

	Собщ, м2	125		250		500		1000		2000		4000	
		α	A										
Итого	1043.489		167.533		170.034		168.156		163.512		169.301		160.703
α ср			0.161		0.163		0.161		0.157		0.162		0.154
Tст			1.430		1.409		1.425		1.466		1.416		1.491
Отклонение от оптимальной величины, %			2.892		1.389		2.513		5.405		1.825		7.234

Таблица 2. Расчет акустических параметров зрительного зала с учетом замены материалов.

Таким образом, отклонение стандартного времени реверберации от оптимального находится в пределах 10%. Акустику зала следует считать приемлемой.

Литература

1. Архитектурная физика: Учеб, для вузов: Спец. “Архитектура” / В.К. Лицкевич, Л.И. Макриненко, И.В. Мигалина и др.; Под ред. Н.В. Оболенского. — М.: «Архитектура-С», 2007. — 448 с.: ил.
2. Климухин А.А., Киселева Е.Г. Проектирование акустики зрительных залов: учебно-методические указания к курсовой расчетно-графической работе / А.А. Климухин, Е.Г. Киселева. — М.: МАРХИ, 2012. — 56 с.
3. Гусев Н. М. Строительная физика / Н. М. Гусев, П. П. Климов: Москва: Стройиздат, 1964 г. – 227с.
4. Ковригин С.Д. Архитектурно-строительная акустика: учебное пособие для вузов / С. Д. Ковригин. - М: Высшая школа, 1980. – 184с.

УДК 712.4-025.71

БИОЛОГИЧЕСКИЙ БЕТОН – МАТЕРИАЛ БУДУЩЕГО

Шестовец К.Г.

Научный руководитель – Молокович Г.Е.

Белорусский национальный технический университет,
Минск, Беларусь

Современная архитектура – это архитектура новых технологий строительных материалов, меняющая традиционные представления о физической сущности свойств материалов и их палитре, архитектура концептуальных решений, отражающая формирование нового образа жизни и мышления общества.

В строительной отрасли ушедший век считается веком бурного развития технологий производства бетона и изучения его свойств. Универсальность этого материала – ключевой фактор применения его в строительстве. Это конструктивные, пластические и декоративные свойства бетона, основанные как на закономерности физико-химического процесса,

приводящего смесь тонко измельченных порошков и воды из пластической массы в камневидное состояние, так и на возможности соединения бетона с другими материалами. Например, армирование бетона в разы повысило несущую способность материала, позволило изменить пластику стен и конструкций, создало новое стилистическое направление в архитектуре - брутализм (от латинского слова «brutalis» - грубый, необработанный), открыло возможности великим мастерам архитектуры минувшего века реализовывать строительство уникальных зданий и сооружений.

Современные же технологии – это шаг в будущее, где расширение диапазона свойств бетона происходит за счёт использования особенностей жизнедеятельности бактерий и микроорганизмов. Вектор изменения свойств бетона направлен на снижение недостатков бетона, имеющих место в процессе эксплуатации, и на разработку экологических концепций применения бетона в так называемой «зеленой архитектуре», открывающий неограниченные возможности конструкторам, архитекторам и дизайнерам. Материалы, получаемые посредством биотехнологий, имеют высокий инновационный потенциал в создании новых строительных материалов, в частности биологического бетона, и дают значительные преимущества этому материалу по сравнению с обычным бетоном.

Бетон, как строительный материал обладает множеством достоинств, но есть и недостатки. Главным недостатком материала является то, что в результате эксплуатации могут возникать трещины и повреждения, приводящие к снижению его конструктивных качеств, требующие дополнительного технического обслуживания. Имеет место и такой процесс, как биологическая коррозия, которая приводит к разрушению бетона, оказывая негативное влияние на прочностные и декоративные свойства материала, уменьшая срок его службы в конструкциях зданий и сооружений [2]. Эти проблемы и решаются учеными и микробиологами при разработке нового материала – биологического бетона (Табл. 1).

