

## КСИЛОЛИТ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕСТНЫХ ОТХОДОВ ПЕРЕРАБОТКИ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР

**А.И. Войтенко, В.В. Белов,  
А.М. Смирнов, Е.В. Смирнова**

© Войтенко А.И., Белов В.В.,  
Смирнов А.М., Смирнова Е.В., 2024

***Аннотация.** Описана такая разновидность легкого бетона, как ксилолит, в составе которого заполнителем выступают древесные и сельскохозяйственные отходы. Особое внимание уделено следующим заполнителям: костре технической конопли, шелухе гречихи, рисовой лузге. Указаны достоинства и недостатки ксилолита, перечислены его технические характеристики.*

***Ключевые слова:** ксилолит, магнезиальное вяжущее, сельскохозяйственные отходы, легкий бетон, сельское хозяйство, растениеводство, шелуха, костра, техническая конопля, рисовая лузга.*

### **Введение**

Основным направлением экономического и социального развития в условиях энергетического кризиса является развитие производства эффективных строительных материалов и экономия топливно-энергетических ресурсов за счет применения новых теплоизоляционных материалов. Дополнительным источником сырья для производства энергосберегающих строительных материалов могут служить отходы сельского хозяйства. К ним относятся остатки растений (например, стебли злаковых культур, шелуха зерна и костра).

Организация производства экологически чистых строительных материалов на растительном сырье – одна из актуальных задач строительной отрасли, решение которой позволит уменьшить выбросы углекислого газа, оказывающего наибольшее негативное воздействие на климат планеты. В мире на производство строительных материалов приходится 10 % всех выбросов CO<sub>2</sub>. Использование растительного сырья поможет минимизировать эти выбросы в окружающую среду, так как в процессе выращивания сельскохозяйственные культуры поглощают большие объемы углекислого газа. Были осуществлены многочисленные исследования, посвященные рациональной утилизации отходов растениеводства.

Цель работы – изучение способов получения ксилолита на различных отходах переработки зерновых культур.

### ***Бетоны на легких органических заполнителях***

В качестве заполнителей для бетонов применяют полимерные материалы в виде волокон (фибры) или гранул, а также многочисленные вещества и материалы растительного происхождения: древесные отходы (стружку, щепу, опилки и т. д.); целлюлозу; солому; камыш; торф; костру (отходы от переработки льна и конопли); рисовую шелуху и др. Самым распространенным легким бетоном данной группы является деревобетон, в котором, как следует из названия, заполнителем является древесная щепка (преимущественно сосны и ели, реже лиственных пород) а вяжущим – цемент. Для повышения биостойкости данной щепы, снижения водопроницаемости и повышения прочности ксилолита в состав смеси вводятся добавки-минерализаторы: хлорид кальция, жидкое стекло, силикат-глыба, сернокислый глинозем или известь [1; 2].

Для ксилолита характерны:

средние по отношению к легким бетонам плотность и прочность на сжатие;

сравнительно высокая прочность на изгиб и значительный модуль упругости (высокая трещиностойкость);

отличные тепло- и звукоизоляционные свойства;

средняя морозостойкость;

высокая гвоздимкость и легкость механической обработки.

Ксилолит относится к трудногорючим и экологически безопасным материалам с хорошей воздухо- и паропроницаемостью.

Разновидностями ксилолита являются легкие бетоны со смешанными наполнителями: золо- и керамзитоксилолит. Схожими с ксилолитом материалами являются опилкобетон и стружкобетон. По сравнению с ксилолитом они обладают несколько меньшими значениями прочности, морозостойкости и водостойкости, но более высокими теплоизоляционными свойствами. Для улучшения прочностных характеристик древесный наполнитель минерализуют; в состав данных материалов вводят кварцевый песок, однако при этом увеличивается теплопроводность [3; 4]. Кроме того, в составе указанных материалов цемент нередко частично заменяют глиной или известью.

