

ОПИЛКОБЕТОН НА МОДИФИЦИРОВАННОМ ЦЕМЕНТНОМ ВЯЖУЩЕМ

В.В. Белов

Тверской государственной технической университет (г. Тверь)

© Белов В.В., 2020

Аннотация. В статье рассмотрены принципы получения опилкобетона на цементном вяжущем, модифицированном добавками растворимого стекла и золы гидроудаления местных ТЭЦ. Материал на основе модифицированного цементного вяжущего с использованием местных вторичных сырьевых ресурсов: опилок в качестве заполнителя опилкобетона и отвальной золы в качестве тонкодисперсного наполнителя, является эффективным в условиях малоэтажного строительства.

Ключевые слова: модифицированное цементное вяжущее, отходы деревообработки, добавки растворимого стекла и отвальной золы, подбор состава, математическое планирование эксперимента.

DOI: 10.46573/2658-7459-2020-4-14-25

ВВЕДЕНИЕ

Проблема получения недорогих, безопасных в пожарном и экологическом отношении, эффективных в теплотехническом отношении стеновых материалов на основе компонентов растительного происхождения, в частности отходов деревообработки, является весьма актуальной в современном малоэтажном строительстве. Одним из таких материалов с успехом может стать опилкобетон, изготовленный не по традиционной технологии – с большой долей песка в составе смеси и с высокой средней плотностью (более 1 000 кг/м³), а на основе современных представлений о механизме взаимодействия минеральных вяжущих с древесным заполнителем, путях и способах снижения плотности этого материала при сохранении достаточной прочности.

Для склеивания древесных частиц в древесно-стружечных и древесно-волоконистых плитах используют, как правило, синтетические фенолформальдегидные и карбамидные смолы, затраты на которые достигают 30 % стоимости плит. Главный недостаток синтетических связующих заключается не в дороговизне, а в их токсичности. Так, фенолформальдегидные смолы содержат до 9 % свободного фенола, до 11 % свободного формальдегида и 1,5...2,0 % метанола. В процессе производства и эксплуатации изделий значительная часть этих высокотоксичных веществ выделяется в воздух, загрязняя окружающую среду.

Известно, что основными сложностями управления качеством композиционных материалов на основе экологически безопасных минеральных вяжущих являются химическая агрессивность по отношению к ним древесного заполнителя, а также подверженность последнего значительным влажностным деформациям, что сказывается на прочности контакта заполнителя с минеральным вяжущим [1]. Важнейшим фактором формирования адгезионного контакта древесного заполнителя с цементным тестом является капиллярная диффузия воды затворения вглубь заполнителя. При этом наиболее целесообразной является химическая подготовка древесного заполнителя путем выдержки в известковой воде, когда одновременно достигается преадсорбция ионов Ca²⁺ на волокнах древесины и нейтрализация водорастворимых «цементных ядов» [2].

В литературе отмечено, что предварительная обработка (минерализация) опилок уменьшает водопоглощение, а следовательно, уменьшает возможность гниения древесины и образования вредных для бетона гумусовых кислот, повышает прочность и огнестойкость опилок и, кроме того, улучшает связи между органическими и неорганическими составляющими опилкобетона [3].

В последние годы в технологии строительных материалов все шире начинают использоваться принципы работы биосистем с целью разработки строительных биотехнологий и биоконструктивов. Это основано, в частности, на определенных аналогиях в работе, восприятии внешних нагрузок и внутреннем строении объектов живой и неживой природы [4, 5]. К важнейшим задачам биотехнологии относится создание композиционных материалов строительного назначения на основе древесного и другого растительного сырья. Пьезометрическая обработка или тонкое измельчение сырья с целью придания ему вяжущих свойств в производстве этого типа материалов предполагают большие энергозатраты. Альтернативным вариантом обработки сырья может быть биотехнологический процесс [6]. Таковы древесные биопластики, изготовленные без добавления токсичных синтетических связующих [7]. Применение биотехнологического процесса удаления сахаров из органического заполнителя может повысить прочность древесно-цементных композиций в зависимости от продолжительности обработки в 1,5...3 раза [8]. Однако перечисленные направления требуют от технологов специальных знаний и квалификаций в области микробиологии, что не всегда возможно в условиях малых предприятий.

