

**СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА**

УДК 691.11

**БИОКОМПОЗИТЫ СТРОИТЕЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ  
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОТХОДОВ ДЕРЕВООБРАБОТКИ.  
ЧАСТЬ 4 (ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНЫХ  
ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК  
БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВИРОВАННОГО ОПИЛКОБЕТОНА)*****В.В. Белов****Тверской государственной технической университет (г. Тверь)*

© Белов В.В., 2023

**Аннотация.** Обоснована возможность применения биологически активированного опилкобетона в малоэтажном строительстве. Рассчитаны значения нормативного начального и длительного модулей деформаций в пределах стандартных значений температуры и влажности для разработанных малоэнергоёмких составов опилкобетона. Отмечено, что определенные в настоящей работе расчетные прочностные характеристики опилкобетона на биологически активированном заполнителе позволяют рекомендовать его для использования в ограждающих конструкциях зданий различного назначения.

**Ключевые слова:** биологически активированный опилкобетон, составы, расчетные прочностные характеристики.

**DOI: 10.46573/2658-7459-2023-4-5-11*****ВВЕДЕНИЕ***

Наши предварительные исследования по данной теме [1–5]<sup>1</sup> позволили установить возможность улучшения древесного заполнителя путем его биоферментации с помощью микроорганизмов, содержащихся в субстрате животного происхождения – отходе животноводства. Такая обработка древесного сырья может обеспечить получение строительных материалов, удовлетворяющих требованиям стандарта, даже на основе широко распространенных отходов деревообработки – опилок.

В части 1 настоящей работы [6] на основе изучения литературы было установлено, что технологии получения древесных композиционных материалов на основе химически и механически активированного древесного заполнителя достаточно сложны и не позволяют получить материалы с высокими строительно-техническими свойствами. Выход из сложившейся ситуации видится в применении новых методов предварительной обработки древесного и другого растительного сырья, позволяющих экономить энергоноситель и

---

<sup>1</sup> В экспериментах по данной теме активное участие принимала Н.Н. Куделя (на тот момент заведующая лабораторией кафедры «Производство строительных изделий и конструкций» Тверского государственного технического университета).

исходное сырье, улучшить физико-механические и санитарно-гигиенические свойства материалов, избежать применения дефицитных и в некоторых случаях вредных химических веществ.

Показано, что с современных позиций наиболее перспективным методом предварительной обработки древесного сырья является биологическая обработка. Это связано с уникальной способностью биологических систем распознавать определенные химические соединения и осуществлять широкий спектр химических реакций в мягких условиях.

В части 2 настоящей работы [7] были изучены способы биоферментации древесного заполнителя с целью его использования в качестве заполнителя для легких бетонов и других строительных материалов. Эта обработка древесного сырья дает возможность получить строительные материалы, удовлетворяющие требованиям стандарта, даже на основе опилок. Биоремедиация опилок по разработанному способу значительно (в два раза и более) снижает содержание в них сахаров, что способствует получению образцов опилкобетона с плотностью, соответствующей плотности легких бетонов, и с достаточной прочностью на сжатие. Получены опытные образцы биологически активированного древесного заполнителя и определены его основные физико-химические свойства.

В части 3 настоящей работы [8] были разработаны оптимальные составы биологически активированного опилкобетона с использованием математических моделей. Уточненные математические модели зависимостей типа «состав–свойства» биокompозита позволили оптимизировать его состав и получить требуемые строительные-технические показатели.

Целью данной научно-исследовательской работы являлось определение расчетных прочностных характеристик опилкобетона на биологически активированном заполнителе для использования в ограждающих конструкциях зданий различного назначения.

### **РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**

Расчетные сопротивления опилкобетона осевому сжатию  $R_b$  и растяжению  $R_{bt}$  при расчете конструкций по предельному состоянию первой группы определяются по формулам [9]:

$$R_b = \frac{R_{bn}}{\gamma_{bc}} \cdot \eta(\tau); \quad R_{bt} = \frac{R_{bnt}}{\gamma_{bc}} \cdot \eta(\tau),$$

где  $R_{bn}$  и  $R_{bnt}$  – соответственно нормативная призмная прочность и нормативное сопротивление опилкобетона осевому растяжению, определяемые из выражений:

$$R_{bn} = k_n \cdot B = k_n \cdot \bar{R} (1 - t_R^H \cdot V_R); \quad R_{bnt} = k_p \cdot B = k_p \cdot \bar{R} (1 - t_R^H \cdot V_R).$$

