

Значения коэффициентов a , b , c после циклов ультрафиолетового старения

Основа	Связующие	Материал декоративного слоя	Коэффициенты		
			a	b	c
ЦСП	Полиэфирная смола	Керамзитовый песок	0,0224	-1,348	51,282
		Древесные опилки	0,0592	-2,4291	51,256
		Песок	0,0126	-0,7671	44,783
	Эпоксидная смола	Керамзитовый песок	$25,232e^{-0,0298n}$		
		Древесные опилки	$27,761e^{-0,034n}$		
		Песок	-0,0563	0,5609	22,395
ДСП	Полиэфирная смола	Керамзитовый песок	-0,0663	1,247	41,216
		Древесные опилки	-0,0127	0,0883	34,928
		Песок	0,0473	-1,8249	53,791
	Эпоксидная смола	Керамзитовый песок	0,0116	-0,2948	18,462
		Древесные опилки	$19,696e^{-0,0347n}$		
		Песок	0,0283	-0,9346	19,407
ДВП	Полиэфирная смола	Керамзитовый песок	0,2369	-9,3629	116,23
		Древесные опилки	0,0453	-2,1225	53,19
		Песок	0,077	-3,2364	63,793
	Эпоксидная смола	Керамзитовый песок	-0,0504	0,8625	13,486
		Древесные опилки	-0,0355	0,3072	19,856
		Песок	-0,0536	1,0525	13,008
Фанера	Полиэфирная смола	Керамзитовый песок	$52,499e^{-0,023n}$		
		Древесные опилки	0,0323	-1,7074	51,352
		Песок	0,0192	-0,8608	40,234
	Эпоксидная смола	Керамзитовый песок	-0,0457	0,5036	21,088
		Древесные опилки	0,0237	-1,0761	25,642
		Песок	$19,671e^{-0,0226n}$		

Полученные результаты позволяют в зависимости от вида декоративной плиты и времени ее эксплуатации в условиях действия неблагоприятных атмосферных воздействий прогнозировать падение твердости декоративного слоя.

Литература

1. Ерофеев, А.В. Технология изготовления декоративно-защитных плит покрытия / А.В. Ерофеев, В.П. Ярцев // Современные твердофазные технологии: теория, практика

и инновационный менеджмент: Материалы III Международной научно-инновационной молодежной конференции 31 октября – 2 ноября 2011 г. – Тамбов, 2011. – С. 79 – 82.

2. Ерофеев, А.В. Эксплуатационные характеристики декоративно-защитных плит покрытия зданий и сооружений / А.В. Ерофеев // АCADEMIA. Архитектура и строительство. Вып. 3. – М., 2011. – С. 112 – 113.

3. Ярцев, В.П. Прогнозирование поведения строительных материалов при неблагоприятных условиях / В.П. Ярцев, О.А. Киселева. – М., 2009.

УДК 69.691.3

О.В. Ефремова, С.В. Демидов, В.С. Грызлов

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРОИТЕЛЬНОГО ДРЕВОШЛАКОВОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА

Статья посвящена исследованию физико-механических и теплофизических свойств нового строительного материала на основе граншлака и древесных опилок посредством методов математического планирования эксперимента. Подобран рациональный состав и произведен сравнительный анализ наиболее распространенных строительных материалов и древошлакового композиционного материала, в результате которого установлено существенное преимущество последнего.

Древошлаковый композиционный материал, математическое моделирование, рациональный состав, прочность при сжатии, плотность и теплопроводность в сухом состоянии, сравнительный анализ.

The article is devoted to the study of physico-mechanical and thermophysical properties of new construction materials on the basis of slag and sawdust by means of the methods of mathematical planning of the experiment. Rational composition has been selected

and a comparative analysis of the most common building materials and timber-slag composite material has been made, resulting in a considerable advantage of the latter.

Timber-slag composite material, mathematical modeling, rational composition, compressive strength, specific gravity and heat conductivity in dry condition, comparative analysis.

