

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СОСТАВА МЕЛКОЗЕРНИСТОГО НАПОЛНИТЕЛЯ ПРЕССОВАННЫХ ЦЕМЕНТНЫХ КОМПОЗИЦИЙ

В. Д. Черепов¹, Е. А. Бородина¹, Д. В. Попова²

¹Поволжский государственный технологический университет (г. Йошкар-Ола)

²Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (г. Москва)

В настоящее время важной научной и производственной задачей строительного материаловедения является подбор рецепта искусственного каменного материала, а также технологии его приготовления. Искусственный камень имеет разное функциональное назначение, что предполагает различные технологические свойства при аналогичных свойствах готовой продукции. Особое внимание уделяется снижению итоговой стоимости изделий при сохранении основных технико-эксплуатационных свойств.

Решение данной задачи состоит в эффективном использовании региональных ресурсов. Возможность рационально и комплексно включать в состав искусственного камня местные природные ресурсы, а также отходы производства или добычи таких ресурсов – это более совершенный способ рационального их использования.

Особое внимание привлекают карбонатные породы, что обусловлено их широким распространением на территории европейской части Российской Федерации. Только на территории Республики Марий Эл исследованы восемь месторождений карбонатных пород, общие запасы которых составляют чуть более 109 000 тыс. м³. Важной особенностью добычи карбонатных пород является получение в процессе разработки достаточно большого количества отсевов дробления. За годы разработки месторождения накопление отсевов дробления песочной и пылеватой фракции приводит к ухудшению экологической обстановки в районах карьеров.

Научные исследования, описанные в данной статье, направлены на определение влияния гранулометрического состава отсевов дробления на формирование технико-эксплуатационных свойств искусственного камня, полученного методом прессования.

Результаты экспериментальных исследований позволили сделать выводы о том, что из смесей, состоящих из цемента и отсевов дробления карбонатных пород Памашъяльского месторождения Республики Марий Эл (10 и 90 % от массы сухих компонентов смеси соответственно), методом прессования, при величине прессующего давления 18 МПа и среднем значении влажности формовочной смеси, может быть получен искусственный камень с прочностью при сжатии 8,41-21,18 МПа. Также доказано, что основное влияние на формирование технико-эксплуатационных свойств искусственного прессованного камня оказывает минералогический состав сырья.

Ключевые слова: отсевы дробления карбонатных пород; искусственный камень; минеральный состав; гранулометрический состав; прочность; водостойкость.

Введение. В современном мире все большее внимание уделяется экономному использованию существующих невозобновляемых природных ресурсов. Не является исключением и строительная отрасль, поскольку потребление материалов различного функционального назначения растет здесь с

каждым годом. В то же время одной из ключевых задач строительного материаловедения является разработка рецептурно-технологических параметров получения готовой продукции, обеспечивающих максимальное снижение ее себестоимости при одновременном формировании основных тех-

нико-эксплуатационных свойств, отвечающих высоким современным требованиям.

Одним из наиболее эффективных путей решения обозначенного ряда задач, является комплексное и рациональное использование ресурсной базы регионов. Ключевое условие реализации данного подхода состоит в применении не только непосредственно самих природных ресурсов, но и отходов их добычи / производства.

Значительный интерес в данном контексте представляют карбонатные породы, что объясняется фактом их значительного распространения на территории Российской Федерации, в том числе, ее европейской части. Так, например, на территории Республики Марий Эл разведано 8 месторождений карбонатных пород:

✓ Ировское месторождение (общие запасы полезных ископаемых данного месторождения составляют 2305 тыс. м³) [1];

✓ Коркатовское месторождение (общие запасы полезных ископаемых 3061 тыс. м³) [2];

✓ Новоторъяльское месторождение (общие запасы полезных ископаемых 26880 тыс. м³) [3];

✓ Памашъяльское месторождение (общие запасы полезных ископаемых 30913 тыс. м³) [4];

✓ Ронгинское месторождение (общие запасы полезных ископаемых 299 тыс. м³) [5];

✓ Чодраяльское месторождение (общие запасы полезных ископаемых 1474 тыс. м³) [6];

✓ Месторождение Чукшинское-I (общие запасы полезных ископаемых 38860 тыс. м³) [7];

✓ Юрдурское месторождение (общие запасы полезных ископаемых 5579 тыс. м³) [8].