Технологически более простым является применение смешанного вяжущего на базе промышленных отходов, содержащих щелочной компонент, так как это позволяет отказаться от предварительной минерализации древесного заполнителя. Таким вяжущим могут быть фторангидридовое и золощелочное вяжущее на высокомолекулярном жидком стекле [9].

В предыдущей работе автора [10] показана возможность получения теплоизоляционного материала на основе отходов деревообработки и бесцементного композиционного вяжущего, который может стать достаточно эффективным в условиях реального производства.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Целью данной работы было получение теплоизоляционного опилкобетона по другому варианту подбора состава этого материала на цементной основе с добавками отвалной золы и растворимого стекла, а также путем оптимизации дополнительных технологических мероприятий, обеспечивающих повышение адгезионной прочности цементного камня к древесному заполнителю, к которым относятся, в частности, просеивание опилок через сито с отверстиями 5 мм для отделения коры и крупных фракций древесины, а также в ряде случаев помол опилок [11, 12].

В работе решались задачи:

определить оптимальные дозировки золы и жидкого стекла по отношению к массе цемента;

найти оптимальную степень измельчения опилок;

определить оптимальное количество воды затворения опилкобетонной смеси;

установить влияние предварительной выдержки (замачивания) опилок в воде на плотность и прочность опилкобетона.

В работе использовались следующие сырьевые материалы: портландцемент ПЦ 500-Д5; отвальная зола Тверской ТЭЦ-4, предварительно отсеянная через сито 1,25 мм с целью удаления загрязняющих примесей и высушенная до постоянной массы при температуре 100–105 °С; древесные опилки хвойных пород с влажностью 15 %; натриевое растворимое стекло в виде водного раствора с плотностью 1,3 г/см³.

В соответствии с решаемыми задачами работа была разделена на ряд этапов.

На первом этапе устанавливалось содержание добавок золы и растворимого стекла по массе по отношению к массе цемента. Задача решалась в рамках планированного эксперимента ПФЭ 3^2 с одновременным варьированием двух факторов: добавок золы и растворимого стекла (табл. 1).

Уровни варьирования факторов: а) добавки золы по отношению к массе цемента З/Ц – от 0,2 до 0,4; б) добавки растворимого стекла по отношению к массе цемента ЖС/Ц – от 0,01 до 0,05.

Таблица 1

План эксперимента ПФЭ 3^2 и его результаты

Номер опыта	План		Уровни		Плотность, кг/м ³	Прочность, МПа	Влажность, %
	x_1	x_2	З/Ц	Ж/С			
1	-1	-1	0,2	0,01	644	0,066	24,35
2	0	-1	0,3	0,01	619	0,057	24,38
3	+1	-1	0,4	0,01	653	0,0535	25,48
4	-1	0	0,2	0,03	523	0,038	19,44
5	0	0	0,3	0,03	655	0,044	24,39
6	+1	0	0,4	0,03	630	0,041	24,55
7	-1	+1	0,2	0,05	475	0,047	17,43
8	0	+1	0,3	0,05	468	0,1035	16,93
9	+1	+1	0,4	0,05	480	0,072	17,63

Соотношение опилок и цемента по массе поддерживалось постоянным и равным 1, а водоцементное отношение – равным 2.

Из сырьевых смесей формовались образцы-кубы размером 10×10×10 см. Сначала перемешивали золу с цементом в течение 1 мин. Затем в эту смесь добавляли опилки и перемешивали еще 2 мин. В полученную смесь добавляли воду с необходимым количеством растворимого стекла и перемешивали еще 2 мин. Сырьевую смесь загружали в формы и уплотняли. Уплотнение производили в следующей последовательности. Сначала смесь засыпали на половину формы и уплотняли трамбованием 20 раз штампом площадью 35 см². Затем смесь досыпали доверху и трамбовали еще 20 раз. Формы с кубиками ставили на сутки в сушильный шкаф при температуре 50 °С. Через сутки производили распалубку и кубы оставляли на воздухе еще на 6 сут.