Улучшение современного уровня строительства, в частности – решение задач энергосбережения, долговечности и экономичности на всех этапах от производства строительных материалов, изделий и конструкций до строительства и эксплуатации зданий – первостепенная задача. В связи с этим значимым является создание современных, эффективных, экономичных строительных материалов с улучшенными теплоизоляционными, физико-механическими свойствами и рациональными технологиями их получения, к которым относится модифицированный древошлаковый композиционный материал (ДШКМ). При его создании и выборе исходного сырья необходимо ориентироваться не на природные ресурсы, которые с каждым годом «тают» и не успевают воспроизводиться, а на крупнотоннажные отходы металлургического и лесо-, деревообрабатывающих производств, требующих больших затрат на хранение или утилизацию.

ДШКМ является конгломератом, основные составляющие которого – древесные опилки и гранулированный доменный шлак. Актуальной задачей является разработка методов оптимизации его структуры и свойств с целью создания бетона повышенной прочности и морозостойкости с одновременно низкой плотностью и теплопроводностью по сравнению с существующими деревобетонами.

Наиболее значимым критерием для большинства стройматериалов является правильное соотношение компонентов смеси. В состав композиционной древошлаковой смеси входят: молотый гранулированный доменный шлак $S_{уд} = 400 \text{ м}^2/\text{кг}$, цемент ПЦ 400-Д20 ГОСТ 10178-85, древесные опилки фракции 0 – 1,25 мм, модернизированный натриевый силикат, вода водопроводная.

Для определения рационального состава ДШКМ использовался метод математического планирования эксперимента с обработкой результатов методами математической статистики. В работе применен трехфакторный эксперимент. При проведении опытов все факторы варьировались на трех уровнях – основном (0), верхнем (+1) и нижнем (-1). Кодирование факторов и условия варьирования приведены в табл. 1.

Критерием оптимизации приняты следующие характеристики:

- предел прочности при сжатии в возрасте 28 сут., МПа;
- плотность в естественном состоянии в возрасте 28 сут., $\text{кг}/\text{м}^3$;
- плотность в сухом состоянии, $\text{кг}/\text{м}^3$;
- теплопроводность в сухом состоянии, $\text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$;
- водопоглощение по массе, %.

МОп* – модифицированные опилки – это смесь, состоящая из опилок, прошедших химическое модифицирование модернизированным натриевым силикатом [Пат], и нужного количества образовавшегося при этом щелочного раствора.

Для определения прочности при сжатии, водопоглощения, плотности в естественном и сухом состоянии использовались образцы – кубы с ребром 100 мм, а теплопроводности – плиточки размером $21 \times 100 \times 100 \text{ мм}$. Все образцы хранились в течение 28 сут. в камере нормального твердения при влажности $95 \pm 5 \%$ и температуре $20 \pm 30^\circ\text{C}$.

Испытания образцов на кратковременное действие нагрузки осевого сжатия производили на гидравлических прессах МС-500 и ПС-125, отвечающих требованиям ГОСТ 8905-82. Испытания плиточек для определения теплопроводности осуществлялись на приборе ИТП-МГ4 «100». Определение прочностных характеристик и плотности проводились согласно требований ГОСТ 24452, ГОСТ 12730.0, ГОСТ 12730.1, ГОСТ 10180; теплопроводности – ГОСТ 7076. Результаты математического планирования приведены в табл. 2.

Расслоения бетонной смеси и раствороотделения в процессе проведения ряда экспериментов не наблюдалось. Фактические составы композиционной смеси были близки к заданным (отклонение не превышало 1 – 2 %), что дало возможность вести математическую обработку результатов эксперимента по планируемому показателю.

Рассчитаны уравнения регрессии в виде полиномов второй степени, выражающие зависимость исследуемых свойств композита от исходных факторов:

$$y = b_0 \pm \sum b_i x_i \pm \sum b_{ii} x_i^2 \pm \sum b_{ij} x_i x_j,$$

где b_0 , b_i , b_{ii} , b_{ij} – коэффициенты регрессии; x_i , x_j – значение фактора в опыте.

Расчет коэффициентов регрессии в соответствии с заданной матрицей планирования проводился с помощью ЭВМ, проверка значимости коэффициентов регрессии осуществлялась по критерию Стьюдента, проверка адекватности полученных уравнений – по критерию Фишера.