Специфической особенностью добычи данного вида полезных ископаемых является образование в процессе разработки значительного количества отсевов дробления (ОД). Данная особенность, исходя из существующей практики функционирования карьеров, обуславливает ухудшение экологической ситуации в районах их размещения в связи со складированием ОД на значительной площади, увеличением пылевой нагрузки на окружающую среду, размывом отвалов и т.д. Дан-

ный факт еще раз подтверждает актуальность исследования вопросов комплексного использования карбонатных пород при производстве строительных материалов как одного из наиболее эффективных путей решения проблемы утилизации отходов их добычи и переработки.

Анализ существующих исследований, целью которых было оценить возможность применения отсевов дробления карбонатных пород (ОДКП) при получении искусственного камня методом прессования [9-11], позволяет констатировать следующее:

- неоднородность основных свойств ОДКП в пределах одного месторождения;
- неоднородность гранулометрического состава ОДКП в пределах одного места складирования (отвала);
- наличие фактической возможности улучшения основных технико-эксплуатационных свойств искусственного камня, полученного прессованием, с помощью приемов химической модификации сырьевых смесей (модифицированный искусственный каменный материал).

Цель работы. С учетом вышеизложенных фактов сформулирована цель представленного исследования: определение степени влияния гранулометрического и минерального составов ОДКП на формирование основных технико-эксплуатационных свойств немодифицированного прессованного искусственного каменного материала.

Моделирование гранулометрического состава ОДКП

Моделью подбора гранулометрического состава был принят расчет гранулометрической кривой, отражающий «идеальную» кривую рассеивания частиц. В качестве математической основы использовано уравнение Болломея, имеющее вид

$$G_{\text{пр}} = A + (100 - A) \sqrt{\frac{d_i}{d_{\text{max}}}}, \quad (1)$$

где A – коэффициент, вводимый в уравнение, отражающий форму и размер частиц заполнителя; $G_{\text{пр}}$ – процент прохода частиц через

условное сито размером d_i , мм; d_{\max} – наибольший размер зерна в смеси, мм.

Коэффициент, позволяющий рассчитать содержание тонкодисперсных фракций в зависимости от качества поверхности и формы зерен заполнителя, варьируется от 1,18-1,89 [12]. В соответствии с этим в рамках данного этапа исследований проводится анализ фактической применимости идеальных кривых рассеивания по Боломею, рассчитываемых для отсевов дробления карбонатных пород Памашьяльского карьера Республики Марий Эл, с применением коэффициентов формы для тонкодисперсных материалов.

В ходе первого этапа исследований был проверен зерновой состав отсевов дробления карбонатных пород Памашьяльского карьера РМЭ, результаты представлены в таблице 1.

С использованием (1) была построена мо-

дель гранулометрического состава для тонкодисперсных фракций заполнителя для искусственного строительного камня.

Таблица 1

Гранулометрический состав отсевов дробления карбонатных пород Памашьяльского карьера РМЭ

Фракции, мм	d , мм	D , мм	Исходный (нескорректированный) гранулометрический состав ОДКП	
			Полные остатки, %	Частные остатки, %
менее 0,16	0,16	5	4	4
0,16 - 0,315	0,315		28	24
0,315 - 0,63	0,63		47	19
0,63 - 1,25	1,25		59	12
1,25 - 2,5	2,5		73	14
2,5 - 5	5		95	22
5 - 10	–		100	5
СУММА, %			100	

Гранулометрический состав ОДКП с коэффициентом $A = 1,18 \div 1,89$ приведен в таблице 2.

Таблица 2

Гранулометрический состав отсевов дробления карбонатных пород при $A = 1,18 \div 1,89$ (частные остатки, %)

Фракции, мм	d , мм	D , мм	$A = 1,18$	$A = 1,42$	$A = 1,65$	$A = 1,89$	Среднее значение
менее 0,16	0,16	5	18,86	19,05	19,24	19,44	19
0,16 - 0,315	0,315		7,13	7,11	7,09	7,07	7
0,315 - 0,63	0,63		10,27	10,25	10,23	10,20	10
0,63 - 1,25	1,25		14,33	14,30	14,26	14,23	14
1,25 - 2,5	2,5		20,47	20,42	20,37	20,32	21
2,5 - 5	5		28,94	28,87	28,81	28,74	29
5 - 10	–		0	0	0	0	0

