

Вишнякова Ю.В., магистр техн. наук; Смансер В.А.;  
Бакатович А.А., канд. техн. наук, доц.

(ПГУ, г. Новополоцк)

## ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ШТУКАТУРНЫХ КОМПОЗИЦИЙ С МИНЕРАЛЬНЫМ НАПОЛНИТЕЛЕМ

В Полоцком государственном университете проведена экспериментальная работа по изучению основных свойств штукатурных растворных смесей и растворов с карбонатосодержащим наполнителем. Наполнитель получали из многотоннажного вторичного продукта Полоцкой и Новополоцкой ТЭЦ – шлама водоочистки путем предварительной сушки и последующего измельчения.

На начальном этапе для установления возможного применения шлама в качестве наполнителя в цементных растворных смесях проведены исследования прочности композиций на цементах ПЦ500 Д20 заводов ПРУП «Белорусский цементный завод» и ПРУП «Кричевцементношифер», содержащих известь и наполнитель с определением показателей нормальной густоты. Наполнитель вводили в количестве от 10 до 60 % от массы цемента. Наибольший размер частиц наполнителя составил 80 мкм. Испытания проводили на образцах-кубиках размером 20×20×20 мм. Результаты исследований приведены в таблице 1.

Анализ полученных результатов позволяет установить, что увеличение дозировки наполнителя ведет к повышению показателя нормальной густоты. Увеличение водопотребления, в свою очередь, приводит к снижению прочности цементных композиций с наполнителем. Так, например, прочность составов 3 практически в 2 раза выше прочности составов 8 в возрасте 7 суток и в 1,5 раза – в возрасте 28 суток.

Значения прочности цементных композиций, содержащих наполнитель в количестве 20 - 30 % от массы цемента (составы 4, 5), превышают показатели цементно-известковых композиций (составы 2) в возрасте 7 суток на 8 – 17 %, а в возрасте 28 суток на 8 – 21 %, значения нормальной густоты ниже на 12 – 20 %. Введение наполнителя в количестве 50 – 60 % вызывает снижение прочности цементного камня (составы 7, 8), при этом показатели нормальной густоты превышают значения цементно-известковых композиций.

Таблица 1

## Прочность и нормальная густота цементных композиций

Наим. завода	№ сост- ава	Расход		Прочность, МПа		Нормальная густота
		извести, % от массы цемента	наполнителя, % от массы цемента	7 суток	28 суток	
ПРУП «Кричеви- ментно-шифер»	1	—	—	28,4	42,6	0,25
	2	30	—	20,1 (100)	29,5 (100)	0,37
	3	—	10	25,5 (127)*	38,4 (130)*	0,27
	4	—	20	23,1 (115)	35,6 (121)	0,3
	5	—	30	21,8 (108)	33,2 (113)	0,33
	6	—	40	18,6 (93)	29,9 (101)	0,37
	7	—	50	15,1 (75)	25,5 (86)	0,4
	8	—	60	13,6 (68)	24,9 (84)	0,45
ПРУП «Белорусский цементный завод»	1	—	—	24,9	39,2	0,28
	2	30	—	18,3 (100)	27,4 (100)	0,40
	3	—	10	23,6 (129)*	34,8 (127)*	0,30
	4	—	20	21,4 (117)	32,6 (119)	0,32
	5	—	30	19,7 (108)	29,5 (108)	0,35
	6	—	40	16,3 (89)	26,2 (97)	0,39
	7	—	50	14,5 (79)	23,4 (86)	0,43
	8	—	60	12,1 (66)	22,9 (85)	0,48

\* – изменение прочности цементных композиций с наполнителем относительно цементно-известковой композиции, выраженное в процентах.

Для определения размеров частиц наполнителя и цемента использовали лазерный микронализатор размеров частиц «Analysette 22» NanoTec немецкой фирмы «FRITSCH». С помощью специальной программы по обработке результатов получены зависимости (рис. 1 – 2).