Таблица 1 - Сравнение положительных и отрицательных качеств обычного бетона и биологического бетона

Свойства обычного бетона		Свойства биологического бетона	
положительные	отрицательные	положительные	отрицательные
1. Физико-механические свойства. 2. Наличие запасов природного сырья для производства. 3. Низкие энергетические затраты на производство.	1. Возникновение трещин и повреждений. 2. Затраты на дополнительное обслуживание зданий и сооружений в процессе эксплуатации.	1. Улучшения структурной стойкости. 2. Укрепления почв в сейсмоопасных зонах при строительстве зданий. 3. Создание среды для роста растений, поддерживающих процессы естественного очищения воздуха в. 4. Сокращение затрат на электроэнергию, необходимую для обеспечения функционирования системы кондиционирования.	1. Дорогое стоящее производство

В зависимости от используемого биоматериала выделяют несколько видов бетона, каждый из которых имеет свои особенности:

- биобетон на основе бактерий *Bacillus genus*
- биобетон на основе бактерий *Bacillus pasteurii*
- **биобетон** на основе пигментированных микроорганизмов.

Биобетон на основе Bacillus genus может само восстанавливаться. Идея создания такого строительного материала была осуществлена исследователем бетона Эриком Шлагеном и микробиологом Хенком Джонкерсом (Нидерландского Технического университета в Делфте). Они обнаружили, что при добавлении в бетон бактерии, в местах трещин происходит регенерация материала. Бактерии *Bacillus genus*, отличающиеся живучестью и приспособляемостью к любым температурным условиям, проявляли активность при попадании дождевой воды в трещины, в результате чего происходила химическая реакция между компонентами жизнедеятельности бактерии (лактатом кальция) и водой, с последующим образованием известняка. Именно он и заполнял все микротрещины. Сегодня самовосстанавливающийся бетон доказывает свою эффективность и актуальность. Вопрос о реализации данной технологии в производстве строительных материалов остается открытым, и требует активного участия не только ученых, технологов, но и архитекторов [3].

Биобетон на основе Bacillus pasteurii может укреплять почву. Выше уже говорилось о хрупкости бетона, поэтому в ситуациях, когда бетонное строение испытывает серьезные нагрузки, например, во время землетрясения существует риск разрушения зданий и сооружений. Для решения проблем связанных с устойчивостью зданий группа ученых из Калифорнийского университета под руководством профессора Джейсона Дейона разработала технологию укрепления почвы с помощью живых микроорганизмов. Согласно проведенным исследованиям, бактерия *Bacillus pasteurii*, добавленная во влажную землю, способствует слипанию содержащихся в ней твердых частиц. Вследствие этого образуются кристаллы карбоната кальция, именно это вещество является цементом, который связывает частицы природного песчаника образуя, по сути, строительный бетон – кристаллы карбоната кальция заполняют промежутки между песчинками и заставляют их слипаться друг с другом. Данной технологии не страшны ни оползни, ни землетрясения [4].

Биобетон на основе пигментированных микроорганизмов решает проблемы экологического порядка. Столкнувшись с нарастающей угрозой истощения природных ресурсов и коллапса мировой экосистемы, отношение человека к окружающей среде в некоторой степени меняется. Создаются и используются на практике такие строительные материалы, которые приводят к максимальному снижению воздействия человека на окружающую среду. Особая роль отводится современному ландшафтному дизайну, который способен творить чудеса и приносить в «каменные джунгли» мегаполиса частичку природной красоты, даже в условиях, когда это кажется

совершенно невозможным. Примером этому может служить создание вертикальных садов, которые с легкостью приживаются на фасадах высотных зданий. Различные варианты вертикальных садов и зеленых фасадов широко известны в мире, и целый ряд подобных проектов успешно реализован. Однако, добиться от вьющихся растений устойчивого роста достаточно тяжело, так как им для этого требуется определенные условия, которые не всегда выполнимы. Исследовательская группа в области строительных технологий Политехнического университета Каталонии разработала бетон, который поддерживает и стимулирует рост специфических форм растительности непосредственно на своей поверхности [5].

Биологический бетон на основе пигментированных микроорганизмов, в отличие от других систем, является неотъемлемой частью конструкции. Материал, специально изобретенный для фасадов зданий, обладает экологическими, теплоизоляционными и эстетическими преимуществами по сравнению с другими подобными конструктивными решениями. Простота и высокая скорость монтажа, отсутствие необходимости в специальном обслуживании и значительных затрат на эксплуатацию делают этот материал конкурентно способным. Одна из особенностей биологического бетона на основе пигментированных микроорганизмов – его состав. В нем применяется цемент, обогащенный фосфатом магния, который за счет работы пигментированных микроорганизмов создает кислотную среду для активного развития мхов, микроводорослей и лишайников, способствуя их естественному росту (Табл. 2).