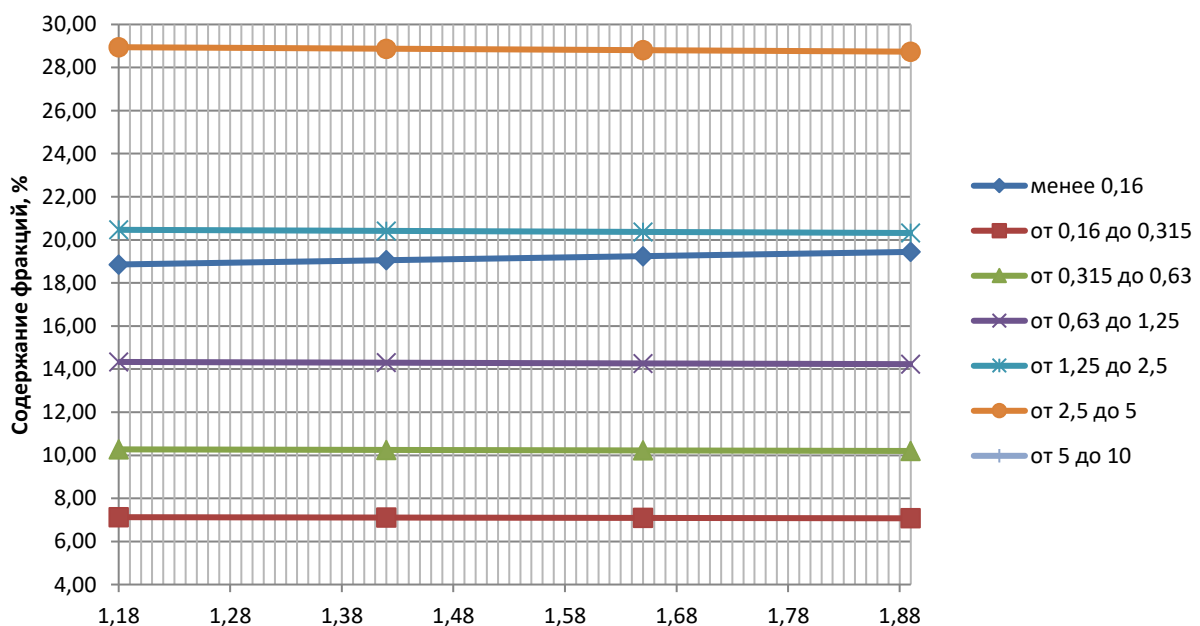


Рисунок 1. Изменение содержания (%) частиц в зависимости от коэффициента $A = 1,18-1,89$

На рисунке 1 представлены графики изменения содержания частиц определенного размера в зависимости от коэффициента A .

Проведенный расчет показал, что варьирование коэффициента формы тонкодисперстного заполнителя в заданном интервале не приводит к существенному изменению процентного содержания фракций ОДКП в идеальной кривой просеивания, составленной по формуле Боломея.

На рисунке 1 видно, что увеличение коэффициента формы A приводит к повышению содержания наименьшей фракции при одновременном снижении содержания остальных фракций. При этом уровень снижения содержания фракций напрямую зависит от крупности последней: чем крупнее фракция, тем значительней снижается ее содержание при увеличении коэффициента формы.

Итоговые гранулометрические составы ОДКП, соответствующие идеальным кривым просеивания, рассчитанным по формуле Боломея, представлены в таблице 3.

Таблица 3
Итоговый гранулометрический состав ОДКП по модели Боломея

ФРАКЦИЯ	Смоделированный гранулометрический состав при $A = 1,18-1,89$	Исходный гранулометрический состав
менее 0,16	19	4
от 0,16 до 0,315	7	24
от 0,315 до 0,63	10	19
от 0,63 до 1,25	14	12
от 1,25 до 2,5	21	14
от 2,5 до 5	29	22
от 5 до 10	0	0

На рисунке 2 представлен график полных проходов частиц (в %) при изменении коэффициента A в формуле Боломея (1).

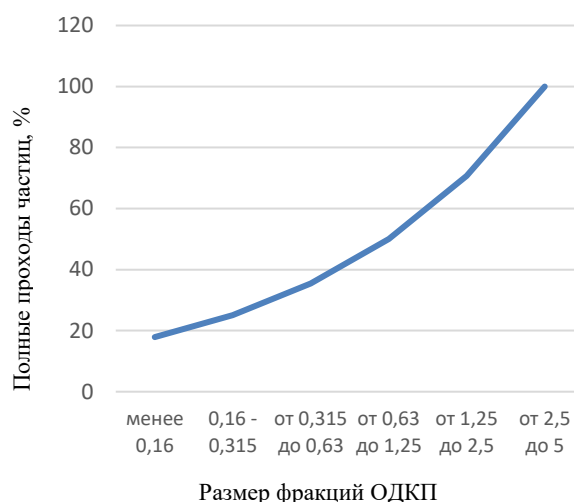


Рисунок 2. Полные проходы частиц при коэффициенте $A = 1,18-1,89$

Методика и результаты эксперимента

Основные технико-эксплуатационные свойства искусственного камня, полученного методом прессования на основе ОДКП, проверялись с помощью оценки свойств прочности и водостойкости образцов материала. Составы образцов получали на основе исходного немодифицированного сырья (Тип 1), а также смоделированного гранулометрического состава на основе модели Боломея (Тип 2). Практический этап исследования был основан на проверке коэффициента $A = 1,18-1,89$ по модели Боломея.