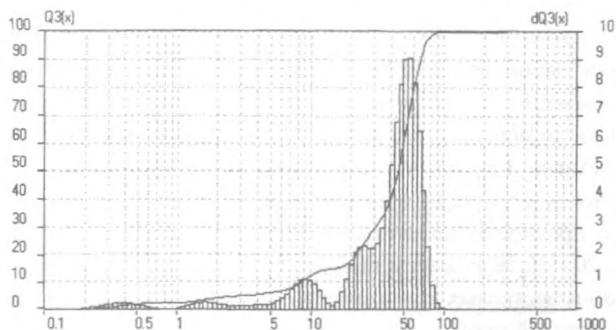


Рис. 1. Распределение частиц наполнителя по размерам

 $Q_3(x)$  – кумулятивная кривая распределения; $dQ_3(x)$  – кривая распределения плотности

Полученные результаты позволяют проследить распределение частиц по размерам в наполнителе (рис. 1). Фракция частиц наполнителя размером до 1 мкм составляет 2,4 % от общего количества. В диапазоне от 1 до 2 мкм содержание частиц равно 1,7 % от массы пробы наполнителя. Содержание частиц в диапазонах 2 – 3, 3 – 4, 4 – 5 и 5 – 10 мкм колеблется в пределах от 0,5 до 6,1 %. Далее происходит увеличение содержания количества частиц по фракциям. Так, частицы размером от 10 до 50 мкм составляют 48,2 %. Наибольшее количество частиц 49,7 % приходится на фракцию размером от 50 до 100 мкм.

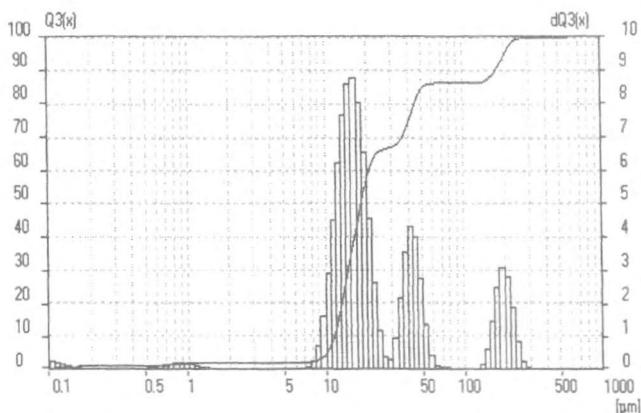


Рис. 2. Распределение частиц цемента по размерам:

$Q3(x)$  – кумулятивная кривая распределения;  
 $dQ3(x)$  – кривая распределения плотности

Распределение частиц по размерам в цементе приведено на рис. 2. Частицы цемента фракцией от 0,05 до 1 мкм составляют 1,7 % от общего количества. Содержание частиц в диапазонах 1 – 2 и 5 – 10 колеблется в пределах от 0,3 до 2,5 %. Наибольшее количество частиц 53,7 % приходится на фракцию размером от 10 до 20 мкм. В диапазоне от 20 до 50 мкм содержание частиц составляет 25,7 % от массы пробы цемента. Колебания содержания частиц в диапазонах 50 – 100 и 100 – 200 мкм находятся в пределах от 2,6 до 7,9 %.

Анализ полученных кривых распределения позволяет сделать вывод о том, что размеры частиц наполнителя сопоставимы с размерами частиц цемента. При оптимальном расходе частицы наполнителя позволяют формировать более плотную структуру цементного камня, что объясняет сопоставимые результаты по прочности цементной композиции с наполните-

лем (составы 4, 5) по отношению к цементно-известковой композиции (состав 2) таблицы 1.

Оптимальное количество наполнителя для штукатурных цементных и известковых растворных смесей определяли, основываясь на показателях прочности растворов, расслаиваемости и водоудерживающей способности растворных смесей. За контрольные принимали составы цементно-известковых штукатурных растворов марок М 50 и М 75 с расходом цемента 156 кг и 192 кг соответственно, а также известково-песчаный раствор с соотношением известь:песок – 1:6, используемый для внутренних отделочных работ. Подвижность растворных смесей составляла 8 см. В исследованиях использовался наполнитель с наибольшим размером зерен 80 мкм. Результаты исследований приведены в таблицах 2 и 3.

За первые 7 суток наибольшей прочности достигли образцы цементного раствора с наполнителем в количестве 80 % от расчетной массы извести. Для марки М 50 прирост прочности составил 20 %, а для марки М 75 – 16 %. При этом значения прочности экспериментальных составов 3 – 5 и 9 – 11 не ниже показателей контрольных составов 1 и 7. Испытания в возрасте 28 суток показали, что прирост прочности составов 4 и 10 относительно контрольных значений незначителен и сократился до 11 – 12 %.