Затем производились испытания образцов. Образцы взвешивались, определялись их плотность и предел прочности при сжатии. После разрушения образцов из каждой серии брали навеску, высушивали ее и таким образом определялась влажность образцов.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Результаты планированного эксперимента ПФЭ 3^2 приведены в табл. 1. В соответствии с ними построены математические модели зависимостей свойств опилкобетона от добавок золы и растворимого стекла:

$$y = \theta_0 + \theta_1 x_1 + \theta_2 x_2 + \theta_{11} x_1^2 + \theta_{22} x_2^2 + \theta_{12} x_1 x_2,$$

где y – выходные параметры (плотность в кг/м³ или прочность на сжатие в МПа); x_1 и x_2 – факторы в кодированном виде ($x_1 = \frac{З/Ц - 0,1}{0,2}$; $x_2 = \frac{ЖС/Ц - 0,02}{0,03}$).

Значения коэффициентов моделей приведены в табл. 2.

Таблица 2

**Коэффициенты моделей зависимостей свойств опилкобетона
от добавок золы и растворимого стекла**

Выходные параметры	ϵ_0	ϵ_1	ϵ_2	ϵ_{11}	ϵ_{22}	ϵ_{12}
Плотность, кг/м ³	611,7	20,5	-82,2	-11,5	-44,5	-1,1
Прочность на сжатие, МПа	0,0512	0,0026	0,0077	-0,0151	0,0257	0,0094

На рис. 1 и 2 показаны зависимости соответственно плотности и прочности на сжатие опилкобетона от содержания золы по отношению к массе цемента при разной добавке растворимого стекла, а на рис. 3 и 4 – от добавки растворимого стекла при разном содержании золы, построенные по математическим моделям.

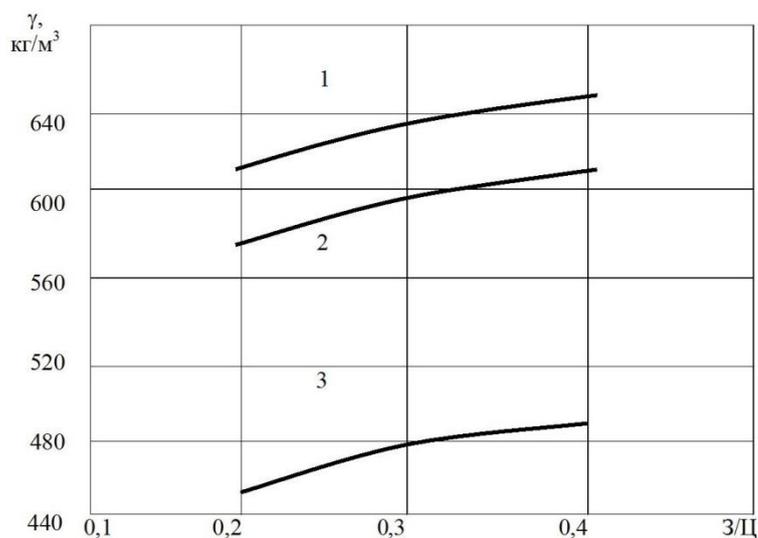


Рис. 1. Зависимости плотности опилкобетона от содержания золы:
1 – Ж/Ц = 0,01; 2 – Ж/Ц = 0,03; 3 – Ж/Ц = 0,05

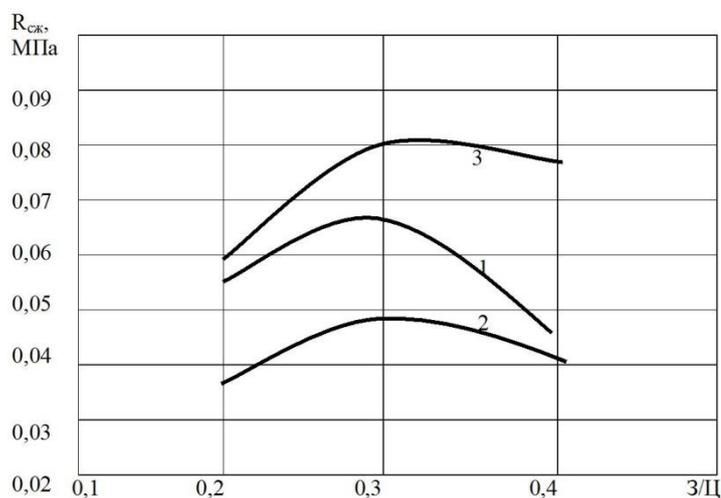


Рис. 2. Зависимости прочности опилкобетона от содержания золы:
1 – Ж/Ц = 0,01; 2 – Ж/Ц = 0,03; 3 – Ж/Ц = 0,05