Результаты анализа минерального состава 11 проб, отобранных из партии отсевов дробления карбонатных пород, использованной при проведении экспериментальных исследований, представлены в таблице 4. Исследования проводились методом рентгенографического количественного фазового анализа с помощью прибора Дифрактометр D8 Advance фирмы Bruker.

Анализ полученных результатов позволяет констатировать значительную неоднородность минерального состава партии отсевов дробления карбонатных пород, использованной при проведении комплекса экспериментальных исследований.

Таблица 4

Минеральный состав ОДКП

Наименование пробы	Минеральный состав, % масс.				
	Кварц	Кальцит	Доломит	ПШ	Прочее
ОДКП-П1-пр.1	1,4	72,0	26,6	следы	*
ОДКП-П1-пр.2	1,4	37,8	60,8	следы	*
ОДКП-П1-пр.3	2,3	45,8	51,9	следы	*
ОДКП-П1-пр.4	1	35,9	63,1	следы	*
ОДКП-П1-пр.5	1,6	34,2	64,2	следы	*
ОДКП-П1-пр.6	1,2	44,5	54,3	следы	*
ОДКП-П1-пр.7	1,2	44,2	54,3	0,3	*
ОДКП-П1-пр.8	1,8	51,9	45,9	0,4	*
ОДКП-П1-пр.9	0,8	42,5	56,7	следы	*
ОДКП-П1-пр.10	1,2	35,2	63,2	0,4	*
ОДКП-П1-пр.11	1,0	81,0	12,0	1,0	Глина - 5,0

* Минерал не обнаружен.

Примечание. Полевые шпаты представлены калиевыми полевыми шпатами и плагиоклазами.

В частности, содержание кварца в исследуемой партии ОДКП варьируется в диапазоне 0,8-2,3 %, что определяет теоретическую возможность изменения количественного содержания данного минерала в образцах одной партии до 187,5 %. Содержание кальцита в исследуемой партии ОДКП варьируется в диапазоне 34,2-81,0 %, что обуславливает теоретическую возможность изменения количественного содержания данного минерала в образцах одной партии до 136,8 %. Содержание доломита в исследуемой партии ОДКП варьируется в диапазоне 12,0-64,2 %, что определяет теоретическую возможность изменения количественного содержания данного минерала в образцах одной партии до 435 %. Содержание глины в исследуемой пар-

тии ОДКП варьируется в диапазоне 0-5 %.

Исследование прочности и водостойкости прессованного искусственного каменного материала осуществлялось на составах с содержанием цемента (ПЦ 400 Д0) 10 % от массы сухих компонентов смеси. Содержание ОДКП во всех составах – 90 % от массы сухих компонентов смеси. Величина прессующего давления составляла 18 МПа. Формовочная влажность смесей варьировалась в диапазоне 7,2-13,2 % от массы сухих компонентов смеси.

Размеры цилиндрических образцов для определения технико-эксплуатационных характеристик составляли: диаметр – 70 мм, высота – 70 мм.

Результаты экспериментальных испытаний представлены в таблице 5 и на рисунке 3.

Таблица 5

Результаты определения прочностных характеристик материала

Влажность формовочной смеси, % от массы сухих материалов	Прочность при сжатии образцов, МПа		
	в возрасте 28 суток	в водонасыщенном состоянии	в сухом состоянии
Образцы, изготовленные на основе ОДКП с исходным (Тип 1) гранулометрическим составом			
7,2	17,67	13,53	28,18
10,2	21,18	14,60	29,24
13,2	18,41	13,82	28,50
Образцы, изготовленные на основе ОДКП со скорректированным (Тип 2) гранулометрическим составом			
7,2	5,94	5,35	12,61
10,2	8,41	7,13	24,97
13,2	11,21	8,15	21,91