После обработки экспериментальных данных для ДШКМ получены следующие полиномиальные квадратичные зависимости по некоторым критериям оптимизации (предел прочности при сжатии, плотность в сухом состоянии, теплопроводность в сухом состоянии):

$$R_{28}^{\text{нт}} = 120 + 23,9x_1 - 50,9x_3 - 19x_2^2 - 37,2x_3^2 -$$

$$-5,2 x_1 x_2 + 21,9 x_2 x_3 ,$$

$$-0,05 x_3^2 + 0,02 x_2 x_3 .$$

$$\rho_{28\text{нт}}^{\text{сух}} = 1256 + 29,3x_1 - 118,1x_3 + 158x_1^2 - 147x_3^2 + 51,75x_1x_3 + 70,5x_2x_3,$$

$$\lambda_{28}^{\text{сух}} = 0,23 + 0,03x_1 - 0,03x_3 + 0,02x_1^2 -$$

Для данных уравнений построены графические зависимости прочности, плотности и теплопроводности от варьируемых факторов, которые представлены на рис. 1, 2, 3.

Таблица 1

Значения интервалов варьирования факторов

Условия кодирования и варьирования факторов					
Фактор, вид		Уровни варьирования			Интервал варьирования
Натуральный	Кодированный	-1	0	+1	
Количество цемента от массы граншлака в композиционной смеси, % (Ц/Гр)	X_1	3	7	11	0,04
Отношение модифицированных опилок (МОп*) к составному вяжущему смеси (МОп/В)	X_2	0,36	0,41	0,46	0,05
Количество опилок, содержащихся в модифицированных опилках, от массы молотого граншлака, % (Оп/Гр)	X_3	6	10	14	4

Таблица 2

Результаты математического планирования эксперимента

Номер опыта	План эксперимента			R сж, МПа	ρ в ест/сост., кг/м ³	ρ в сух/сост., кг/м ³	λ , Вт/(м·К)	W по массе, %
	X_1	X_2	X_3					
1	+	+	+	5,64	1467	1282	0,224	35,17
2	-	+	+	1,24	1299	1094	0,148	45,77
3	+	-	+	1,96	1231	1120	0,204	44,59
5	+	+	-	11,58	1595	1450	0,230	35,35
6	-	+	-	7,56	1724	1187	0,158	33,63
7	+	-	-	19,28	1762	1425	0,270	27,67
8	-	-	-	13,06	1742	1397	0,250	29,19
9	+	0	0	14,83	1713	1378	0,252	28,54
10	-	0	0	7,06	1650	1297	0,215	32,94
11	0	+	0	13,03	1590	1340	0,261	35,12
12	0	-	0	3,11	1374	1095	0,167	38,74
13	0	0	+	2,22	1302	956	0,121	53,46
14	0	0	-	10,43	1544	1180	0,202	33,37
15	0	0	0	14,20	1687	1307	0,249	31,25
16	0	0	0	14,75	1685	1288	0,249	31,60
17	0	0	0	14,52	1689	1295	0,248	31,37

