

УДК 691.33

DOI 10.52928/2070-1683-2023-35-3-34-40

**ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГИПСОБЕТОНА  
НА ОСНОВЕ НИЗКОМАРОЧНОГО ГИПСОВОГО ВЯЖУЩЕГО  
С ОРГАНИЧЕСКИМ ЗАПОЛНИТЕЛЕМ**

**Я.Д. МАЦКЕВИЧ<sup>1)</sup>, канд. техн. наук, доц. Л.М. ПАРФЕНОВА<sup>2)</sup>,  
канд. техн. наук, доц. Л.В. ЗАКРЕВСКАЯ<sup>3)</sup>**

<sup>1), 2)</sup> *Полоцкий государственный университет имени Евфросинии Полоцкой,*

<sup>3)</sup> *Владимирский государственный университет*

*имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых)*

*В статье представлены результаты исследований физико-механических свойств гипсобетона с органическим наполнителем, в качестве которого рассматривались древесные опилки и костра льна. Показано, что введение в состав гипсобетона органических наполнителей приводит к снижению прочностных показателей, плотности, коэффициента размягчения, а также к увеличению пористости и водопоглощения. Отмечается, что свойства гипсобетонов с древесными опилками и кострой льна отличаются. При одинаковом количестве органических наполнителей в составе гипсобетона костра льна дает большее снижение прочности, плотности, коэффициента размягчения и пористости. Костра льна не изменяет подвижность исходной гипсобетонной смеси и не влияет на водопоглощение гипсобетона. Гипсобетон с кострой льна быстрее теряет влагу при твердении в воздушно-сухих условиях, что позволит снизить энергозатраты на сушку изделий. Показано, что эффективность применения органических наполнителей в гипсобетоне может быть повышена при использовании совместно со стеклянной фиброй.*

**Ключевые слова:** *гипсовое вяжущее, органические наполнители, древесные опилки, костра льна, стеклянная фибра, гипсобетон, физико-механические свойства.*

**Введение.** Обеспечение высоких потребительских качеств современных зданий невозможно без применения стеновых материалов, обладающих повышенными тепло- и звукоизоляционными свойствами. При этом одним из основных требований потребителей является низкая стоимость изделий. Анализ показывает, что высокими тепло- и звукоизоляционными характеристиками обладают легкие бетоны на органических наполнителях, а снижение стоимости возможно за счет применения более дешевых компонентов бетонной смеси на основе местных сырьевых ресурсов.

В Республике Беларусь в достаточном количестве имеются древесные опилки и костра льна. Среди преимуществ опилок перед другими видами наполнителей следует отметить, что это древесные отходы без дополнительной обработки; опилки имеют однородное гранулированное строение, что обеспечивает равномерное распределение в бетонных смесях [1]. Отмечается [2], что опилкобетон на основе опилок мелкой фракции имеет больший предел прочности на сжатие. Костра льна представляет собой измельченные при первичной переработке одревесневшие части стеблей льна. На её долю приходится 60–70% массы перерабатываемых стеблей льна [3]. Костра льна имеет следующие специфические свойства: низкую плотность (110...120 кг/м<sup>3</sup>), малую теплопроводность (0,037...0,041 Вт/(м·°C)), низкую влажностную набухаемость, не превышающую 2%, значительное содержание лигнина в органической части до 46% [4].

Как показывают исследования [5–7], применение древесных наполнителей в составе цементных бетонов требует проведения «минерализации» от действия «цементных ядов», что предусматривает многоступенчатую обработку наполнителя химическими веществами, которая в итоге усложняет технологию изготовления и приводит к удорожанию изделий. Отмечается [8], что на гипсовое вяжущее «цементные яды» не оказывают влияния. Гипсовые вяжущие также позволяют значительно сократить сроки достижения марочной прочности бетонов, создают в помещениях наиболее благоприятный для организма человека микроклимат. Гипсовые вяжущие низких марок имеют более низкую стоимость по сравнению с другими вяжущими веществами.

Возможность рационального использования повсеместно имеющихся древесных опилок и костры льна и низкомарочного гипсового вяжущего открывает широкие перспективы расширения сырьевой базы производства легких гипсобетонов при одновременном решении проблем охраны окружающей среды. Целью настоящих исследований является изучение влияния древесных опилок, костры льна, стеклянной фибры на физико-механические свойства гипсобетона на основе низкомарочного гипса.

Исследования выполнялись в рамках НИР «Легкие бетоны на основе биозаполнителя и комплексного гипсового вяжущего для стеновых ограждений» (№ ГР 20230695 от 16.05.2023 г., грант Министерства образования Республики Беларусь).