Зависимости, приведенные на рис. 1, 3, показывают, что с увеличением добавки золы плотность опилкобетона в небольших пределах увеличивается. Более заметно на плотность опилкобетона влияет добавка растворимого стекла, с увеличением которой плотность заметно снижается. При этом дозировка растворимого стекла в количестве 5 % от массы цемента обеспечивает плотность опилкобетона менее 500 кг/м³, что соответствует требованиям к теплоизоляционным материалам.

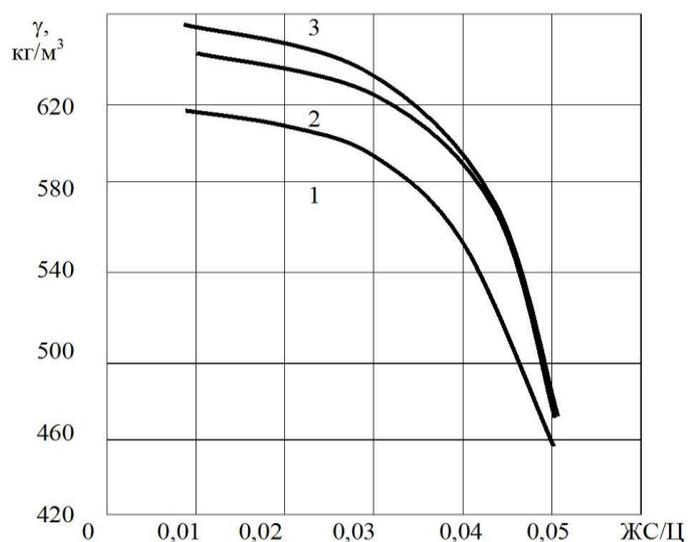


Рис. 3. Зависимости плотности опилкобетона от содержания растворимого стекла:
 1 – З/Ц = 0,2; 2 – З/Ц = 0,3; 3 – З/Ц = 0,4

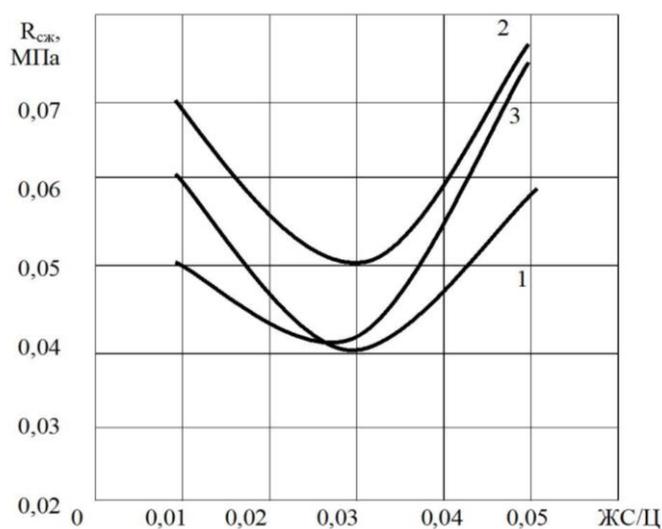


Рис. 4. Зависимость прочности опилкобетона от содержания растворимого стекла:
 1 – З/Ц = 0,2; 2 – З/Ц = 0,3; 3 – З/Ц = 0,4

Рис. 2, 4 показывают, что дозировка растворимого стекла 5 % от массы цемента соответствует наибольшей прочности материала почти во всем диапазоне изменения количества золы. При содержании золы 30 % от массы цемента наблюдается максимум прочности. Это объясняется тем, что при таком содержании зола покрывает поверхность опилок тонким слоем, что обеспечивает наилучшее сцепление опилок с цементом, а следовательно, увеличивается прочность материала. При меньшем содержании золы не обеспечивается необходимая обработка поверхности опилок, а при большем содержании покрытие поверхности опилок более толстое, что ослабляет взаимосвязь их с цементом.