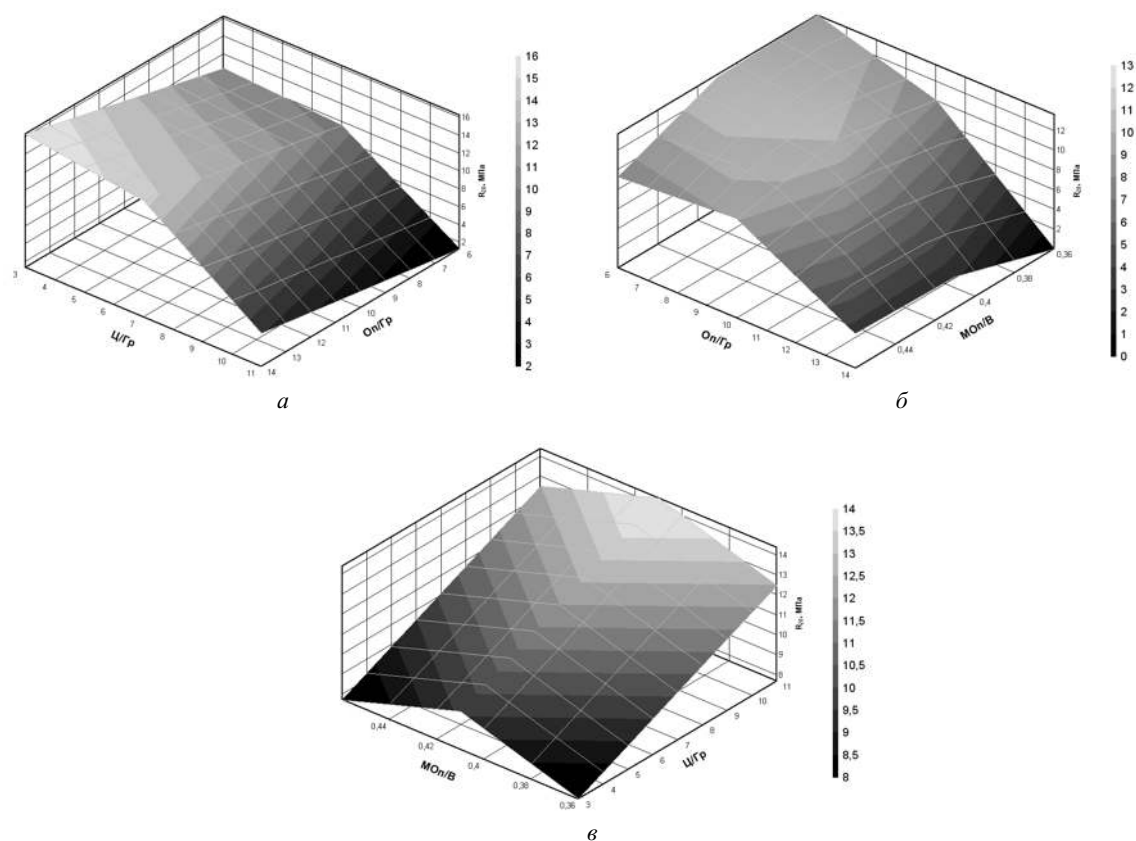


Рис. 1. Зависимость прочности ДПКМ на 28 сутки НТ от:
a – отношения МОп/В; *б* – содержания опилок; *в* – количества цемента