**Характеристика материалов и методика проведения исследований.** Для проведения экспериментальных исследований использовался гипс строительный «Тайфун Мастер» № 35 марки Г-5 Ш А производства ООО «Тайфун» по ГОСТ 125<sup>1</sup>. Время начала схватывания гипса составило 9 мин 30 с, время окончания схватывания – 15 мин. Коэффициент нормальной густоты – 0,56. Вода для затворения вяжущего и гипсобетона соответствовала требованиям ГОСТ 23732-2011<sup>2</sup>. В качестве фибры для дисперсного армирования легкого бетона использовалось волокно стекляннaя длиной 12 мм согласно ТС ВУ 691581903.001–2018<sup>3</sup>. В качестве органического заполнителя использовались древесные опилки и костра льна (рисунок 1). Древесные опилки являются отходами лесохозяйственного производства Государственного опытного лесохозяйственного учреждения «Островецкий опытный лесхоз». Для экспериментальных исследований применялись опилки лиственных пород с размером частиц до 5 мм. Насыпная плотность опилок составила 0,258 кг/м<sup>3</sup>, влажность – 4%. Костру льна использовали с размером частиц до 20 мм по длине. Насыпная плотность костры льна составила 0,154 кг/м<sup>3</sup>, влажность 0%.



а



б

а – древесные опилки; б – костра льна

Рисунок 1. – Органический заполнитель

Физико-механические характеристики определялись, исходя из следующих показателей: сроки схватывания, прочность на растяжение при изгибе, прочность при сжатии, плотность, водопоглощение и водостойкость. Сроки схватывания гипсового вяжущего, испытания на прочность на растяжение при изгибе, прочность при сжатии, водопоглощение, водостойкость – по ГОСТ 23789-2018<sup>4</sup>, пористость – по ГОСТ 12730.4-2020<sup>5</sup>, плотность – по ГОСТ 12730.1-2020<sup>6</sup>.

**Влияние органических заполнителей и стеклянной фибры на физико-механические свойства гипсобетона.** Свойства гипсобетонов в значительной степени зависят от вида, формы и размера частиц органического заполнителя. Опираясь на результаты исследований [9], в которых было установлено, что больший предел прочности на сжатие достигается при применении в составе опилкобетона более мелкой фракции опилок, для проведения эксперимента использовались древесные опилки, просеянные через сито с размером ячейки 5 мм. Содержание древесных опилок варьировалось с интервалом 2% и составляло 2%, 4%, 6%, 8%, 10% от массы гипсового вяжущего. Содержание костры льна – 1%, 2%, 4%, 6%, 8% от массы гипсового вяжущего. Содержание стеклянной фибры в составе гипсобетона принято 0,2%, 0,4%, 0,6% от массы гипсового вяжущего. Водогипсовое отношение во всех составах было принято постоянным и соответствовало нормальной густоте  $V/G = 0,56$ . Для определения влияния органических заполнителей и стеклянной фибры на плотность и прочность гипсобетона изготавливались образцы-балочки 40×40×160 мм. Образцы набирали прочность в воздушно-сухих условиях при температуре 18–20 °С. Испытания проводились через 2 часа с момента затворения водой, в возрасте 7 суток и после высушивания образцов до постоянной массы при температуре 50±5 °С. Для сопоставления гипсобетонов по критерию прочности полученные результаты приводили к прочности контрольного образца (без органического заполнителя). Результаты эксперимента представлены в таблице 1.

<sup>1</sup> ГОСТ 125–2018. Вяжущие гипсовые. Технические условия. Государственный стандарт Республики Беларусь. – М.: Стандартиформ, 2019. – 16 с.

<sup>2</sup> ГОСТ 23732-2011. Вода для бетонов и строительных растворов. Технические условия. Государственный стандарт Республики Беларусь. – М.: Госстандарт, 2013. – 18 с.

<sup>3</sup> ТУ ВУ 691581903.001–2018. Фибра стекляннaя. – Минск, 2019. – 18 с.

<sup>4</sup> ГОСТ 23789-2018. Вяжущие гипсовые. Методы испытаний. Государственный стандарт Республики Беларусь. – М.: Госстандарт, 2019. – 18 с.

<sup>5</sup> ГОСТ 12730.4-2020. Бетоны. Методы определения параметров пористости. Государственный стандарт Республики Беларусь. – М.: Госстандарт, 2021. – 14 с.

<sup>6</sup> ГОСТ 12730.1-2020. Бетоны. Методы определения плотности. Государственный стандарт Республики Беларусь. – М.: Госстандарт, 2020. – 13 с.