Целью следующего этапа было выявление возможности повышения прочности опилкобетона за счет помола опилок в течение определенного времени. В ходе проведения эксперимента были использованы данные предыдущих этапов по оптимальным дозировкам золы и растворимого стекла (З/Ц = 0,3; Ж/Ц = 0,05). Формование образцов и твердение материала производились по указанной методике. Для увеличения прочности опилкобетона применяли совместный помол опилок и золы, так как зола играет роль минерализатора и активизатора поверхности опилок. Перед помолом отдозированные опилки перемешивали

с золой и загружали в лабораторную шаровую мельницу типа МБЛ и подвергали совместному помолу в течение 5, 10 и 15 мин.

Как показывают экспериментальные данные (табл. 3, рис. 5), минимальная плотность образцов достигается при совместном помолу опилок и золы в течение 5 мин. При этом прочность образцов достигает максимума, а их влажность – минимума. При дальнейшем увеличении времени помолу прочность снижается.

Таблица 3

Влияние времени помолу опилок на свойства опилкобетона

Время помолу, мин	Плотность, кг/м ³	Прочность на сжатие, МПа	Влажность, %
Без помолу	580	0,094	18
5	560	0,106	17,4
10	620	0,053	19,3
15	765	0,05	23,8

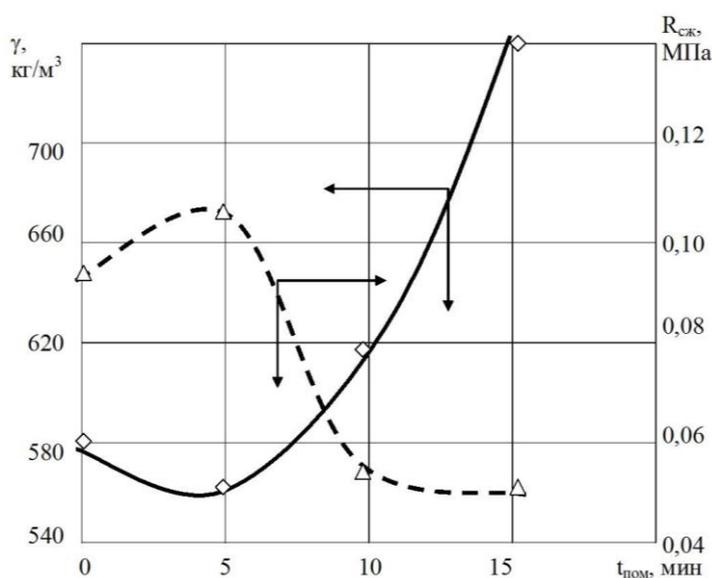


Рис. 5. Зависимости плотности и прочности опилкобетона от времени помолу опилок с золой

Таким образом, совместный помол опилок и золы в течение 5 мин оказывает определенное положительное влияние на свойства опилкобетона. Так, плотность снижается на 20 кг/м³ при некотором увеличении прочности. Микроструктура опилкобетона в этом случае способствует наиболее быстрой сушке.

Цель следующего этапа заключалась в определении влияния водоцементного отношения (В/Ц) на физико-механические свойства опилкобетона. Образцы изготовлялись при значениях В/Ц, равных 1,5; 1,75; 2,0; 2,25; 2,5, что соответствовало следующим значениям водотвердого отношения (В/Т): 0,65; 0,76; 0,87; 0,97; 1,09. После испытания образцов были получены результаты, указанные в табл. 4.

Таблица 4

Влияние В/Ц на физико-механические свойства опилкобетона

В/Ц	Плотность, кг/м ³	Прочность на сжатие, МПа	Влажность, %
1,5	565	0,25	15,3
1,75	573	0,34	15,9
2,0	580	0,22	16,4
2,25	584	0,14	17,0

2,5	590	0,12	17,4
-----	-----	------	------

Как показывают экспериментальные данные (рис. 6), плотность образцов постепенно растет при увеличении В/Ц, при этом она изменяется от 568 до 587 кг/м³. Повышение плотности образцов с увеличением В/Ц объясняется тем, что при этом сырьевая смесь лучше уплотняется.