Общими недостатками рассматриваемой группы материалов являются сравнительно низкие показатели влагостойкости, био- и огнестойкости, химической стойкости, долговечности. Малая прочность бетонов на легких органических заполнителях ограничивает их применение несущими и ограждающими конструкциями в малоэтажном строительстве. Для повышения прочности указанных бетонов используется армирование стальной или композитной арматурой либо фиброй [4].

### *Свойства органических заполнителей в виде отходов*

Основной материал, который мы исследовали, – это шелуха риса, гречихи и костра технической конопли.

Стебель риса – полый цилиндрический росток диаметром 3–7 мм, высотой от 50 до 200 см, у глубоководных видов риса диаметр составляет до 3–5 м. Стебель рисовой соломы неоднороден. В процессе роста стебля с наружной его стороны образуется жировосковой слой в виде плотной (инкрустированной кремнием) и не смачивающейся водой пленки. С внутренней стороны это образование отсутствует.

Вторым по объему среди растительных органических отходов является шелуха гречихи. Объясняется это тем, что при переработке зерна гречихи в крупу до 40 % массы составляет шелуха, которая имеет толщину 0,13–0,18 мм; окрас ее темно-коричневый, а состоит она из толстостенных клеток.

Особое место среди рассматриваемых отходов занимает костра технической конопли, представляющая собой отходы прядильной промышленности. Размер частиц костры варьируется от 20 до 85 мм по длине и от 0,1 до 1,5 мм по ширине. Насыпная плотность костры 100–150 кг/м<sup>3</sup>. Природная влажность стеблей костры конопли около 15–23 % [5; 6].

На рис. 1 представлена микроскопия отходов костры технической конопли.

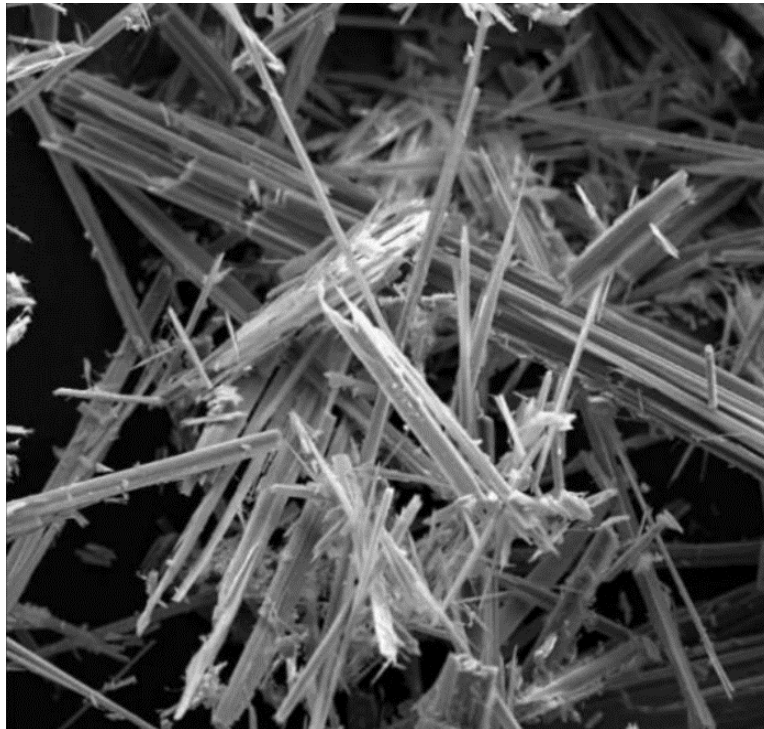


Рис. 1. Растровая электронная микроскопия отходов костры технической конопли [6]

Применение органического заполнителя (рис. 2) позволяет повысить технические характеристики бетона по сравнению с аналогичными свойствами составов, использующих традиционные материалы. Это объясняется более плотной структурой сцепления, вяжущего и наполнителя [7], а также увлажнением сырья и меньшей пористостью вследствие минимального количества воды в бетоне. Наилучшие физико-механические характеристики имеет состав на основе костры технической конопли. Данный вид заполнителя не только дешевле по сравнению с другим рассматриваемым сырьем, но и обладает более высокими показателями прочности и морозостойкости при сравнительно малой теплопроводности и плотности [8].



