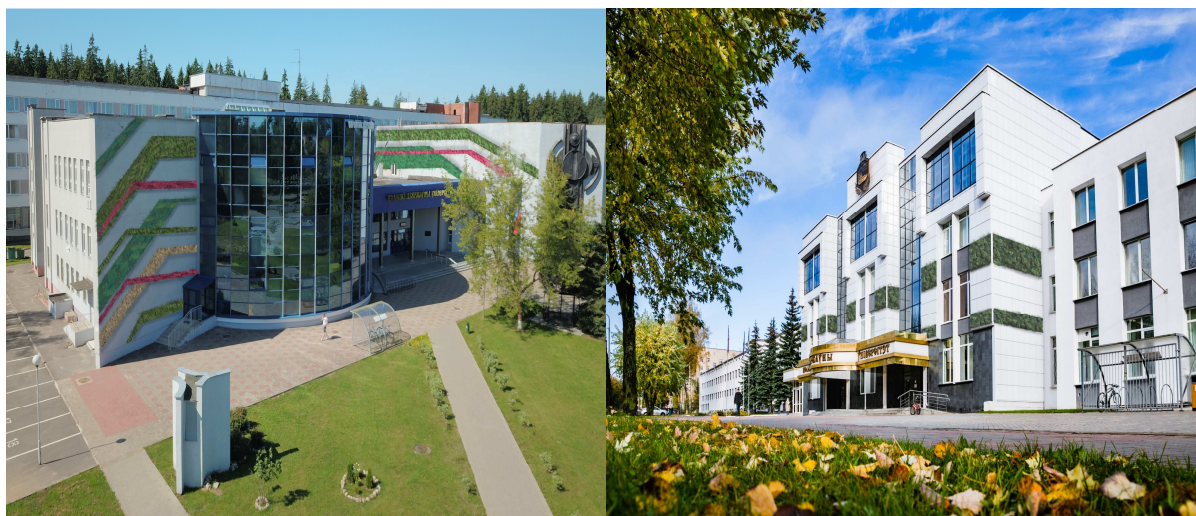


Рисунок 3. – Варианты применение пенобетонных плит для вертикального озеленения

Заключение. Установлена возможность применения неавтоклавного пенобетона с преднамеренной интродукцией мхов для решения задач зеленого строительства в условиях сложившейся застройки в Республике Беларусь. Выявлены свойства мхов семейства кальцефилов, подавляющие карбонизацию пенобетона. Применение представленных видов мхов с разной структурой, размерами листьев позволяют создать облицовочные панели с многообразием цветовой гаммы, придать фасаду строящегося или реконструируемого здания неповторимый, эстетичный, престижный вид. Разработаны составы пенобетона и технологические особенности получения изделий для вертикального озеленения. Выпуск изделий может быть организован на базе предприятия по изготовлению изделий из неавтоклавного пенобетона. Изделия могут быть использованы при строительстве или реконструкции здания в виде сплошной облицовки, отдельных вставок в существующую облицовку в сочетании с теплоизоляцией. Крепление изделий возможно крепежными элементами, используемыми при устройстве традиционных навесных вентилируемых фасадов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Планы зеленого градостроительства и улицы с умным светом – что сделано по проекту ПРООН-ГЭФ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.belta.by/society/view/plany-zelenogo-gradostroitelstva-i-ulitsy-s-umnym-svetom-cto-sdelano-po-proektu-proon-gef-376960-2020/>. – Дата доступа: 01.03.2021.
2. Зеленые зоны. Что творится с «легкими» белорусских городов? [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://aif.by/press-centr/articlp/press/zelenye_zony_cho_tvoritsya_s_legkimi_belorusskih_gorodov_. – Дата доступа: 01.04.2021.
3. Vertical greenery systems (VGS) for energy saving in buildings: a review / G. Perez // Renewable and sustainable energy reviews. – 2014. – P. 139–165.
4. Othman, A. Vertical greening façade as passive approach in sustainable design / A. Othman, N. Sahidin // Procedia – social and behavioral sciences. – 2016. – P. 845–854.
5. Davis, M.J.M. More than just a green façade : vertical gardens as active air conditioning units / M.J.M. Davis, F. Ramirez, M. Perez // Procedia Engineering 145. – 2016. – P. 1250–1257.