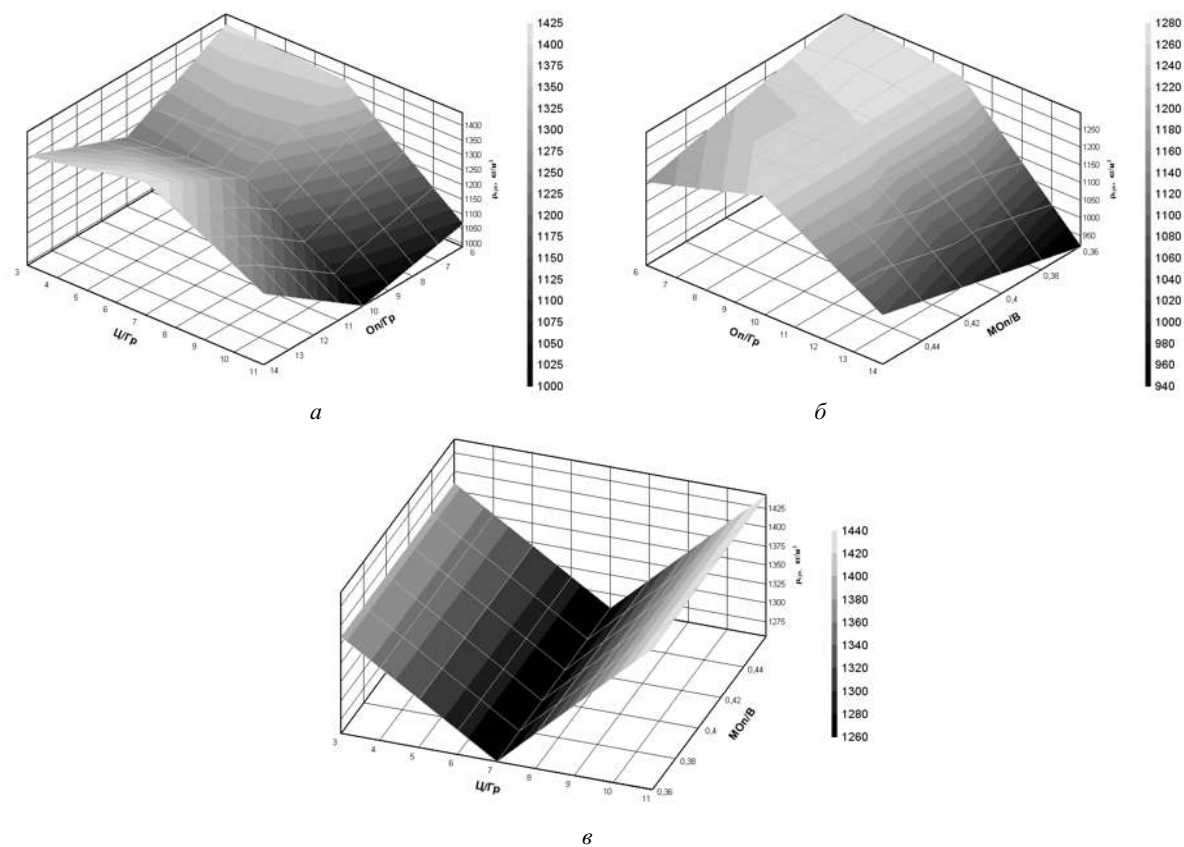


Рис. 2. Зависимость плотности в абсолютно сухом состоянии от:
a – отношения МОп/В; *б* – содержания опилок; *в* – количества цемента