Основные показатели качества штукатурных цементных растворных смесей и растворов

Таблица 2

№ сост- ава	Марка контроль- ного состава	Расход на 1 м <sup>3</sup> , кг			В/Г	Прочность, МПа		Расслаи- вае- мость, %	Водоудержи- вающая спо- собность, %
		цемента	извести	наполнителя		7 сут.	28 сут.		
1	M50	156	96 (60*)	–	1,46	3,5	5,1	8,0	96,8
2		160	–	40 (30*/40")	1,69	3,2	4,3	9,8	95,8
3		159	–	59 (40/60)	1,5	3,8	5,2	8,1	96,5
4		157	–	78 (50/80)	1,39	4,2	5,7	8,0	97,0
5		156	–	96 (60/100)	1,45	3,6	5,1	8,4	97,2
6		155	–	114 (70/120)	1,49	3,2	4,5	9,2	97,9
7	M75	192	90 (50)	–	1,28	5,0	7,5	8,3	96,5
8		197	–	37(20/40)	1,48	4,3	7,0	9,6	95,7
9		195	–	55 (30/60)	1,35	5,2	7,6	8,5	96,2
10		194	–	72 (40/80)	1,21	5,8	8,3	8,0	96,5
11		192	–	90 (50/100)	1,3	5,1	7,7	8,3	97,0
12		190	–	107 (60/120)	1,34	4,6	7,2	9,0	97,4

\* – процент ввода извести или наполнителя от расчетной массы цемента;

" – процент ввода наполнителя от расчетной массы извести.

Увеличение расхода наполнителя с 40 до 120 % ведет к увеличению расхода воды на 15 – 19 %. Водоцементное отношение экспериментальных составов 4 и 10 указывает на то, что водопотребность композиций сокращается на 40 литров по сравнению с расходом воды в контрольных растворных смесях.

Наиболее низкая расслаиваемость растворных смесей соответствует составам 3 – 5, 9 – 11 и аналогична показателям цементно-известковых растворов. Введение наполнителя в количестве менее 60 % и более 100 % от расчетной массы извести способствует увеличению расслаиваемости растворных смесей.

Водоудерживающая способность экспериментальных смесей возрастает по мере увеличения дозировки наполнителя. Основываясь на экспериментальных данных по основным свойствам оптимальным является введение наполнителя в количестве 60 – 100 % от расчетной массы извести.

В известково-песчаных составах часть извести от 20 до 60 % заменяли наполнителем в количестве 80 % от сокращаемого расхода извести.

В возрасте 7 суток составы 3 – 5 показали прочность сопоставимую или превышающую показатель контрольного состава. Так у состава 4 при замене 40 % извести наполнителем прочность на 60 % превышает контрольное значение. Следует отметить, что уже в возрасте 28 суток разница между показателями состава 1 и состава 4 существенно сократилась и составляет 20 %. При этом прочность известковых растворов с наполнителем (составы 3, 5) находится на уровне значений известково-песчаного раствора (состав 1).

Таблица 3

Основные показатели качества штукатурных известковых растворных смесей и растворов

№ состава	Расход, кг			Прочность, МПа		Расслаиваемость, %	Водоудерживающая способность, %
	извести	наполнителя	воды	7 сут.	28 сут.		
1	230	–	343	0,8	1,5	7,8	96,2
2	190	38 (20 %)*	328	0,6	1,5	7,8	96,5
3	169	58 (30 %)	314	0,8	1,6	7,9	96,3
4	147	78 (40 %)	305	1,3	1,8	8,1	96,6
5	124	99 (50 %)	301	0,9	1,5	8,0	96,4
6	99	118 (60 %)	301	0,7	1,2	8,3	96,0

\* – процент сокращения расхода извести по массе

Сокращение расхода извести снижает водопотребление растворных смесей. Так, для состава 4 расход воды сокращается на 20 % по сравнению

с контрольным составом. При расходе извести 40 – 50 % от расчетной массы контрольного раствора (составы 5, 6) требуемое количество воды становится постоянным.

Исследования расслаиваемости и водоудерживающей способности не выявили выраженных зависимостей от количества содержащегося наполнителя в растворных смесях. Расслаиваемость смесей изменяется в пределах 7,8 – 8,3 %, а водоудерживающая способность – 96 – 96,6 %.

Анализ полученных результатов позволил установить, что оптимальным является сокращение расхода извести на 40 – 50 % при введении наполнителя в количестве 80 % от сокращенного расхода извести.

Кроме того, в процессе исследований установлено, что усадочные деформации для цементно-известковых растворов составили 1,5 – 1,8 мм/м, а для цементных с наполнителем 0,7 – 1,1 мм/м. У известкового контрольного состава усадочные деформации равны 2,1 мм/м, а у известковых растворов с наполнителем показатели составили 1,2 – 1,4 мм/м. Снижение усадочных деформаций на 40 – 60 % способствует формированию более однородной структуры, снижает вероятность появления микротрещин и тем самым повышает прочность штукатурных растворов содержащих наполнитель.