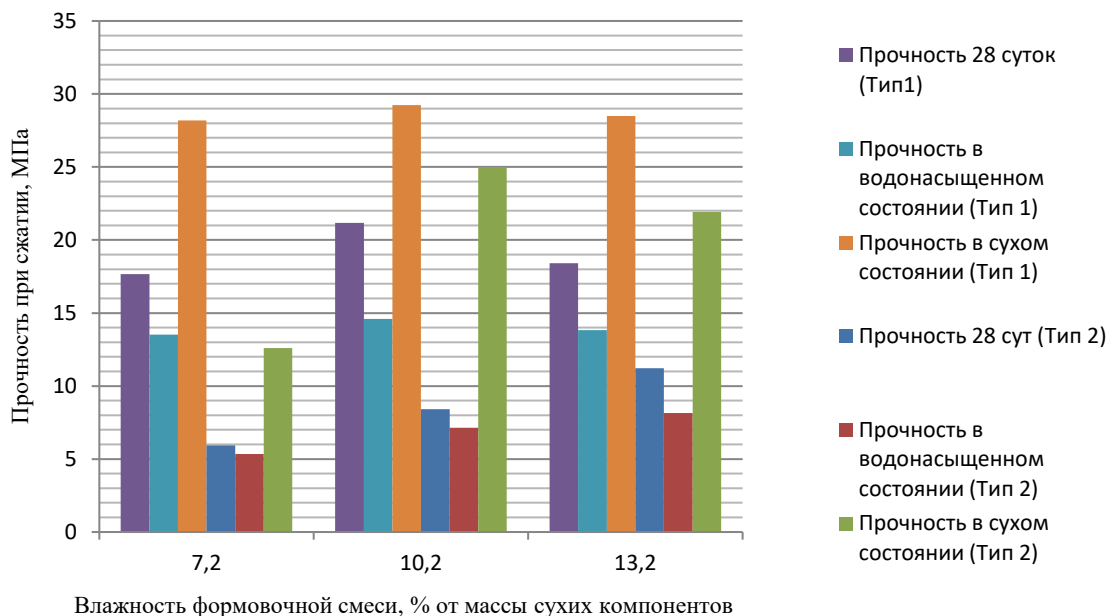


Рисунок 3. Результаты определения прочностных свойств прессованного искусственного камня

Для полученных образцов при выбранных значениях начальной формовочной влажности рассчитан коэффициент водостойкости. Значения его приведены в таблице 6 и на рисунке 4.

Таблица 6

Результаты расчета коэффициента водостойкости

Влажность формовочной смеси, % от массы сухих материалов	Образцы с исходным гранулометрическим составом ОДКП (Тип 1)	Образцы со скорректированным гранулометрическим составом (Тип 2)
7,2	0,480128	0,424266
10,2	0,499316	0,285543
13,2	0,484912	0,371976

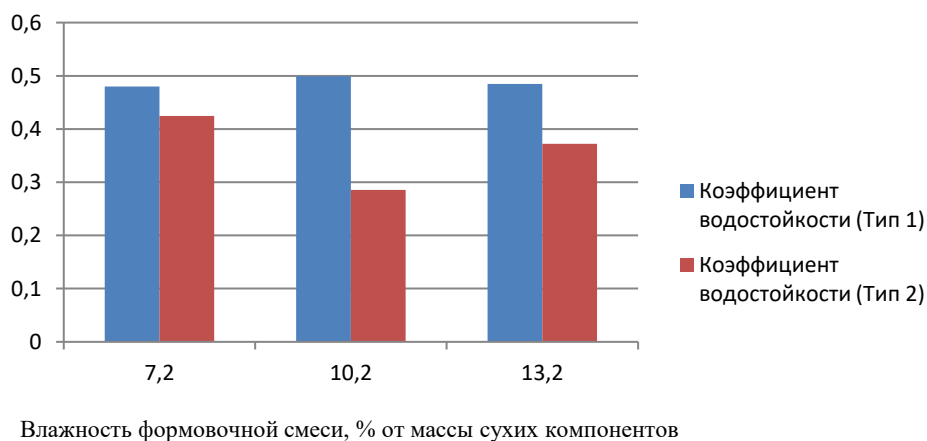


Рисунок 4. Результаты определения водостойкости прессованного искусственного каменного материала

Выводы. Анализируя полученные в ходе экспериментальных исследований данные, можно сделать следующие выводы:

- проведено математическое моделирование подбора гранулометрического состава искусственного цементного камня, полу-

ченного методом прессования;

- из смесей, состоящих из цемента и отсеков дробления карбонатных пород Памашьяльского месторождения Республики Марий Эл 10 и 90 % от массы сухих компонентов смеси соответственно, методом прессования, при величине прессующего давления 18 МПа и среднем значении влажности формовочной смеси, может быть получен искусственный камень с прочностью при сжатии 8,41-21,18 МПа;

- применение в составе исследуемого материала ОДКП с гранулометрическим составом, скорректированным путем применения модели Боломея с коэффициентом A , равным

1,18-1,82, привело к снижению прочностных характеристик образцов при незначительном изменении коэффициента водостойкости. Данный факт может быть объяснен значительной неоднородностью минерального состава ОДКП, использованных при проведении исследований.