Рис. 2. Сельскохозяйственные отходы:  
1 – измельченные стебли хлопка; 2 – рисовая лузга;  
3 – стебли тростника [10]

### ***Сравнительные показатели ксилолитов на разных органических заполнителях***

Ксилолит – сверхлегкий бетон, который можно получить на основе цементного вяжущего, органического наполнителя и ускорителя твердения жидкого стекла. Ксилолит с одинаковой прочностью при сжатии можно получить путем корректировки его состава за счет изменения количественного соотношения принятых факторов, что позволяет регулировать прочность вещества в широком диапазоне в зависимости от экономической эффективности и назначения [8; 9]. Изготавливается из высокосортного цемента и щепы, размеры которой являются важнейшим критерием при производстве качественного ксилолита. Щепу получают на специальных рубительных машинах и обрабатывают минерализаторами, с помощью которых в щепе устраняют все сахара и другие вещества, препятствующие сцеплению щепы с цементом. Уникальность данного ксилолита заключается в том, что в нем удалось не только совместить прочность, несгораемость бетона и возможность создавать атмосферу деревянного дома (материал на 85–90 % состоит из древесной щепы), но и обеспечить высокую теплоизолирующую способность. Все это крайне востребовано, так как сохранение устойчивого микроклимата в

помещении, разработка термостойкой шумоизоляции – важные задачи современного строительства.

Экономическая эффективность использования рисовой лузги для изготовления изделий из ксилолита:  $1 \text{ м}^3$  ксилолита высвобождает  $1 \text{ м}^3$  крупномерной деловой хвойной древесины. В то же время на получение  $1 \text{ м}^3$  ксилолита расходуется всего  $0,6 \text{ м}^3$  рисовой лузги или  $0,74 \text{ м}^3$  плотных отходов лесозаготовок [9].

Таким образом, преимуществами применения ксилолита являются минимизация массы зданий, объема тяжелой работы при строительстве; увеличение теплостойкости конструкции; обеспечение био-, термостойкости, качественной шумоизоляции; наличие хорошей адгезии с цементным раствором.

Один из главных недостатков ксилолита – значительное водопоглощение, поэтому не рекомендуется использование ксилолита при строительстве помещений с влажностью выше 70 % (прачечных, ванных комнат, саун). Для предотвращения влияния дождей наружные стены красят гидрофобными эмульсиями.

Технические характеристики ксилолита выглядят следующим образом: наполнитель; дробленка из отходов; средняя плотность –  $400\text{--}800 \text{ кг/м}^3$ ; прочность при сжатии –  $0,5\text{--}1,0 \text{ МПа}$ ; прочность при изгибе –  $0,7\text{--}1,0 \text{ МПа}$ ; теплопроводность –  $0,008\text{--}0,17 \text{ Вт/(м} \cdot \text{С)}$ ; морозостойкость –  $25\text{--}50$  циклов; водопоглощение –  $40\text{--}85 \%$ ; усадка –  $0,4\text{--}0,5 \%$ ; V группа биостойкости; огнестойкость –  $0,75\text{--}1,50 \text{ ч}$ .

Технологические свойства ксилолитовых блоков, используемых в строительстве, в первую очередь зависят от химических добавок (например, хлористого кальция, растворимого стекла, извести гашеной, сернокислого алюминия). Несущая способность блоков характеризуется их прочностью на сжатие. По результатам испытаний изделиям могут присваиваться марка и класс по прочности на сжатие, которые в общем случае связаны с плотностью материалов.