Таблица 1. – Влияние органических заполнителей и стеклянной фибры на физико-механические свойства гипсобетона

Номер состава	Органический заполнитель, % от $m_{г.в.}$		Стеклянная фибра, % от $m_{г.в.}$	Плотность, кг/м <sup>3</sup>			Прочность на растяжение при изгибе, МПа (%)			Прочность на сжатие, МПа (%)			Водопоглощение по массе, $W_m$ , %	Общая пористость, %
	ДО	КЛ		в возрасте		сухих образцов	в возрасте		сухих образцов	в возрасте		сухих образцов		
				2 часа	7 суток		2 часа	7 суток		2 часа	7 суток			
1	-	-	-	2188	2000	1648	2,07 (100)	2,43 (100)	4,54 (100)	3,35 (100)	4,40 (100)	8,12 (100)	26,9	44,3
2	2	-	-	2162	1984	1617	2,04 (99)	2,43 (100)	4,25 (94)	3,29 (98)	4,39 (100)	8,02 (99)	27,9	45,1
3	4	-	-	2122	1979	1581	2,02 (98)	2,36 (97)	3,83 (84)	3,18 (95)	3,91 (89)	7,31 (90)	28,9	45,7
4	6	-	-	2115	1951	1575	2,01 (97)	2,29 (94)	3,70 (81)	3,05 (91)	3,69 (84)	5,18 (64)	30,4	47,9
5	8	-	-	2097	1898	1560	1,93 (93)	2,25 (93)	3,29 (72)	2,67 (80)	3,46 (79)	3,78 (47)	30,4	47,4
6	10	-	-	2055	1872	1557	1,87 (90)	2,24 (92)	2,30 (51)	2,15 (64)	2,54 (58)	2,96 (36)	31,2	48,6
7	-	1	-	2190	2008	1609	2,03 (98)	2,36 (97)	4,05 (89)	3,34 (100)	4,24 (96)	7,73 (95)	26,9	45,4
8	-	2	-	2122	1794	1563	2,01 (97)	2,30 (95)	3,23 (71)	3,26 (97)	3,82 (87)	6,25 (77)	26,9	46,6
9	-	4	-	2070	1688	1530	1,94 (94)	2,23 (92)	3,10 (68)	2,94 (88)	3,39 (77)	5,14 (63)	27,0	47,4
10	-	6	-	1947	1646	1484	1,85 (89)	2,13 (88)	2,98 (66)	2,74 (82)	2,84 (65)	4,93 (61)	27,1	48,4
11	-	8	-	1906	1599	1419	1,79 (86)	1,99 (82)	2,69 (59)	2,58 (77)	2,62 (60)	4,69 (58)	27,4	49,8
12	-	-	0,2	2172	2016	1646	2,09 (101)	2,45 (101)	4,93 (109)	3,40 (101)	4,38 (100)	8,29 (102)	26,9	37,7
13	-	-	0,4	2195	2076	1648	2,29 (111)	2,66 (109)	5,14 (113)	3,72 (111)	5,08 (115)	8,74 (112)	26,9	38,0
14	-	-	0,6	2255	2078	1651	2,64 (128)	2,74 (113)	5,30 (117)	3,91 (117)	5,50 (125)	9,47 (117)	26,9	38,3

Анализ полученных данных показал, что введение органических заполнителей приводит к уменьшению прочности гипсобетона по сравнению с контрольным составом без заполнителя. При содержании в составе гипсобетона древесных опилок в количестве 2%, 4%, 6%, 8%, 10% от массы гипсового вяжущего, снижение прочности на растяжение при изгибе через 2 часа после затворения водой составляет соответственно 1%, 2%, 3%, 7%, 10% по сравнению с контрольным составом, в возрасте 7 суток – 0%, 3%, 6%, 7%, 8% соответственно, сухих образцов – 6%, 19%, 19%, 28%, 49% соответственно. Введение в состав гипсобетона древесных опилок в количестве 2%, 4%, 6%, 8%, 10% от массы гипсового вяжущего привело к снижению прочности на сжатие по сравнению с контрольным составом без заполнителя через 2 часа на 2%, 5%, 9%, 20%, 36% соответственно, через 7 суток – на 0%, 11%, 16%, 21%, 42% соответственно, сухих образцов – на 1%, 10%, 36%, 53%, 64% соответственно.