На основании описанных выше результатов можно заключить, что ключевую роль в формировании важнейших технико-эксплуатационных свойств прессованного искусственного каменного материала играет минеральный состав отсеков дробления карбонатных пород как основного компонента сырьевой смеси.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Паспорт месторождения неметаллических полезных ископаемых № 88-Б-00084 (месторождение Ировское) / Марийский филиал ФБУ «ТФГИ по ПФО». Приемка паспорта 01.03.2013.
2. Паспорт месторождения неметаллических полезных ископаемых № 43 (№ 671) (месторождение Коркатовское) / Марийский филиал ФБУ «ТФГИ по ПФО». Приемка паспорта 12.10.1994.
3. Паспорт месторождения неметаллических полезных ископаемых № 36 (№ 324) (месторождение Новоторьяльское, участок Северный) / Марийский филиал ФБУ «ТФГИ по ПФО». Приемка паспорта 12.10.1994.
4. Паспорт месторождения неметаллических полезных ископаемых № 38 (месторождение Памашьяльское) / Марийский филиал ФБУ «ТФГИ по ПФО». Приемка паспорта 23.04.2004.
5. Паспорт месторождения неметаллических полезных ископаемых № 88-Б-00076 (месторождение Ронгинское) / Марийский филиал ФБУ «ТФГИ по ПФО». Приемка паспорта 14.03.1997.
6. Паспорт месторождения неметаллических полезных ископаемых № 88-Б-00053 (№ 643-Б-22948) (месторождение Чодраяльское) / Марийский филиал ФБУ «ТФГИ по ПФО». Приемка паспорта Департаментом экологической безопасности, природопользования и защиты населения 08.07.2015.
7. Паспорт месторождения неметаллических полезных ископаемых № 41 (№ 17248) (месторождение Чукшинское-1) / Марийский филиал ФБУ «ТФГИ по ПФО». Приемка паспорта 22.04.2011.
8. Паспорт месторождения неметаллических полезных ископаемых № 37 (№ 330) (месторождение Юрдурское) / Марийский филиал ФБУ «ТФГИ по ПФО». Приемка паспорта 12.10.1994.
9. Красикова О.В., Черепов В.Д., Попова Д.В. Исследование влияния величины прессующего давления на формирование свойств прессованного искусственного каменного материала на основе отсеков дробления карбонатных пород // *Фундаментальные исследования*. 2016. № 11-2. С. 293-299. URL: <http://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=40969> (дата обращения 12.12.2018).
10. Кононова О.В., Черепов В.Д. Модифицированный искусственный камень на основе отсеков дробления карбонатных пород // *Современные проблемы науки и образования*. 2013. № 1. URL: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=8295> (дата обращения 12.12.2018).
11. Кононова О.В., Черепов В.Д. Структурообразование искусственного камня на основе отсеков дробления карбонатных пород // *Фундаментальные исследования*. 2014. № 9-6. С. 1200-1204. URL: <http://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=35038> (дата обращения 12.12.2018).
12. Черепов В. Д. Искусственный каменный материал на основе отсеков дробления карбонатных пород: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05 / Черепов Владимир Дмитриевич; [Место защиты: Иван. гос. политехн. ун-т]. Йошкар-Ола, 2015. 270 с.: ил.
13. DIN 66141:1974-02. Darstellung von Korn-(Teilchen-)größen verteilungen; Grundlagen (Распределение частиц по величинам. Основные положения); в наст. вр. заменен на DIN ISO 9276-1:2004-09. Darstellung der Ergebnisse von Partikel größenanalysen - Teil 1: Grafische Darstellung (ISO 9276-1:1998) (Гранулометрический анализ. Представление результатов. Часть 1. Графическое представление)

Информация об авторах

ЧЕРЕПОВ Владимир Дмитриевич – кандидат технических наук, доцент кафедры строительных технологий и автомобильных дорог, Поволжский государственный технологический университет, Йошкар-Ола. Область научных интересов – технико-эксплуатационные свойства композиционных материалов на основе неорганических вяжущих. E-mail: cherepov.86@mail.ru

БОРОДИНА Елизавета Андреевна – старший преподаватель кафедры строительных технологий и автомобильных дорог, Поволжский государственный технологический университет, Йошкар-Ола. Область научных интересов – рецептурно-технологические параметры изготовления конструкционных строительных материалов. E-mail: lizen_ok@list.ru