Таким образом, ксилолит имеет значительную пористость, обеспечивающую высокие технические характеристики помещения, благодаря чему возникает хороший воздушный поток и уменьшаются затраты тепловой энергии для отопления и вентиляции. При использовании ксилолита, как упомянуто выше, исчезает необходимость в дополнительной тепло- и шумоизоляции [10; 11].

### ***Заключение***

Были исследованы основные технические и экономические характеристики органического наполнителя. Полученные результаты изучения эксплуатационных свойств подтвердили возможность использования вторсырья как органического наполнителя в легком бетоне. Данный материал может применяться вместо существующих аналогов по

причине дешевизны и обеспечения улучшенных прочностных и теплоизоляционных свойств.

### **Библиографический список**

1. Парсаева Н.Ж., Курбанов З.Х., Бобокулова Ш. Исследование физико-механических свойств бетонных изделий. Используемые промышленные отходы // *Science and Education*. Vol. 2. No. 5. P. 417–423. URL: <https://paper.researchbib.com/view/paper/284561> (дата обращения: 13.04.2024).

2. Ганиев А., Турсунов угли Б.А., Курбанов З.Х. Применение особо легких бетонов, полученных на основе сельскохозяйственных отходов // *Science and Education*. Vol. 3. No. 4. P. 492–498.

3. Павлычева Е.А., Пикалов Е.С. Современные энергоэффективные конструкционные и облицовочные строительные материалы // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2020. № 7. С. 76–87.

4. Долматов С.Н., Мартыновская С.Н. Исследование прочности опилкобетона, дисперсионно армированного различными неметаллическими материалами // *Хвойные бореальной зоны*. 2018. Т. XXXVI. № 6. С. 536–541. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-prochnosti-opilkobetona-dispersionno-armirovannogo-razlichnymi-nemetallicheskimi-materialami> (дата обращения: 13.04.2024).

5. Получение легкого ксилолитобетона на основе цементнозольно-шламового вяжущего и органического заполнителя из скорлупы грецкого ореха / М.В. Акулова, Б.Р. Исакулов, М.Д. Джумабаев, Т.Ж. Толеуов // *Интернет-журнал «Науковедение»*. 2016. Т. 8. № 4. URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/07TVN416.pdf> (дата обращения: 15.04.2024).

6. Портнов Ф.А. Повышение прочности и экологичности бетонов за счет применения в их составе минеральных волокон // *Московский экономический журнал*. 2020. № 1. С. 105–111.

7. Колосова А.С., Пикалов Е.С., Селиванов О.Г. Теплоизоляционный композиционный материал на основе древесных и полимерных отходов // *Экология и промышленность России*. 2020. № 2. С. 28–33.

8. Magar J. Application of Industrial and Agricultural Waste for Sustainable Construction // *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*. 2020. Vol. 8. Iss. VII. URL: <https://www.ijraset.com/fileserve.php?FID=30699> (дата обращения: 15.04.2024).

9. Создание строительных материалов на основе отходов / В.Г. Попов, А.В. Попова, Т.Н. Жигулина, В.Н. Кротов // *Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века*. 2017. № 5/6. С. 35–38.

10. Романовский С.А., Бакатович А.А. Особенности влияния влажности на теплопроводность волокнистого теплоизоляционного материала из очесов льна // *Образование. Транспорт. Инновации*.

Строительство: материалы II Национальной научно-практической конференции. Омск: СибАДИ, 2019. С. 432–439.

11. Хадыкина Е.А., Меретуков З.А. Растительноцементный бетон на основе скорлупы грецкого ореха // Международный журнал прикладных наук и технологий «Integral». 2021. № 2. С. 401–411. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/rastitelnotsementnyy-beton-na-osnove-skorlupy-gretskogo-oreha/viewer> (дата обращения: 15.04.2024).