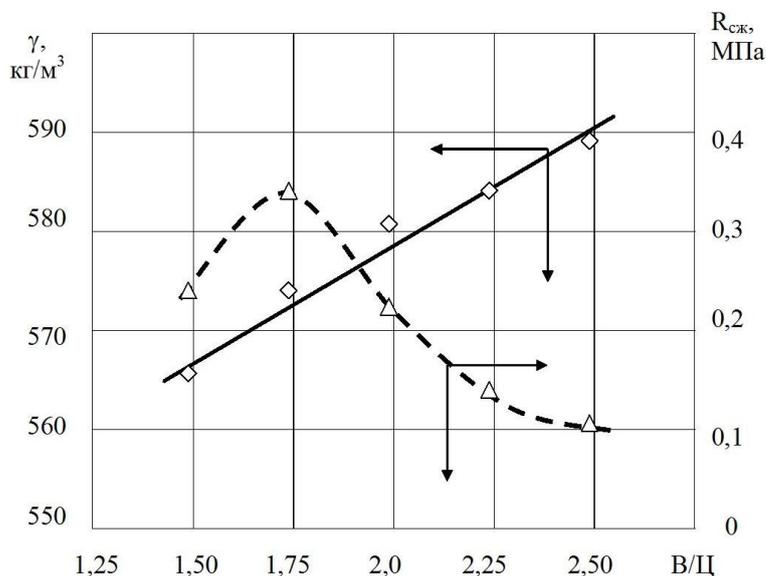


Рис. 6. Зависимости плотности и прочности образцов от В/Ц

При увеличении В/Ц от 1,5 до 1,75 прочность образцов увеличивается, а с дальнейшим увеличением В/Ц прочность резко снижается (см. рис. 6), что можно объяснить смыванием цемента с опилок при большем содержании воды в сырьевой смеси.

Максимальное значение прочности достигается при В/Ц = 1,75 и составляет 0,34 МПа. При этом плотность образцов равна 574 кг/м³.

Целью следующего этапа являлось установление зависимостей прочности и плотности опилкобетона от предварительной выдержки опилок в воде, которая может обеспечить лучшее налипание цемента, увеличение зоны контакта и ее упрочнение.

Использовался следующий состав смеси: водоцементное отношение – 1,75; опилкоцементное отношение – 1; золоцементное отношение – 0,3; отношение растворимого стекла к цементу – 0,05.

Эксперименты проводились по методике, описанной выше. Отличительной чертой являлся процесс предварительного замачивания опилок. Кинетика замачивания опилок в воде показала, что наибольший рост впитывания воды был в промежутке от 0 до 1 ч. Исходя из этого, замачивание опилок в данных опытах производилось в течение 0, 10, 30 и 60 мин. Измельченные совместно опилки и зола затворялись водой с добавкой растворимого стекла. Через определенные, указанные выше, промежутки времени в замоченные опилки вводили заданное количество цемента, и смесь перемешивали. Формование и твердение образцов производилось по обычной методике.

Данные, полученные в результате эксперимента, приведены в табл. 5.

Таблица 5

Показатели образцов после эксперимента с предварительным замачиванием опилок

Время замачивания, мин	Средняя плотность, кг/м ³	Прочность на сжатие, МПа	Влажность образцов, %
0	530	0,37	16
10	550	0,415	16,6

30	570	0,45	17,1
60	595	0,515	18

По данным табл. 5 видно, что с увеличением времени замачивания опилок плотность и прочность образцов растут. Плотность образцов растет на протяжении всего времени замачивания опилок в воде (от 0 до 60 мин). При этом плотность изменяется от 530 до 595 кг/м³. Прочность образцов с увеличением времени замачивания также повышается от 0,37 до 0,515 МПа, что соответствует приросту прочности на 39 %.