ПОПОВА Дарья Валерьевна – студентка Института строительства и архитектуры Национального исследовательского Московского государственного строительного университета, Москва. Специальность – строительство уникальных зданий и сооружений. E-mail: popovadasha731@gmail.com

UDC 691.316

DOI: 10.25686/2542-114X.2020.4.6

**MATHEMATICAL MODELING OF PROPORTION FILLER GRAIN
FOR PRESSED CONSTRUCTION STONE*****V. D. Cherepov¹, E. A. Borodina¹, D. V. Popova²****¹Volga State University of Technology (Yoshkar-Ola)**²Moscow State National Research University of Civil Engineering (Moscow)*

Building material science is currently facing an urgent research and practical challenge of artificial stone material selection and the technology of its preparation. Artificial stone has different functional purposes, which imply different technological properties with similar properties of a finished product. Particular attention is paid to cost effectiveness along with preserving the basic technical and operational properties.

The solution to this problem lies in the effective use of regional resources. The possibility to rationally and comprehensively include in the artificial stone composition the local natural resources, as well as waste production or production of these resources represents a better way to manage them.

Particular attention is paid to carbonate rocks, due to their wide spread in the European part of the Russian Federation. Only on the territory of Mari El Republic there were eight deposits of carbonate rocks examined, with the total reserves exceeding 109 million m³. An important feature of carbonate rock production is to obtain a sufficiently large number of screenings of crushing during mining. Over the years of mining development there has been a significant accumulation of crushing sand and dust fraction, which causes deterioration of quarry environment.

The research aims to examine the influence of granulometric composition of crushing screenings on the establishment of technical and operational properties of artificial stone obtained by pressing.

The research results prove that the mixture of cement and crushing screenings of carbonate mined in Pamashialskoe deposit in Mari El Republic (10 and 90 % by weight of the dry components of mixture, respectively) exposed to extrusion, with the value of extruding pressure of 18 MPa and the average humidity of the molding mixture can produce artificial stone with a compressive strength of 8.41-21.18 MPa. It has also been proved that mineralogical composition of raw materials has a significant impact on the formation of technical and operational properties of artificial pressed stone.

Keywords: carbonaceous rock crushing screenings; artificial stone; mineral composition; granulometric composition; strength; water resistance.