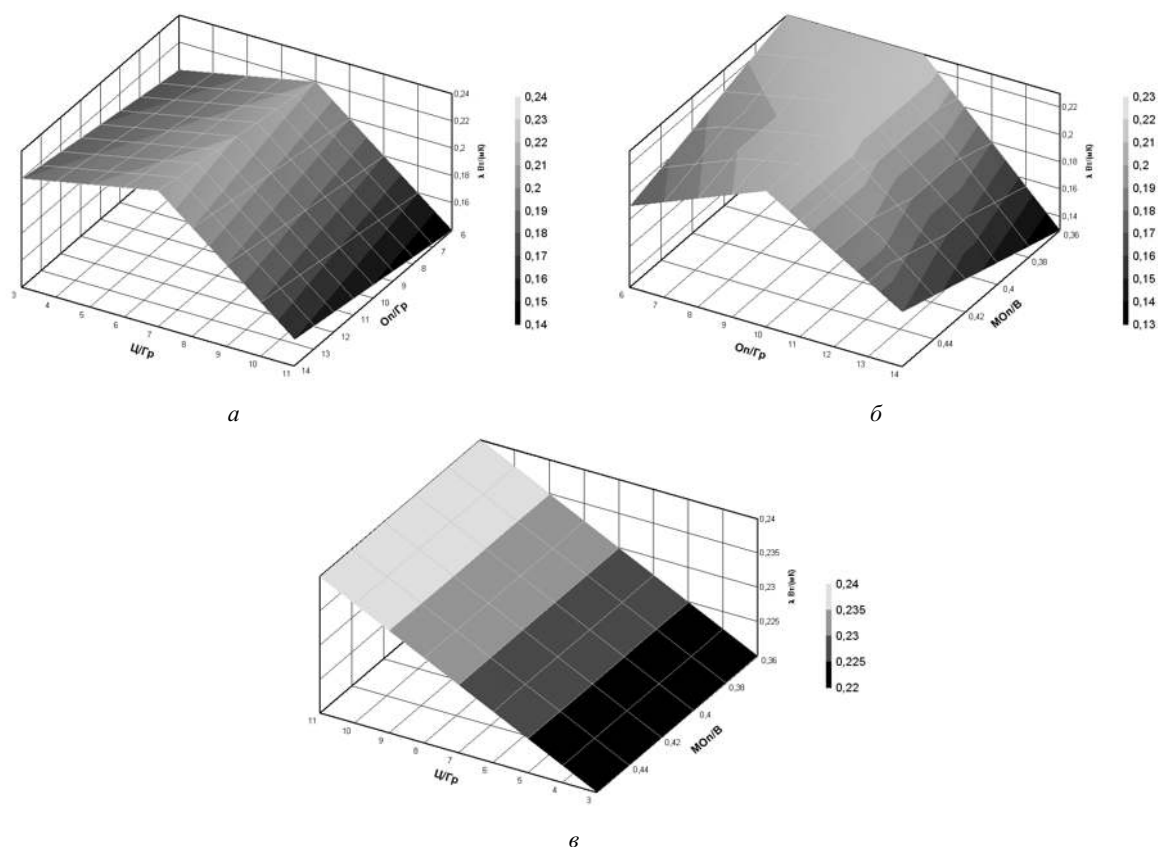


Рис. 3. Зависимость теплопроводности в сухом состоянии от:
а – отношения МОп/В; б – содержания опилок; в – количества цемента

Как видно из графических моделей, представленных на рис. 1, при Ц/Гр от 3 до 11 % прочность максимальна, если МОп/В = 0,41. При градации МОп/В от 0,36 до 0,46 прочность возрастает с увеличением количества опилок и минимальном Ц/Гр. При повышении содержания опилок прочность увеличивается при МОп/В = 0,41 и увеличении количества цемента. Таким образом, практически во всех вариациях прочность максимальна при МОп/В = 0,41 и количестве цемента 7 % от массы граншлака.

При анализе полученных зависимостей на рис. 2 сделаны следующие выводы. При содержании в ДШКМ древесных опилок Оп/Гр=10 % и количестве цемента Ц/Гр=7 % плотность минимальная. МОп/В не влияет на плотность составов при вариациях Оп/Гр и Ц/Гр, если Оп/Гр=10 %.

При повышении содержания в материале цемента, опилок и МОп/В теплопроводность материала в сухом состоянии увеличивается. Анализ полученных зависимостей позволил установить граничные значения варьируемых факторов, обеспечивающих наилучшие физико-механические и теплофизические свойства ДШКМ. Рациональная структура представлена оптимальными факторами:

- Ц = 7 % от массы молотого граншлака;
- МОп/В = 0,41
- Оп = 10 % от массы молотого граншлака, содержащихся в МОп.

Смесь подвижная – марка по удобоукладываемости П1, П2 (осадка конуса составляет 4 – 7 см). Смесь отвечает требованиям ГОСТ 10181, ГОСТ 7473.

По прочности на сжатие полученные бетоны подразделяются на классы:

- теплоизоляционные – В 0,75, В 1, В 1,5, В 2;
- конструктивно-теплоизоляционные – В 2,5, В 3,5, В 5, В 7,5, В 10;
- конструкционные бетоны – В 12,5, В 15.

По значениям средней плотности в сухом состоянии ($950 - 1450 \text{ кг/м}^3$) ДШКМ относится к группе легких бетонов.

При данных значениях факторов материал обладает минимальной плотностью ($\rho_{\text{сух/сост}} = 1300 \text{ кг/м}^3$), обеспечивающей наибольшие прочностные показатели на 28 сут. нормального твердения ($R_{\text{сж}} = 14 \text{ МПа}$) и наилучшие показатели теплопроводности ($\lambda_{\text{сух/сост}} = 0,249 \text{ Вт/(м·К)}$).

Оптимальный состав ДШКМ приведен ниже:

Наименование компонента	Расход материалов на 1 м ³ смеси
Вязущее: в том числе молотый граншлак 1100 кг + цемент 77 кг	1177
Древесные опилки	110
Модернизированный натриевый силикат	770

Согласно техническим требованиям, предъявляемым к легким бетонам, исследуемый материал относится к конструкционным и конструкционно-теплоизоляционным легким бетонам. Материал удовлетворяет нормативным требованиям ГОСТ 25820-2000 по прочности на осевое сжатие (класс не менее В 2,5), марке по морозостойкости (не менее F25).