Введение костры льна в количестве 1%, 2%, 4%, 6%, 8% приводит к снижению прочности на растяжение при изгибе через 2 часа после затворения водой на 2%, 3%, 6%, 11%, 14% соответственно по сравнению с контрольным составом, в возрасте 7 суток – на 3%, 5%, 8%, 12%, 18% соответственно, сухих образцов – на 11%, 29%, 32%, 34%, 41% соответственно. Введение в состав гипсобетона костры льна в количестве 1%, 2%, 4%, 6%, 8% от массы гипсового вяжущего привело к снижению прочности на сжатие по сравнению с контрольным составом без заполнителя через 2 часа на 0%, 3%, 12%, 18%, 23% соответственно, через 7 суток – на 4%, 13%, 23%, 35%, 40% соответственно, сухих образцов – на 5%, 13%, 34%, 39%, 42% соответственно. В целом, как и при введении древесных опилок, увеличение количества костры льна приводит к снижению как прочности на растяжение при изгибе, так и прочности при сжатии. При этом прочность на сжатие снижается больше, чем прочность на растяжение при изгибе. Содержание в составе гипсобетона костры льна в количестве 1% и 2% от массы гипсового вяжущего практически не оказывает влияния на раннюю прочность гипсобетона в возрасте 2 часов.

При содержании костры льна в количестве от 4 до 8% от массы гипсового вяжущего в возрасте 2 часов снижение прочности на сжатие было в 1,6–2 раза выше, чем снижение прочности на растяжение при изгибе, а в возрасте 7 суток – выше в 2,2–2,9 раза. Снижение прочности на растяжение при изгибе и прочности на сжатие сухих образцов при содержании костры льна в количестве от 4 до 8% от массы гипсового вяжущего имеет сопоставимые значения и находится в пределах 32–42%.

При содержании в количестве 2% от массы гипсового вяжущего прочность на сжатие сухих образцов гипсобетона с кострой льна снизилась на 13%, с древесными опилками – на 1% по сравнению с прочностью контрольного образца без заполнителя, прочность на растяжение при изгибе сухих образцов с кострой льна снизилась на 29%, с древесными опилками – на 6% по сравнению с прочностью контрольного образца без заполнителя. В процессе приготовления гипсобетонной смеси отмечалось большее снижение пластичности у гипсобетонной смеси с древесным заполнителем. При добавлении костры льна в гипсовое тесто в исследуемом диапазоне дозировок подвижность не изменялась.

Величина снижения прочности гипсобетона, в процентах, в зависимости от количества органического заполнителя может быть определена по математическим зависимостям, представленным в таблице 2. Полученные значения коэффициентов детерминации ( $R^2$ ) свидетельствуют о высокой степени соответствия полученных математических моделей экспериментальным данным.

Таблица 2. – Математические зависимости величины снижения прочности гипсобетона, в процентах, в зависимости от количества органического заполнителя

Вид и количество органического заполнителя в составе гипсобетона	Продолжительность твердения	Математические зависимости величины снижения прочности (в процентах)	
		на растяжение при изгибе	на сжатие
древесные опилки, от 2% до 10% от массы гипсового вяжущего	2 часа	$y = 0,5x^2 - 0,7x + 1,2$ ( $R^2 = 0,986$ )	$y = 2,3571x^2 - 5,8429x + 6$ ( $R^2 = 0,9967$ )
	7 суток	$y = -0,4286x^2 + 4,5714x - 4,2$ ( $R^2 = 0,9947$ )	$y = 1,4286x^2 + 0,8286x - 0,2$ ( $R^2 = 0,9482$ )
	в сухом состоянии	$y = 1,7857x^2 - 1,2143x + 8,2$ ( $R^2 = 0,9333$ )	$y = 16,9x - 17,9$ ( $R^2 = 0,9772$ )
костра льна, от 1% до 8% от массы гипсового вяжущего	2 часа	$y = 3,2x - 2,4$ ( $R^2 = 0,9588$ )	$y = 6,1x - 7,1$ ( $R^2 = 0,9823$ )
	7 суток	$y = 3,7x - 1,9$ ( $R^2 = 0,9587$ )	$y = 9,5x - 5,7$ ( $R^2 = 0,9866$ )
	в сухом состоянии	$y = 17,1\ln(x) + 13,026$ ( $R^2 = 0,9426$ )	$y = -1,8571x^2 + 21,143x - 16,4$ ( $R^2 = 0,9554$ )

Анализ результатов эксперимента показывает, что к большему снижению плотности приводит введение в состав гипсобетона в качестве заполнителя костры льна. В возрасте 2 часов плотность гипсобетона с древесными опилками в количестве 2% от массы гипсового вяжущего снизилась на 1,2% по сравнению с контрольным составом без заполнителя и составила 2162 кг/м<sup>3</sup>, с кострой льна в таком же количестве плотность гипсобетона составила 2122 кг/м<sup>3</sup>, что меньше плотности гипсобетона контрольного состава на 3%. В возрасте 7 суток плотность гипсобетона с древесными опилками и кострой льна в количестве 2% от массы гипсового вяжущего составляла соответственно 1984 кг/м<sup>3</sup> и 1794 кг/м<sup>3</sup>, что меньше плотности гипсобетона контрольного состава (2000 кг/м<sup>3</sup>) соответственно на 0,8% и 10,3%.