6. Wood, A. Green Walls in High-Rise Buildings – НК: Everbest Printing Co Ltd / A. Wood, P. Bahrami, D. Safarik. – 2014. – P. 564–570.
7. Julinor, H. Hydroponic Gardening / H. Julinor // Orbit. – 1976. – P. 12–14.
8. Blanc, Patrick. The Vertical Garden: From Nature to the City 2012 / Patrick Blanc. – В. : W.W. Norton & Company, 2012. – 235 p.
9. Фасадная система со встроенным вертикальным садом SKYFLOR [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://creabeton-baustoff.ch>. – Дата доступа: 10.05.2021.
10. Ellingsen, E. The Vertical Farm / E. Ellingsen // The origin of 21st century Architectural Typology СТБУН Journal. – 2008. – Iss. III. – P. 150–127.
11. Комарова, С. Биологический бетон как современный конструкционный материал / С. Комарова, Н. Шешенев // Новые технологии в учебном процессе и производстве : тез. докл. XVIII междунар. науч.- техн. конф., Рязань, 17–19 апр. 2019 г. – Рязань, 2020. – С. 218–221.
12. Рыковский, Г.Ф. Флора Беларуси. Мохообразные : в 2 т. / Г.Ф. Рыковский, О.М. Масловский; под ред. В.И. Парфенова. – Минск : Гэзналогія, 2004. – Т. 1 : Andreopsida–Bryopsida. – 437 с.
13. Сакович, А.А. Экологическая дифференциация мохообразных на фортах гродненской крепости / А.А. Сакович, Г.Ф. Рыковский // Изв. Нац. Акад. наук Беларуси. Сер. Биол. науки. – 2015. – № 4. – С. 99–103.
14. Чернолуцкая, М.В. Использование мха в ландшафтном дизайне / М.В. Чернолуцкая // Успехи современного естествознания. – 2014. – № 8 – С. 130–132.
15. Юдович, Б.Э. Пенобетон: новое в основах технологии [Электронный ресурс] / Б.Э. Юдович, С.А. Зубехин. – Режим доступа: <https://allbeton.ru/upload/iblock/72f/penobeton-novoe-v-osnovah-tehnologii-xudovichm>. – Дата доступа: 08.04.2020.
16. Дьяченко, А.Я. Некоторые вопросы физиологии мхов [Электронный ресурс] / А.Я. Дьяченко. – Режим доступа: https://elar.urfu.ru/bitstream/10995/30591/1/ecompl_1976_18.pdf. – Дата доступа: 03.04.2020.
17. Poschl, U. Contribution of cryptogamic covers to the global cycles of carbon and nitrogen / U. Poschl // Nature Geoscience. – 2012. – № 5. – P. 459–462.
18. Блещик, Н.П. Методика расчета состава неавтоклавного ячеистого бетона / Н.П. Блещик, Д.В. Корыстин // Бетон и железобетон. – 2010. – № 6 – С. 55–58.
19. Старикова, К.М. Проектирование неавтоклавного пенобетона с естественной колонизацией мхов для вертикального озеленения фасада [Электронный ресурс] / К.М. Старикова, О.В. Лазаренко // Электрон. сб. тр. молод. специалистов Полт. гос. ун-та. Сер. Прикладные науки. Строительство. – Вып. 34 (104). – С. 59–61.
20. Романов, Д.В. Оптимизация режимов тепловлажностной обработки пенобетонов неавтоклавного твердения / Д.В. Романов, М.М. Мордич, О.Г. Галузо // Современные проблемы внедрения европейских стандартов в области строительства : материалы междунар. науч.-метод. конф., Минск, 27–28 мая 2014 г. / Белорус. нац. техн. ун-т. – Минск, 2014. – С. 118–123.

Поступила 05.07.2021

VERTICAL GREENING OF THE EXISTING URBAN DEVELOPMENT IN BELARUS

O. LAZARENKO, A. SHVEDOV

The tasks of green construction in the Republic of Belarus are considered. The advantages and disadvantages of existing systems for vertical landscaping of facades are noted. The possibility of using non-autoclaved cement foam concrete for the introduction of moss-like plants into the cement matrix for natural germination and development has been established. The types of mosses that ensure the resistance of foam concrete to carbonation during operation are determined. It has been experimentally confirmed that the composition and structure of non-autoclaved cellular foam concrete based on Portland cement with embedded moss spores, under a mixed hardening regime, provides conditions for intensive germination of mosses after 2 weeks of hardening. The resulting foam concrete can be used in the construction and reconstruction of buildings of existing urban development for vertical landscaping of facades.

Keywords: green building, vertical gardening of the facade, intentional introduction, moss, substrate, foam concrete, facing slabs.