Анализ результатов наблюдений за образцами из ДШКМ, хранившихся в условиях воздействия мороза, солнца, атмосферных осадков, динамических и статических нагрузок, позволяет сделать главный вывод: его эксплуатационные свойства превышают эксплуатационные свойства традиционных деревобетонов.

Сравнительный анализ бетонов на древесных заполнителях и других равноплотных конструкционно-теплоизоляционных бетонов с ДШКМ (табл. 3) показывает преимущество последнего.

В сравнительном аспекте доказано, что бетоны из древошлакового композита имеют улучшенные физико-механические и теплофизические параметры, чем аналогичные равноплотные бетоны и деревобетоны. Кроме того, новый строительный материал экологически безопасен для использования в производстве широкой номенклатуры конструкций (стеновые блоки, камни, перегородки, панели) гражданского, сельскохозяйственного и промышленного строительства. Экологическая безопасность обусловлена соответствием требованиям стандартов, в том числе по определению мощности гамма-фона и эффективной активности ЕРН. ДШКМ относится к первому классу строительных материалов в соответствии с критериями для принятия решения об использовании строительных материалов (ГОСТ 30108-94).

Таблица 3

Сравнительный анализ материалов

Наименование материала	Плотность $\rho_{\text{сух}}$, кг/м ³	Класс бетона или марка изделия	Коэффициент теплопроводности $\lambda_{\text{сух}}$, Вт/(м·К)	Морозостойкость, цикл
Арболит: ¹ - стены, перегородки, блоки элементы несъемной опалубки:	300 – 900	В0,35 – В3,5	0,07 – 0,19	15 – 50
- СЦП типа Велокс - пустотелые блоки типа Дюрисол	700 – 800 300 – 450	В2,5 – В3,5 В1,5 – В2,5	0,14 – 0,16 0,07 – 0,075	
Фибролит ²	280 – 570	В0,35 – В0,75	0,06 – 0,07	15 – 50
Опилкобетон ^{2,3}	400 – 1100	В1 – В3,5	0,08 – 0,32	50 – 100
ШЩБ на органическом заполнителе ⁴	1200 – 1400	В3,5 – В7,5	нет данных	более 100
Ячеистые бетоны:				
- Газобетон ^{5,6} газобетонные блоки	500 – 900	В1 – В7,5	0,10 – 0,24	15 – 100
- Пенобетон ^{5,6} пенобетонные блоки	1000 – 1200	В5 – В15	0,23 – 0,38	15 – 50
ДШКМ - констр-теплоизоляц., и констр-рукц., бетон	1180 – 1420	В5 – В15	0,15 – 0,27	не менее 200*

Примечание: * – Морозостойкость ДШКМ указана для класса В10.

¹ Согласно ГОСТ 54854-2011 «Бетоны легкие на органических заполнителях растительного происхождения. Технические условия».

² Наназашвили, И.Х. Строительные материалы из древесно-цементной композиции / И.Х. Наназашвили. – Л., 1990.

³ URL: www.opilkobeton.ru

⁴ Бабийчук, И.П. Шлакощелочные бетоны на органических заполнителях / И.П. Бабийчук // Цемент. – 1991. – № 3 – 4. – С. 46 – 49.

⁵ Согласно ГОСТ 25485-89 «Бетоны ячеистые. Технические условия».

⁶ Согласно ТУ 5870-001-21655395-2000 «Пенобетон. Технические условия», а также согласно ГОСТ 21520-89 «Блоки из ячеистых бетонов. Стеновые мелкие. Технические условия» и ГОСТ 31359-2007 «Бетоны ячеистые автоклавного твердения. Технические условия».

Литература

1. ГОСТ 25820-2000 Бетоны легкие. Технические условия. – Введ. 2001-09-01. – М., 2000.

2. Шляхова, Е.А. Оценка границ применимости сырья для производства шлакощелочных вяжущих / Е.А. Шляхова, А.Ф. Акопян // Строительные материалы. – 2010. – № 11. – С. 28 – 29.

ва, А.Ф. Акопян // Строительные материалы. – 2010. – № 11. – С. 28 – 29.