Плотность сухого гипсобетона с древесными опилками и кострой льна в количестве 2% от массы гипсового вяжущего составляла соответственно 1617 кг/м<sup>3</sup> и 1563 кг/м<sup>3</sup>, что меньше плотности сухого гипсобетона контрольного состава (1648 кг/м<sup>3</sup>) соответственно на 1,9% и 5,2%. При введении органического заполнителя в количестве 8% от массы гипсового вяжущего плотность сухого гипсобетона с древесными опилками составляла 1560 кг/м<sup>3</sup>, с кострой льна – 1419 кг/м<sup>3</sup>, что меньше плотности сухого гипсобетона контрольного состава (1648 кг/м<sup>3</sup>) соответственно на 5,3% и 13,9%.

В первые 7 суток более активно высыхает гипсобетон с кострой льна. Образцы гипсобетона с органическим заполнителем в количестве от 2% до 8% от массы гипсового вяжущего потеряли в массе от 15,5% до 18,5% при использовании костры льна, от 6,7% до 9,5% при использовании в качестве заполнителя древесных опилок.

Результаты определения плотности гипсобетона с органическим заполнителем после сушки образцов при температуре 50±5 °С, которая проводилась спустя 7 суток твердения в воздушно-сухих условиях, показали, что более высокий процент влажности был у образцов гипсобетона с древесными опилками. Образцы гипсобетона с органическим заполнителем в количестве от 2% до 8% от массы гипсового вяжущего потеряли в массе после сушки от 16,8% до 21,1% при использовании в качестве заполнителя древесных опилок и от 9,4% до 12,9% при использовании костры льна.

Водопоглощение гипсового камня составило 26,9%. Введение в состав гипсобетона древесных опилок в количестве от 2% до 10% от массы гипсового вяжущего приводит к увеличению водопоглощения от 4% до 16%. Введение в состав гипсобетона костры льна в количестве от 1% до 8% практически не влияет на водопоглощение. Максимальное повышение водопоглощения на 0,5% получено при введении костры льна в количестве 8% от массы гипсового вяжущего, при меньшем количестве костры льна в составе гипсобетона водопоглощение практически

равно значению для гипсобетона контрольного состава. Максимальное значение водопоглощения, которое составило 31,2%, получено для гипсобетона с древесными опилками в количестве 10% от массы гипсового вяжущего и 27,4% для гипсобетона с кострой льна в количестве 8% от массы гипсового вяжущего.

При увеличении количества органического заполнителя в составе гипсобетона увеличивалось количество пор на поверхности образцов. Пористость гипсового камня без заполнителя составила 44,3%. При введении в состав гипсобетона древесных опилок в количестве от 2% до 10% от массы гипсового вяжущего пористость увеличивается от 1,8% до 9,7%, при введении льняной костры в количестве от 1% до 8% пористость увеличивается от 2,5% до 12,4%. Максимальное значение пористости составило 49,8% для гипсобетона с кострой льна в количестве 8% от массы гипсового вяжущего и 48,6% для гипсобетона с опилками в количестве 10% от массы гипсового вяжущего.

Результаты показали, что введение стеклянной фибры приводит к увеличению прочности гипсового камня по сравнению с контрольным составом. Введение стеклянной фибры в количестве 0,2%, 0,4%, 0,6% привело к увеличению прочности на растяжение при изгибе через 2 часа на 1%, 11%, 28% соответственно, через 7 суток – на 1%, 9%, 13% соответственно, высушенных образцов – на 9%, 13%, 17% соответственно. Введение стеклянной фибры в количестве 0,2%, 0,4%, 0,6% привело к увеличению прочности на сжатие через 2 часа на 1%, 11%, 17% соответственно, через 7 суток – на 0%, 15%, 25% соответственно, высушенных образцов – на 2%, 12%, 17% соответственно.

Введение стеклянной фибры в количестве 0,2%, 0,4%, 0,6% приводит к увеличению значения плотности с увеличением количества стеклянной фибры. Плотность сухих образцов гипсобетона со стеклянной фиброй близка к значениям плотности контрольного образца без фибры.

Введение стеклянной фибры в состав гипсобетона не влияет на водопоглощение гипсового камня. Введение стеклянной фибры в количестве 0,2%, 0,4%, 0,6% привело к незначительному увеличению пористости на 0%, 1%, 1% соответственно.