В последних выражениях  $B$  – класс опилкобетона по прочности на сжатие;  $\bar{R}$  – среднее значение кубиковой прочности опилкобетона;  $k_n$  и  $k_p$  – коэффициенты призмной прочности и осевого растяжения опилкобетона, значения которых (по данным статьи [9]) составляют соответственно 0,9 и 0,2;  $\eta(\tau)$  – коэффициент длительного сопротивления, определяемый по формуле [10]

$$\eta(\tau) = 1,02 - 0,04 \lg \tau.$$

Последняя зависимость отвечает концепции [11], в соответствии с которой изменение прочности деревобетонов с течением времени для различных видов напряженного состояния, как и для древесины, имеет одинаковый характер. Для оптимального срока службы зданий из опилкобетона  $\tau = 50$  лет ( $\tau = 1,58 \times 10^9$  с;  $\lg \tau = 9,2$ )

при действии полной расчетной нагрузки (сочетание нагрузок, принятое за базисное) коэффициент  $\eta(\tau) = 0,65$ .

Коэффициент надежности по материалу в предыдущих формулах определяется из выражения [9]

$$\gamma_{bc} = \frac{1 - t_R^H \cdot V_R}{1 - t_R \cdot V_R},$$

где  $t_R^H$  и  $t_R$  – коэффициенты ( $t_R^H < t_R$ ), зависящие от принятого уровня обеспеченности и вида функции распределения плотности вероятности прочности опилкобетона;  $V_R$  – нормируемый коэффициент вариации кубиковой прочности материала, принимаемый в соответствии с рекомендациями ГОСТ 19222 равным 20 %.

Для аппроксимации результатов испытаний прочности конструкционных древесных бетонов использовалась система кривых Пирсона [9]. Как показал анализ этих опытных данных, все они описываются кривыми Пирсона первого и второго типов. В статье [9] построены кривые плотности вероятности распределения прочности и вычислены значения нормирующих множителей  $t_R^H$  и  $t_R$ , а также коэффициента надежности  $\gamma_{bc}$ . Для принятой в строительных нормах обеспеченности нормативного и расчетного сопротивлений, равной соответственно 0,95 и 0,99, значения коэффициентов составили  $t_R^H = 1,54$ ;  $t_R = 1,8$  и  $\gamma_{bc} = 1,1$ .

Весовая влажность опилкобетона даже при относительной влажности воздуха  $\varphi = 100$  % не превышает 5 %, а при  $\varphi = 50$  % влажность опилкобетона в зависимости от состава изменяется в пределах 1...2 % [12]. Поэтому нормирование расчетных характеристик опилкобетона, так же как и конструкционной древесины и арболита, предлагается осуществлять при определенной стандартной влажности 3 % по массе. В табл. 1 приведены значения нормируемых характеристик прочности опилкобетона разных марок по прочности в возрасте 28 суток для стандартной влажности и температуры 20 °С [9].

Таблица 1

Характеристики прочности опилкобетона в возрасте 28 суток

| Вид сопротивления   | Класс по прочности на сжатие, нормативные и расчетные сопротивления для проектных марок опилкобетона |      |      |      |
|---|--|------|------|------|
|   | M10  | M15  | M25  | M35  |
| Класс по прочности B, МПа   | B0,7   | B1   | B2   | B2,5 |
| Нормативная призмная прочность $R_{bn}$ , МПа                     | 0,63   | 0,9  | 1,8  | 2,25 |
| Расчетное сопротивление сжатию $R_b$ , МПа                        | 0,37   | 0,53 | 1,06 | 1,33 |
| Нормативное сопротивление опилкобетона растяжению $R_{btн}$ , МПа | 0,14   | 0,2  | 0,4  | 0,5  |
| Расчетное сопротивление растяжению $R_{bt}$ , МПа                 | 0,083  | 0,12 | 0,24 | 0,3  |

При расчете конструкций на сочетание нагрузок, отличных от сочетания базисного, табличные значения расчетных сопротивлений умножаются на коэффициент условий работы  $m$ , принимаемый, согласно исследованиям [18, 19], равным 1,1 при совместном действии постоянной и кратковременной снеговой нагрузки, 1,25 – при совместном действии постоянной и кратковременной ветровой нагрузки.

Начальный модуль деформаций  $E_b$  является одной из важнейших характеристик деформативных свойств опилкобетона. В статье [11] приведена эмпирическая зависимость для определения начального модуля деформаций опилкобетона  $E_b$ , МПа в виде

$$E_b = 0,27\rho_0 \cdot \sqrt{R},$$

где  $\rho_0$  – плотность материала, кг/м<sup>3</sup>;  $R$  – кубиковая прочность, кг/см<sup>2</sup>.