REFERENCES

1. Pasport mestorozhdeniya nemetallicheskih poleznyh iskopaemyh No. 88-B-00084 (Irovskoye mestorozhdenie), Marijskij filial FBU "TFGI po PFO", priemka pasporta 01.03.2013 [Passport of non-metallic mineral deposit, No. 88-B-00084 (Irovskoye deposit) Mari Branch of FBU "TFGI in Volga Federal Region", acceptance of passport 01.03.2013].
2. Pasport mestorozhdeniya nemetallicheskih poleznyh iskopaemyh No. 43 (No. 671) (mestorozhdenie Korkatovskoe), Marijskij filial FBU "TFGI po PFO", priemka pasporta 12.10.1994 [Passport of non-metallic mineral deposit No. 43 (No. 671) (Korkatovskoye deposit), Mari Branch of FBU "TFGI in Volga Federal Region", acceptance of the passport 12.10.1994].
3. Pasport mestorozhdeniya nemetallicheskih poleznyh iskopaemyh No. 36 (No. 324) (mestorozhdenie Novotor'yalskoe, uchastok Severnyj), Marijskij filial FBU "TFGI po PFO", priemka pasporta 12.10.1994 [Passport of non-metallic mineral deposit No. 36 (No. 324) (Novotoryalskoye deposit, Northern section), Mari branch of FBU "TFGI in Volga Federal Region", acceptance of the passport 12.10.1994].
4. Pasport mestorozhdeniya nemetallicheskih poleznyh iskopaemyh No. 38 (mestorozhdenie Pamashyalskoe), Marijskij filial FBU "TFGI po PFO", priemka pasporta 23.04.2004 [Passport of the Deposit of non-metallic minerals No. 38 (Pamashyalskoe Deposit), Mari Branch of FBU "TFGI in Volga Federal Region", acceptance of the passport 23.04.2004].
5. Pasport mestorozhdeniya nemetallicheskih poleznyh iskopaemyh No. 88-B-00076 (mestorozhdenie Ronginskoe), Marijskij filial FBU "TFGI po PFO", priemka pasporta 14.03.1997 [Passport of the deposit of non-metallic minerals No. 88-B-00076 (Ronginskoye Deposit), Mari Branch of the Federal State Budgetary Institution "TFGI in Volga Federal Region", acceptance of the passport 14.03.1997].
6. Pasport mestorozhdeniya nemetallicheskih poleznyh iskopaemyh No. 88-B-00053 (No. 643-B-22948) (mestorozhdenie Chodrayalskoe), Marijskij filial FBU "TFGI po PFO", priemka pasporta Departamentom ekologicheskoy bezopasnosti, prirodopolzovaniya i zashchity naseleniya 08.07.2015 [Passport of the Deposit of non-metallic minerals No. 88-B-00053 (No. 643-B-22948) (Chodrayalskoe Deposit), Mari Branch of FBU "TFGI in Volga Federal Region", acceptance of the passport by the Department of environmental safety, nature management and population protection 08.07.2015].
7. Pasport mestorozhdeniya nemetallicheskih poleznyh iskopaemyh No. 41 (No. 17248) (mestorozhdenie Chukshinskoe-I), Marijskij filial FBU "TFGI po PFO", priemka pasporta 22.04.2011 [Passport of the deposit of non-metallic minerals No. 41 (No. 17248) Chukshinskoe-I deposit, Mari Branch of FBU "TFGI in Volga Federal Region", acceptance of the passport].
8. Pasport mestorozhdeniya nemetallicheskih poleznyh iskopaemyh No. 37 (No. 330) (mestorozhdenie Yurdurskoe), Marijskij filial FBU "TFGI po PFO", priemka pasporta 12.10.1994 [Passport of the Deposit of non-metallic minerals No. 37 (No. 330) (Yurdurskoye Deposit), Mari Branch of FBU "TFGI for PFD", passport acceptance 12.10.1949].
9. Krasikova O. V., Cherepov V. D., Popova D. V. Issledovanie vliyaniya velichiny pressuyushchego davleniya na formirovanie svojstv pressovannogo iskusstvennogo kamennogo materiala na osnove otsefov drobleniya karbonatnyh porod [Research into the influence of the magnitude of pressure on the formation properties of the molded artificial rock material based on the crushing screenings of the carbonate rocks], *Fundamental research*, 2016, No. 11-2, pp. 293-299. Available at: <http://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=40969> (date accessed 12.12.2018).
10. Kononova O. V., Cherepov V. D. Modificirovannyj iskusstvennyj kamen' na osnove otsefov drobleniya karbonatnyh porod [Modified artificial stone on the basis of screenings of crushing of carbonate rocks], *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya* [Modern problems of science and education], 2013, No. 1. Available at: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=8295> (date accessed 12.12.2018).
11. Kononova O. V., Cherepov V. D. Strukturnoobrazovanie iskusstvennogo kamnya na osnove otsefov drobleniya karbonatnykh porod [Structure of the artificial stone on the basis of screenings from crushing carbonate rocks], *Fundamental'nye issledovaniya* [Fundamental research], 2014, No. 9-6, pp. 1200-1204.
12. Cherepov V. D. Iskusstvennyj kamennyj material na osnove otsefov drobleniya karbonatnyh porod: dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.23.05 [Artificial stone material on the basis of screenings of crushing of carbonate rocks: thesis of the Candidate of Engineering Sciences: 05.23.05], Yoshkar-Ola, 2015, 270 p.
13. Cherepov V. D., Borodina E. A., Oganesyanyan T. K., Popova V. D. Formirovanie svojstv pressovannogo iskusstvennogo kamennogo materiala [Formation properties of the extruded material artificial stone], *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Seriya: Materialy. Konstruktsii. Tekhnologii*

[Bulletin of the Volga State University of Technology. Series: Materials. Designs. Technologies], Yoshkar-Ola: Volga State University of Technology, 2018, pp. 17-26.

Information about the authors

CHEREPOV Vladimir Dmitrievich – Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor of the Department of Roads and Building Constructions, Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola. Research interests – technical and operational properties of composite materials based on inorganic binders. E-mail: cherepov.86@mail.ru

BORODINA Elizaveta Andreevna – Senior Lecturer of the Department of Roads and Building Constructions at Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola. Research interests – formulation and technological parameters of construction materials manufacturing. E-mail: lizen_ok@list.ru

ПОПОВА Daria Valerevna – Student of the Institute of Construction and Architecture at Moscow State National Research University of Civil Engineering, Moscow. E-mail: popovadasha731@gmail.com

Библиографическая ссылка

Черепов В. Д., Бородина Е. А., Попова Д. В. Математическое моделирование состава мелкозернистого наполнителя прессованных цементных композиций // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Материалы. Конструкции. Технологии. – 2020. – № 1(13). – С. 6-15. – DOI: 10.25686/2542-114X.2020.1.6