**Влияние органических заполнителей и стеклянной фибры на водостойкость гипсобетона.** Для определения водостойкости, характеризующейся коэффициентом размягчения, определялись прочность на растяжение при изгибе и прочность на сжатие сухих и насыщенных водой образцов. Экспериментальные исследования проводились на образцах-балочках 40×40×160 мм. Коэффициент размягчения был определен как отношение прочности насыщенных водой образцов с органическим заполнителем к прочности сухих образцов с органическим заполнителем ( $K_{р}$ ), а также как отношение прочности насыщенных образцов с органическим заполнителем к прочности сухих образцов без органического заполнителя ( $K_{р}^k$ ). Полученные результаты представлены в таблице 3.

Таблица 3. – Влияние содержания органических заполнителей на водостойкость гипсобетона

Номер состава	Органический заполнитель, % от $m_{г.в.}$		Стеклянная фибра, % от $m_{г.в.}$	Прочность образцов на растяжение при изгибе, МПа		Коэффициент размягчения по прочности на растяжение при изгибе		Прочность образцов на сжатие, МПа		Коэффициент размягчения по прочности на сжатие	
	ДО	КЛ		высушенных при 50±5 °С ( $R_{и}^{сух}$ )	насыщенных водой ( $R_{и}^{нас}$ )	$K_{р,изг.}^{нас} = \frac{R_{и}^{нас}}{R_{и}^{сух}}$	$K_{р,изг.}^{сух} = \frac{R_{и}^{сух}}{R_{и}^{сух,к}}$	высушенных при 50±5 °С ( $R_{сж}^{сух}$ )	насыщенных водой ( $R_{сж}^{нас}$ )	$K_{р,сж.}^{нас} = \frac{R_{сж}^{нас}}{R_{сж}^{сух}}$	$K_{р,сж.}^{сух} = \frac{R_{сж}^{сух}}{R_{сж}^{сух,к}}$
1	-	-	-	4,54	2,27	0,50	0,50	8,12	3,95	0,49	0,49
2	2	-	-	4,25	2,00	0,47	0,44	8,02	3,27	0,41	0,40
3	4	-	-	3,83	1,92	0,49	0,42	7,31	2,94	0,40	0,36
4	6	-	-	3,70	1,80	0,50	0,40	5,18	2,37	0,46	0,29
5	8	-	-	3,29	1,73	0,53	0,38	3,78	2,27	0,60	0,28
6	10	-	-	2,30	1,69	0,73	0,37	2,96	2,13	0,72	0,26
7	-	1	-	4,05	2,00	0,48	0,44	7,73	2,98	0,44	0,37
8	-	2	-	3,23	1,97	0,63	0,43	6,25	2,70	0,39	0,33
9	-	4	-	3,10	1,89	0,63	0,42	5,14	2,45	0,48	0,30
10	-	6	-	2,98	1,86	0,68	0,41	4,93	2,18	0,43	0,27
11	-	8	-	2,69	1,75	0,75	0,39	4,69	2,14	0,46	0,26
12	-	-	0,2	4,93	2,37	0,48	0,52	8,29	4,18	0,50	0,51
13	-	-	0,4	5,14	2,51	0,49	0,55	8,74	4,31	0,49	0,53
14	-	-	0,6	5,30	2,68	0,51	0,59	9,47	4,81	0,51	0,59

Значение коэффициента размягчения ( $K_{р}$ ) по прочности на растяжение при изгибе изменяется от 0,47 до 0,73 при введении древесных опилок в состав гипсобетона в количестве от 2% до 10% от массы гипсового вяжущего

и от 0,48 до 0,75 при введении костры льна в состав гипсобетона в количестве от 1% до 8% от массы гипсового вяжущего. Более информативным является коэффициент размягчения по контрольному составу гипсобетона ( $K_p^k$ ). Определение коэффициента ( $K_p^k$ ) по прочности на растяжение при изгибе показало, что увеличение количества органического заполнителя в составе гипсобетона приводит к снижению коэффициента размягчения. Значение коэффициента размягчения ( $K_p^k$ ) снижается от 0,50 для контрольного состава до 0,37 для состава, содержащего древесные опилки в количестве 10% от массы гипсового вяжущего, и до 0,39 для состава, содержащего костру льна в количестве 8% от массы гипсового вяжущего.

Анализ значений коэффициента размягчения ( $K_p^k$ ) по прочности на сжатие показывает, что значение коэффициента размягчения для контрольного состава, равно 0,49, уменьшается при введении в состав гипсобетона как древесных опилок, так и костры льна и достигает минимального значения при количестве органических заполнителей соответственно 10% и 8% от массы гипсового вяжущего.

При величине коэффициента размягчения  $0,45 < K_p < 0,6$  гипсовые вяжущие относятся к средней водостойкости, при величине коэффициента размягчения  $K_p < 0,45$  гипсовые вяжущие относятся к неводостойким. Таким образом установлено, что введение органических заполнителей в состав гипсобетона снижает его устойчивость к влажной среде.