Обладая достаточной для малоэтажного строительства прочностью, опилкобетон характеризуется невысоким значением модуля деформаций. Поэтому расчет на устойчивость и второе предельное состояние могут оказаться определяющими при назначении размеров сечений конструкций с применением опилкобетона. В связи с этим отмечается [11] недостаточная правомочность использования при расчете конструкций из древесных бетонов, например из арболита (СН 549-82), средних, а не нормативных значений начального модуля деформаций. Поскольку модуль деформаций, как и прочность и плотность материала, является случайной величиной, то в последнюю формулу вместо  $R$  подставляются класс материала по прочности  $B$  и минимальное значение плотности, вычисленное с обеспеченностью 0,95, т.е. [11]

$$E_b^H = 0,27\rho_{\min} \cdot \sqrt{B}.$$

Для определения  $\rho_{\min}$  воспользуемся зависимостью [11]

$$\rho_{\min} = \rho \cdot (1 - t_p^H \cdot V_p),$$

в которой значения нормирующего множителя  $t_p^H$  и коэффициента вариации по плотности  $V_p$  определены с учетом распределения Пирсона с обеспеченностью 0,95. Средние значения этих параметров составили  $t_p^H = 1,54$  и  $V_p = 7\%$ . С учетом этого

$$\rho_{\min} = \rho \cdot (1 - 1,54 \times 0,07) = 0,892\rho.$$

При расчете строительных конструкций из опилкобетона на устойчивость [12] и прочность по деформированной схеме и прогибам [11] используется длительный модуль деформаций  $E(\tau)$ , определяемый по формуле [11]

$$E(\tau) = \frac{E_b^H}{1 + \varphi(\infty)},$$

где  $\varphi(\infty) = 5,67$  – предельная характеристика ползучести опилкобетона, полученная по результатам длительных испытаний стандартных образцов с весовой влажностью материала, равной 3% [12].

В табл. 2 приведены рассчитанные по указанным выше формулам значения нормативного начального и длительного модулей деформаций опилкобетона в диапазоне плотности этого материала, охватывающего его теплоизоляционное и теплоизоляционно-конструкционное назначение, для стандартных значений температуры и влажности.

Таблица 2

Нормативные начальный и длительный модули деформаций опилкобетона  
в зависимости от плотности при соответствующих марках по прочности

| Наименование показателей                              | Нормативные значения нормативного начального и длительного модулей деформаций опилкобетона для марок по прочности |      |      |      |
|---|---|------|------|------|
|   | M10   | M15  | M25  | M35  |
| Плотность, кг/м <sup>3</sup>                          | 600   | 700  | 700  | 800  |
| Нормативный начальный модуль деформаций $E_b^H$ , МПа | 125   | 169  | 238  | 305  |
| Длительный модуль деформаций $E(\tau)$ , МПа          | 18,8  | 25,3 | 35,7 | 45,7 |

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследования по данной теме позволили установить возможность улучшения древесного заполнителя путем его биоферментации с помощью микроорганизмов, содержащихся в субстрате животного происхождения – отходе животноводства. Предлагаемая обработка древесного сырья, в частности отходов деревообработки – опилок, делает возможным получение строительных материалов высокого качества. Уточненные математические модели зависимостей типа «состав–свойства» биокompозита дали возможность оптимизировать его состав и получить требуемые строительно-технические показатели. Определенные в настоящей работе расчетные прочностные характеристики опилкобетона на биологически активированном заполнителе позволяют рекомендовать его для использования в ограждающих конструкциях зданий различного назначения.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белов В.В., Миронов В.А., Сухарев Ю.В. Биологически активный опилкобетон для сельскохозяйственного строительства // *Вестник Тверского государственного университета. Серия: Экономика*. 2011. № 9. С. 76–82.
2. Белов В.В., Сухарев Ю.В. Использование биологически активированного опилкобетона для утепления эффективной металлодеревянной панели // *Известия ОрелГТУ. Машиностроение. Приборостроение*. 2006. № 3. С. 102–106.
3. Миронов В.А., Белов В.В., Сухарев Ю.В. Биологически активированный опилкобетон для утепления эффективной металлодеревянной панели // *Вестник центрального регионального отделения Российской академии архитектуры и строительных наук*. 2007. № 6. С. 112–120.
4. Патент РФ 2230049 С2. Способ получения древесно-цементной композиции / Миронов В.А., Белов В.В., Сухарев Ю.В.; Заявл. 05.08.2002. Опубл. 10.06.2004.
5. Миронов В.А., Белов В.В., Сухарев Ю.В. Актуальные вопросы биотехнологии в строительстве // *Строительство и архитектура: Сборник научных трудов инженерно-строительного факультета*. Тверь: ТГТУ. 2001. С. 173–175.
6. Белов В.В. Биокompозиты строительного назначения с использованием отходов деревообработки. Часть 1 (обзор) // *Вестник Тверского государственного технического университета*.

университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии». 2023. № 1 (17). С. 14–26.

7. Белов В.В. Биокompозиты строительного назначения с использованием отходов деревообработки. Часть 2 (экспериментальные исследования биоферментации древесного заполнителя) // *Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии»*. 2023. № 2 (18). С. 5–12.

8. Белов В.В. Биокompозиты строительного назначения с использованием отходов деревообработки. Часть 3 (подбор составов биологически активированного опилкобетона) // *Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии»*. 2023. № 3 (19). С. 19–33.

9. Цапаев В.А., Важаев В.П. Использование кривых Пирсона при анализе распределения прочности арболита в отформованных конструкциях // *Изв. вузов. Строительство*. 1992. № 7-8. С. 69–75.

10. Цапаев В.А. Длительная прочность легких бетонов на древесных заполнителях // *Изв. вузов. Строительство*. 1989. № 1. С. 59–61.

11. Цапаев В.А. Нормирование расчетных характеристик опилкобетона // *Изв. вузов. Строительство*. 1998. № 11-12. С. 50–54.

12. Цапаев В.А. Исследование длительной прочности и деформативности опилкобетона при ступенчато-возрастающих напряжениях сжатия // *Изв. вузов. Строительство*. 1991. № 2. С. 37–42.

#### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

*БЕЛОВ Владимир Владимирович* – советник РААСН, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой производства строительных изделий и конструкций, ФГБОУ ВО «Тверской государственной технической университет», 170026, Россия, г. Тверь, наб. А. Никитина, д. 22. E-mail: vladim-bel@yandex.ru

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКАЯ ССЫЛКА

Белов В.В. Биокompозиты строительного назначения с использованием отходов деревообработки. Часть 4 (определение расчетных прочностных характеристик биологически активированного опилкобетона) // *Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии»*. 2023. № 4 (20). С. 5–11.

---

### CONSTRUCTION BIOCOPPOSITES USING WOODWORKING WASTE. PART 4 (DETERMINATION OF DESIGN STRENGTH BIOLOGICALLY ACTIVATED CHARACTERISTICS SAWDUST CONCRETE)

*V.V. Belov*

*Tver State Technical University (Tver)*

**Abstract.** The possibility of using biologically activated sawdust concrete in low-rise construction is justified. The values of the normative initial and long-term deformation modules are calculated within the standard values of temperature and humidity for the developed low-energy compositions of sawdust concrete. Design strength characteristics of sawdust concrete on

biologically active aggregate determined in this work make it possible to recommend it for use in enclosing structures of buildings for various purposes.

**Keywords:** biologically activated sawdust concrete, compositions, design strength characteristics.

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

*BELOV Vladimir Vladimirovich* – Adviser of the Russian Academy of Architecture and Building Sciences, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Building Materials and Structures, Tver State Technical University, 22, embankment of A. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: vladim-bel@yandex.ru

#### CITATION FOR AN ARTICLE

Belov V.V. Construction biocomposites using woodworking waste. Part 4 (determination of design strength biologically activated characteristics sawdust concrete) // Vestnik of Tver State Technical University. Series «Building. Electrical engineering and chemical technology». 2023. No. 4 (20), pp. 5–11.

УДК 691-431, 692.299

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ГАЗОБЕТОННЫХ КЛЕЕНЫХ ПЕРЕМЫЧЕК ПРИ ИЗГИБЕ

*А.В. Левиков, А.В. Гавриленко*

*Тверской государственной технической университет (г. Тверь)*

© Левиков А.В., Гавриленко А.В., 2023

**Аннотация.** В статье приведено краткое описание нескольких часто используемых на практике вариантов устройства перемычек над проемами в ненесущих стенах и перегородках из газобетонных блоков, указываются их недостатки. Рассмотрен вариант перемычки, представляющей собой элемент, составленный из нескольких блоков, склеенных по торцам кладочной клей-пенной. Дано описание изготовленных образцов таких перемычек, рассмотрены методика и результаты их испытаний на изгиб. Показано, что перемычки пролетом 1,1 м с размерами сечения 100 × 250 мм, выполненные из блоков D400 класса по прочности B2,5, способны выдерживать распределенную нагрузку до 100 кг/м, однако их разрушение происходит хрупко, в связи с чем использование их на практике в настоящий момент не может быть в полной мере рекомендовано. Представлены возможные направления совершенствования конструкции клееных перемычек.

**Ключевые слова:** газобетон, клей-пена, перемычка, испытание на изгиб, несущая способность.

DOI: 10.46573/2658-7459-2023-4-11-16