Повышение плотности образцов с увеличением времени замачивания можно объяснить ростом влажности образцов с 16 до 18 % и лучшей уплотняемостью смеси, так как плотность образцов в пересчете на сухое вещество также несколько увеличивается. Повышение прочности образцов с увеличением времени замачивания опилок за этот сравнительно небольшой промежуток можно объяснить тем, что водный раствор растворимого стекла лучше пропитывает опилки, улучшает адгезионные свойства их контактной поверхности, а также увеличивает и саму поверхность контакта с вяжущим компонентом. Частицы цемента при этом обволакивают опилки, создавая соответствующую контактную зону. Если выходить за обозначенную цель эксперимента, т. е. получение теплоизоляционного материала с плотностью до 600 кг/м³, то за счет дальнейшего увеличения времени предварительного замачивания опилок можно, очевидно, добиться дополнительного прироста прочности опилкобетона.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Максимальная прочность опилкобетона на цементном вяжущем, модифицированном добавками растворимого стекла и золы гидроудаления, достигается при золоцементном отношении, равном 0,3, так как в этом случае зола обеспечивает оптимальное покрытие опилок, что улучшает сцепление и, соответственно, прочность материала возрастает.

Оптимальное содержание добавки растворимого стекла по отношению к массе цемента, равное 0,05, обеспечивает минимальное значение плотности, а прочность при этом увеличивается за счет наиболее прочного сцепления древесных частиц.

Оптимальное время совместного помола опилок и золы – 5 мин, при этом даже малоактивная зола гидроудаления играет роль минерализатора и активизатора поверхности опилок. Плотность образцов при этом минимальна и равна 560 кг/м³.

Оптимальное значение водоцементного отношения из условия наибольшей прочности материала составляет 1,75, при этом прочность образцов достигает 0,32 МПа.

Улучшение адгезионных свойств контактной поверхности опилок, а также и увеличение самой поверхности их контакта с вяжущим компонентом достигается за счет предварительного замачивания опилок в водном растворе растворимого стекла в течение 60 мин. При этом прочность опилкобетона на сжатие равна 0,515 МПа, а плотность составляет менее 600 кг/м³ при влажности 18 %. Если выходить за обозначенную цель эксперимента и рассматривать возможности получения конструктивно-теплоизоляционных материалов с плотностью свыше 600 кг/м³, то за счет дальнейшего увеличения времени предварительного замачивания опилок в водном растворе растворимого стекла можно добиться существенного дополнительного прироста прочности опилкобетона.

Оптимизация состава, а также выявление важнейших технологических факторов позволили обосновать в данной работе возможности получения опилкобетона, соответствующего по основным физико-механическим свойствам требованиям к теплоизоляционным легким бетонам и эффективного в условиях малоэтажного строительства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кудряков А.И. Структурообразование бесцементных вяжущих в композициях с древесным наполнителем // *Известия вузов. Строительство*. 1996. № 8. С. 65–66.
2. Кузнецов А.И., Кривда В.В. О принципах взаимодействия в цементно-древесных композициях на начальных стадиях структурообразования // *Известия вузов. Строительство*. 1993. № 11/12. С. 15–17.
3. Куннос Г.Я. Опилкобетон. Рига, 1960. 68 с.
4. Шушпанов В.А. Принципы организации биоструктур и строительные материалы // *Современные проблемы строительного материаловедения: материалы Международной научно-технической конференции: в 2 ч.* Пенза: ПГАСА, 1998. Ч. 2. С. 79–81.
5. Андреев Е.И. Использование принципов работы биосистем в технологии строительных материалов // *Современные проблемы строительного материаловедения: материалы Международной научно-технической конференции: в 5 ч.* Казань: КГАСА, 1996. Ч. 1. С. 25–27.
6. Соломатов В.И., Селяев В.Д., Черкасов В.П. Перспективы применения биотехнологии в строительстве // *Известия вузов. Строительство*. 1995. № 7. С. 34–38.
7. Лехина Е.П., Соломатов В.И., Черкасов В.Д. Пути повышения эксплуатационных свойств древесных биопластиков // *Современные проблемы строительного материаловедения: материалы Международной научно-технической конференции: в 2 ч.* Пенза: ПГАСА, 1998. Ч. I. С. 40-41.
8. Соломатов В.И., Черкасов В.Д. Создание строительных биокомпозитов из древесного и другого растительного сырья. Сообщение 1 // *Известия вузов. Строительство*. 1997. № 1-2. С. 27–32. Сообщение 3. Там же. 1997. № 3. С. 32–35.
9. Звягин А.И. Теплоизоляционные материалы из макулатуры и отходов деревообработки // *Строительные материалы*. 1999. № 7/8. С. 10–11.
10. Белов В.В. Опилкобетон на бесцементном композиционном вяжущем // *Вестник Тверского государственного технического университета*. 2020. № 3. С. 15–23.
11. Коротаев Э.И., Клименко М.И. Производство строительных материалов из древесных отходов. М.: Лесная промышленность, 1997. 230 с.
12. Оболенская А.В. Химия древесины и полимеров. М.: Лесная промышленность, 1980. 168 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