Значение коэффициента размягчения ( $K_p$ ) по прочности на растяжение при изгибе при добавлении стеклянной фибры в состав гипсовой композиции изменяется от 0,48 до 0,51. Значение коэффициента размягчения ( $K_p$ ) по прочности на сжатие при добавлении стеклянной фибры в состав гипсовой композиции изменяется от 0,49 до 0,51. Значение коэффициента размягчения по контрольному составу ( $K_p^k$ ) по прочности на растяжение при изгибе увеличивается от 0,50 для контрольного состава до 0,59. Значение коэффициента размягчения по контрольному составу ( $K_p^k$ ) по прочности на сжатие увеличивается от 0,49 для контрольного состава до 0,59.

**Заключение.** Введение органических заполнителей в состав гипсобетона приводит к снижению прочностных показателей, при этом прочность на сжатие снижается больше, чем прочность гипсобетона на растяжение при изгибе. При одинаковом содержании в составе гипсобетона, по сравнению с древесными опилками, костра льна приводит к большему снижению как прочности гипсобетона на растяжение при изгибе, так и прочности на сжатие. Более низкая прочность может быть объяснена тем, что костра льна имеют гладкую малопористую поверхность, поэтому можно предположить, что степень сцепления с гипсовым камнем будет иметь более низкие значения, чем сцепление с древесными опилками, которые отличаются пористой структурой и лучшей смачиваемостью.

Установлено, что величина снижения прочностных показателей гипсобетона с органическими заполнителями зависит от продолжительности твердения и увеличивается с увеличением времени твердения образцов гипсобетона, достигая максимальных значений для сухих образцов. Влажность после 7 суток твердения в воздушно-сухих условиях у гипсобетона с древесными опилками составляла 16,8–21,1%, у гипсобетона с кострой льна – 9,4–12,9%. Введение древесных опилок в количестве 10% от массы гипсового вяжущего приводит к снижению прочности на растяжение при изгибе гипсобетона в сухом состоянии на 49%, прочности на сжатие – на 64%. Введение костры льна в количестве 8% от массы гипсового вяжущего приводит к снижению прочности на растяжение при изгибе гипсобетона в сухом состоянии на 41%, прочности на сжатие – на 42%.

Эффективность применения органических заполнителей в гипсобетоне может быть повышена при использовании совместно со стеклянной фиброй. Определено, что стеклянная фибра при содержании от 0,2% до 0,6% от массы гипсового вяжущего повышает прочность гипсобетона в возрасте 7 суток до 25%, в сухом состоянии – до 17%. При этом водопоглощение гипсобетона не изменяется, увеличение пористости не превысило 0,5% по сравнению с гипсобетоном без фибрового армирования, коэффициент размягчения повысился с 0,49 до 0,51...0,59.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Наназашвили И.Х. Строительные материалы из древесно-цементной композиции. – Л.: Стройиздат, 1990. – 415 с.
2. Суrowцева Л.С., Шунина М.А. Анализ фракционного состава опилок при раскросе пиловочного сырья // Изв. С.-Петербург. лесотехн. акад. – 2013. – № 205. – С. 153–161.
3. Таранухо В.Г., Камасин С.С., Пугач А.А. Растениеводство. Прядильные культуры: учеб.-метод. пособие. – Горки: БГСХА, 2020. – 51 с.
4. Смирнова О.Е. Влияние фракционного состава костры льна на свойства прессованного материала // Ресурсоэнергоэффектив. технологии в строит. комплексе региона. – 2018. – № 10. – С. 153–156.
5. Русина В.В., Дубровина Ю.Ю., Чернов Е.И. Бетоны для ограждающих конструкций на основе отходов механической переработки древесины // Строит. материалы. – 2017. – № 9. – С. 32–35.
6. Наназашвили И.Х., Соколов А.А., Марченков Р.А. Древесные отходы – вторая жизнь. Арболитовые стеновые блоки // Строительные материалы, оборудование и технологии XXI века. – 2011. – № 7. – С. 24–25.
7. Бозылев В.В., Ягубкин А.Н. Инновационный арболит с заданными свойствами = Innovative Arbolit with Desired Properties // Проблемы современного бетона и железобетона: сб. науч. тр. / редкол.: М.Ф. Марковский (пред.) и др. – Минск: Колорград, 2017. – Вып. 9. – С. 96–112.
8. Теоретические основы получения древесногипсовых композитов с заданными эксплуатационными свойствами / А.А. Лукаш, Н.П. Лукутцова, А.А. Пыкин и др. – Курск: Университет. кн., 2023. – 109 с.
9. Долматов С.Н. Влияние фракционного состава опилок на прочностные свойства облицовочного бетона // Решетневские чтения. – 2016. – С. 306–308.