## WAYS TO CREATE RESERVE POROSITY IN CONCRETE TO INCREASE FROST RESISTANCE

**A.I. Voitenko, V.V. Belov, A.M. Smirnov, E.V. Smirnova**

***Abstract.** A type of lightweight concrete such as xylolite is described, in which wood and agricultural waste act as a filler. Special attention is paid to the following fillers: technical hemp bonfire, buckwheat husk, rice husk. The advantages and disadvantages of xylolite are indicated, and its technical characteristics are listed.*

***Keywords:** xylolite, magnesia binder, agricultural waste, light concrete, agriculture, crop production, husk, bonfires, industrial hemp, rice husk.*

Об авторах:

ВОЙТЕНКО Анна Ильинична – студентка, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», Тверь. E-mail: [Vojtenkoanna24@gmail.com](mailto:Vojtenkoanna24@gmail.com)

БЕЛОВ Владимир Владимирович – советник РААСН, доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой производства строительных изделий и конструкций, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», Тверь. E-mail: [vladim-bel@yandex.ru](mailto:vladim-bel@yandex.ru)

СМИРНОВ Матвей Александрович – кандидат технических наук, доцент кафедры производства строительных изделий и конструкций, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», Тверь. E-mail: [matiu.sm@yandex.ru](mailto:matiu.sm@yandex.ru)

СМИРНОВА Елена Вячеславовна – специалист 1-й категории по учебно-методической работе кафедры производства строительных изделий и конструкций, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», Тверь. E-mail: [elena020269@yandex.ru](mailto:elena020269@yandex.ru)

About the authors:

VOITENKO Anna Ilyinichna – Student, Tver State Technical University, Tver. E-mail: [Vojtenkoanna24@gmail.com](mailto:Vojtenkoanna24@gmail.com)

BELOV Vladimir Vladimirovich – Advisor to RAACS, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Production of

Building Products and Structures, Tver State Technical University, Tver.  
E-mail: vladim-bel@yandex.ru

SMIRNOV Matvey Alexandrovich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Building Products and Structures Production, Tver State Technical University, Tver. E-mail: matiu.sm@yandex.ru

SMIRNOVA Elena Vyacheslavovna – 1st Category Specialist in Educational and Methodological Work of the Department of Building Products and Structures Production, Tver State Technical University, Tver. E-mail: elena020269@yandex.ru

УДК 72.03

## **АНАЛИЗ БИОГРАФИИ И ТВОРЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ГОРОДСКОГО ИНЖЕНЕРА, АРХИТЕКТОРА И ПЕДАГОГА П.Ф. БОГОМОЛОВА**

**А.П. Гераськина, А.В. Левиков**

© Гераськина А.П., Левиков А.В., 2024

***Аннотация.** Приведены основные вехи творческой деятельности городского инженера, архитектора и педагога Петра Фаддеевича Богомоллова. Указаны главные факты его биографии. Названы важнейшие постройки, в создании которых П.Ф. Богомоллов принял участие.*

***Ключевые слова:** П.Ф. Богомоллов, биография, инженер, город, часовня, Иоанн Кронштадтский, Тверецкий мост.*

Вклад в славу Твери внесли многие исторические личности, среди которых следует назвать Петра Фаддеевича Богомоллова. Он жил и творил на сломе эпох, в конце XIX – начале XX в., застал революционные события 1917 г. и первый этап коммунистического строительства. Все эти бурные события отразились на его жизни. До сих пор в городе стоят сооружения, возведенные по его проектам.

Петр Фаддеевич Богомоллов родился 13 декабря (по старому стилю, 26-го по новому) 1877 г. в дер. Слизнево Сычевского уезда Смоленской губернии. В 1897–1900 гг. работал учителем в Бутевицком начальном училище Новоторжского уезда. По окончании Московского учительского института в 1903 г. переселился в Тверь. Работал преподавателем тверского городского училища, затем реального казенного училища, в городском женском коммерческом училище на Миллионной (сегодня ее здание – это гимназия № 6) [1]. Интересно, что в это же время там работал