БЕЛОВ Владимир Владимирович – советник РААСН, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой производства строительных изделий и конструкций, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», 170026, г. Тверь, наб. Аф. Ники-тина, д. 22. E-mail: vladim-bel@yandex.ru

БИБЛИОГРАФИЧЕСКАЯ ССЫЛКА

Белов В.В. Опилкобетон на модифицированном цементном вяжущем // *Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии»*. 2020. № 4 (8). С. 14–25.

SAWBOBETONE ON MODIFIED CEMENT BINDER

V.V. Belov

Tver State Technical University (Tver)

Abstract. The article considers the principles of production of sawbobetone on cement binder modified with additives of soluble glass and ash of hydraulic removal of local CHP. The material based on the modified cement binder using local secondary raw materials: sawdust as a filler of sawdust and waste ash as a fine filler is effective in low-rise construction conditions.

Keywords: modified cement binder, woodworking wastes, soluble glass and waste ash additives, composition selection, mathematical experiment planning.

REFERENCES

1. Kudyakov A.I. Structure formation of non-cement binders in compositions with wood filler. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo*. 1996. No. 8, pp. 65–66. (In Russian).
2. Kuznetsov A.I., Krivda V.V. On the principles of interaction in cement-wood compositions at the initial stages of structure formation. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo*. 1993. No. 11/12, pp. 15–17. (In Russian).
3. Kyunnos G.Ya. Opilkobeton [Sawbobetone]. Riga, 1960. 68 p.
4. Shushpanov V.A. Principles of organization of biostructures and construction materials. *Modern problems of construction materials science: materials of the International scientific and technical conference*. Penza: PGASA, 1998. Part II, pp. 79–81. (In Russian).
5. Andreev E.I. Use of the principles of operation of biosystems in the technology of construction materials. *Modern problems of construction materials science: materials of the International scientific and technical conference*. Kazan: KGASA. 1996. Part I, pp. 25–27. (In Russian).
6. Kolomarov V.I., Selyaev V.P., Chernasov V.D. Prospects of biotechnology application in construction. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo*. 1995. No. 7, pp. 34–38. (In Russian).
7. Lehina E.P., Solomatov V.I., Chernas V.D. Ways to improve the operational properties of wood bioplasts. *Modern problems of construction materials science: materials of the International scientific and technical conference*. Penza: PGASA. 1998. Part I, pp. 40–41. (In Russian).
8. Solomatov V.I., Chernas V.D. Creation of building biocomposites from wood and other vegetable raw materials. Message 1. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo*. 1997. No. 1-2, pp. 27–32. Message 3. In the same place. 1997. No. 3, pp. 32–35. (In Russian).
9. Zvyagin A.I. Heat insulation materials from waste paper and wood processing wastes. *Stroitel'nye materialy*. 1999. No. 7/8, pp. 10–11. (In Russian).
10. Belov V.V. Sawbobetone on a non-cement composite binder. *Vestnik TvGTU*. 2020. No. 3, pp. 15–23. (In Russian).
11. Korotayev E.I., Klimenko M.I. Proizvodstvo stroitel'nykh materialov iz drevesnykh othodov [Production of construction materials from wood waste]. M.: Forestry industry, 1997. 230 p.
12. Obolenskaya A.V. Himiya drevesiny i polimerov [Chemistry of wood and polymers]. M.: Forestry industry, 1980. 168 p.

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 Af. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: vladim-bel@yandex.ru

CITATION FOR AN ARTICLE

Belov V.V. Sawbobetone on modified cement binder // *Vestnik of Tver State Technical University. Series «Building. Electrical engineering and chemical technology»*. 2020. No. 4 (8), pp. 14–25.