## REFERENCES

1. Nanazashvili, I.Kh. (1990). *Stroitel'nye materialy iz drevesno-tsementnoi kompozitsii*. Leningrad: Stroizdat. (In Russ.).
2. Surovtseva, L.S. & Shunina, M.A. (2013). Analiz fraktsionnogo sostava opilok pri raskroe pilovochnogo syr'ya [Analysis of the fractional composition of sawdust when cutting sawdust]. *Izvestiya Sankt-Peterburgskoi lesotekhnicheskoi akademii [Bulletin of the St. Petersburg Forestry Academy]*, (205), 153–161. (In Russ., abstr. in Engl.).
3. Taranukho, V.G., Kamasin, S.S. & Pugach, A.A. (2020). *Rastenievodstvo. Pnyadil'nye kul'tury: ucheb.-metod. posobie*. Gorki: BGSKhA. (In Russ.).
4. Smirnova, O.E. (2018). Vliyanie fraktsionnogo sostava kostry l'na na svoystva pressovannogo materiala. *Resursoenergoeffektivnye tekhnologii v stroitel'nom komplekse regiona*, (10), 153–156. (In Russ.).
5. Rusina, V.V., Dubrovina, Yu.Yu. & Chernov E.I. (2017). Betony dlya ograzhdayushchikh konstruksii na osnove otkhodov mekhanicheskoi pere-rabotki drevesiny [Concretes for enclosing structures based on the waste of mechanical wood processing]. *Stroitel'nye materialy [Building materials]*, (9), 32–35. (In Russ., abstr. in Engl.).
6. Nanazashvili, I.Kh., Sokolov, A.A. & Marchenkov, R.A. (2011). Drevesnye otkhody – vtoraya zhizn'. Arbolitovye stenovye bloki [Wood waste – a second life. Arbolite wall blocks]. *Stroitel'nye materialy, oborudovanie i tekhnologii XXI veka [Building materials, equipment and technologies of the XXI century]*, (7), 24–25. (In Russ., abstr. in Engl.).
7. Bozylev, V.V. & Yagubkin, A.N. (2017). Innovatsionnyi arbolit s zadannymi svoystvami = Innovative Arbolit with Desired Properties. In M.F. Markovskii (Eds.). *Problemy sovremennogo betona i zhelezobetona: Vyp. 9. [Problems of modern concrete and reinforced concrete (Vol. 9)]* (96–112). Minsk: Kolorgrad. (In Russ., abstr. in Engl.).
8. Lukash, A.A., Lukutsova, N.P., Pykin, A.A., Litvinchev, K.A. & Chernyshev, O.N. (2023). *Teoreticheskie osnovy polucheniya drevesnogipsovykh kompozitov s zadannymi ekspluatatsionnymi svoystvami*. Kursk: Universitetskaya kniga. (In Russ.).
9. Dolmatov, S.N. (2016). Vliyanie fraktsionnogo sostava opilok na prochnostnye svoystva oblikobetona [Influence of the fractional composition of sawdust on the strength properties of shaped concrete]. *Reshetnevskie chteniya [Reshetnevsky readings]*, 306–308. (In Russ., abstr. in Engl.).

Поступила 15.11.2023

**PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF GYPSUM CONCRETE  
BASED ON LOW-QUALITY GYPSUM BINDER WITH ORGANIC FILLER**

**Y. MATSKEVICH<sup>1)</sup>, L. PARFENOVA<sup>2)</sup>, L. ZAKREVSAYA<sup>3)</sup>**

<sup>(1), 2)</sup>*Euphrosyne Polotskaya State University of Polotsk,*

<sup>3)</sup>*Vladimir State University named after Alexander and Nikolay Stoletovs)*

*The article presents the results of studies of the physical and mechanical properties of gypsum concrete with organic filler, which were considered sawdust and flax shreds. It has been shown that the introduction of organic fillers into gypsum concrete leads to a decrease in strength indicators, density, softening coefficient, and an increase in porosity and water absorption. It is noted that the properties of gypsum concrete with sawdust and flax fire are different. With the same amount of organic fillers in the composition of gypsum concrete, flax fire gives a greater reduction in strength, density, softening coefficient and porosity. Flax burning does not change the mobility of the original gypsum concrete mixture and does not affect the water absorption of gypsum concrete. Gypsum concrete with flax kernels loses moisture faster when hardening in air-dry conditions, which will reduce energy costs for drying products. It has been shown that the efficiency of using organic aggregates in gypsum concrete can be increased when used in conjunction with glass fiber.*

**Keywords:** *gypsum binder, organic fillers, sawdust, flax fire, glass fiber, gypsum concrete, physical and mechanical properties.*