Таблица 2 – Технология получения биологического бетона

<i>Биоматериал</i>	<i>Bacillus genus</i>	<i>Bacillus pasteurii</i>	Пигментированные микроорганизмы
<i>Исходные данные</i> Бетон+ дождевая вода	Образуется лактат кальция, С последующим преобразованием в известняк (самовосстанавливающийся биобетон)		
Почва +		Образуются кристаллы карбоната кальция, которые связывают частицы природного песчаника (<i>само образующийся биобетон</i>)	
Бетон + фосфат магния+ вода, осадки			Образуются кислотная среда, для развития и роста мхов лишайников (пигментированный бетон)

На базе этого биобетона производят многослойные панели, из которых обустраивают систему вертикальных садов. Естественное накопление воды

внутри панелей способствует созданию благоприятных условий на наружной поверхности для роста простейших растений. Уникальная особенность панелей из биологического бетона: они не позволяют растительным микроорганизмам бесконтрольно разрастаться. Это играет важную роль в сохранении целостности их корневой системы [6].

Стены зданий, в строительстве которых использован этот биобетон, довольно быстро превращаются в вертикальные сады.

Эстетическая ценность в том, что с их помощью можно украшать фасады многоэтажных зданий настоящими живыми картинами из растений, периодически меняя цвета и узоры. Более того, конструкции имеют инновационный подход в решении сокращения затрат на электроэнергию для обеспечения функционирования системы кондиционирования, выполняя роль весьма эффективного терморегулятора, так как растительные образования со временем образуют своеобразную «шубу». Посильный вклад панелей из такого биобетона в улучшении экологии окружающей среды. Мхи отлично справляются с переработкой углекислоты, поглощая из атмосферы немалый объем углекислого газа, тем самым поддерживая процессы естественного очищения воздуха в загазованных мегаполисах.

Несомненно, биологический бетон в зависимости от используемого биоматериала – это материал будущего. Биологический бетон только начинает свое шествие по строительным площадкам мира, решая вопросы конструктивной надежности зданий и сооружений в экстремальных условиях и в процессе эксплуатации, а возрастающая популярность «зеленого строительства», предсказывает новому материалу востребованность в городской среде наиболее развитых странах.

Применение биологического бетона в Белоруссии, как строительного материала, не лишено актуальности. Уникальные свойства биобетона не зависят от климатических условий, что позволит удлинить срок эксплуатации зданий и сооружений, расширить палитру видов наружной отделки зданий, создать архитектуру нового поколения - поколения биотехнологий, формируя экологически чистую и безопасную среду для здоровья человека (Табл. 3).

Таблица 3 – Свойства и применение бетона

Название биологического бетона	Свойства материала	Применение
Самовосстанавливающийся биологический бетон	регенерация материала	в строительных материалах из бетона для улучшения структурной стойкости
<i>Само образующийся биологический бетон</i>	уплотнение материала	для укрепления почв в сейсмоопасных зонах при строительстве зданий
Пигментированный биологический бетон	создание кислотной среды в материале	создание вертикальных зеленых фасадов зданий

Литература

1. Звездов А.И. Железобетон с современным строительстве [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.concrete-union.ru>.
2. Биотехнологии в строительстве [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://stroy-esp.ru/presscenter/articles/biotechnology>.
3. Самовосстанавливающийся бетон [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.facepla.net/the-news/5079>.
4. Биобетон: фундаментальные бактерии [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://www.porpmech.ru/technologies/6176-biobeton-fundamentalnye-bakterii>.
5. Булей Е.В., Черкасова Д.А. Биобетон – материал будущего [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://euis.mgsu.ru/resources/izdatelskaya-deyatelnost/izdaniya/izdaniya-otkr-dostupa/2015/stroitelstvo-formirovanie-sredy-zhiznedeyatelnosti-/S5.pdf>, с.14.
6. Новый бум «зеленого» строительства: биологический бетон [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://rokoko.ru/bio-beton.html>.