Выполнены сравнительные испытания штукатурных цементных растворов на морозостойкость. Испытания на морозостойкость показали, что изменений прочности штукатурных растворов марок М50, М75 и потери массы не наблюдалось после 50 и 75 циклов соответственно.

Снижение прочности штукатурного цементно-известкового состава марки М50 произошло только через 70 циклов и составило 25 %. Через 80 циклов значение падения прочности экспериментального состава достигло 26 %.

Прочность контрольного раствора марки М75 упала на 26 % только через 90 циклов, а у штукатурного раствора с наполнителем снизилась на 12 % и достигла 23 % только после 100 циклов.

Результаты испытаний свидетельствуют о том, что уменьшение прочности образцов с наполнителем происходит менее интенсивно. В результате образцы выдерживают на 10 - 15 циклов больше попеременного замораживания и оттаивания по сравнению с контрольными составами. Марки по морозостойкости штукатурных цементных растворов с наполнителем превышают нормативное значение согласно СНиП II-22-81, следовательно, могут применяться для внутренних, наружных штукатурных работ.

Проведены испытания по определению прочности сцепления штукатурных растворов с керамическим кирпичом, с блоками из тяжелого бетона и газосиликата.

При испытании прочности сцепления штукатурных цементных растворов, содержащих наполнитель, установлено, что при использовании в качестве основания керамического кирпича и блоков из тяжелого бетона разрушение происходило по раствору, т.е. носило когезионный характер. Несмотря на высокую шероховатость поверхности блоков из газосиликата, разрушение, в основном, имеет адгезионный характер, при этом частично в образцах наблюдается разрушение по структуре шероховатой поверхности газосиликатных блоков. Прочность сцепления экспериментальных растворов с поверхностью на 33 – 42 % выше, чем у контрольных составов, и составляет 0,3 – 0,59 МПа.

Результаты исследований прочности сцепления штукатурных известковых растворов, содержащих наполнитель, показали, что в контрольных образцах разрушение независимо от материала основания происходило по границе контакта раствора с основанием и контактная поверхность растворов практически оставалась неповрежденной. Образцы на известковых составах с наполнителем разрушались по структуре растворов. Прочность сцепления экспериментальных составов составила 0,23 – 0,29 МПа, что на 21 – 38 % выше, чем у раствора с добавкой извести.

**Выводы.** Исследования цементных композиций, включая определение прочности и нормальной густоты, подтвердили возможность применения карбонатосодержащего наполнителя на основе шлама водоочистки для строительных растворов.

По результатам гранулометрического анализа можно сделать вывод о том, что частицы наполнителя и цемента соизмеримы. Введение наполнителя позволяет повысить степень наполнения цементного камня и оптимизировать насыщение цементного камня наполнителем, что позволяет снизить водопотребность и повысить прочность по сравнению с цементно-известковой композицией.

Проведенный комплекс исследований позволяет установить, что для штукатурных цементных растворных смесей оптимальным является введение наполнителя с максимальным размером частиц 80 мкм в количестве 40 – 60 % для марки М50 и 30 – 50 % для марки М75 от расчетной массы цемента. Прочность растворов с наполнителем в возрасте 7 суток превышает значения цементно-известковых составов на 14 – 17 %.

Для штукатурных известковых смесей оптимальным является сокращение расхода извести на 40 – 50 % при введении наполнителя в количестве 80 % от заменяемой массы извести. Расслаиваемость и водоудерживающая способность сохраняются на уровне контрольных значений, при этом прочность растворов с наполнителем в возрасте 7 суток превышает значения известкового состава на 60 %, а в 28 суток на 15 %.

Штукатурные растворы с наполнителем имеют более низкое водопоглощение и меньшее падение прочности в водонасыщенном состоянии на 20 – 25 % в сравнении с цементно-известковыми растворами, что способствует повышению морозостойкости до 15 % и обеспечивает соответствие нормативным требованиям.

Адгезия штукатурных цементных и известковых растворов с наполнителем превышает на 30 – 35 % показатели контрольных составов, что снижает возможность отслоения штукатурного слоя от основания в процессе эксплуатации зданий при возникновении динамических нагрузок, включая вибрационные воздействия.

УДК 666.973.3

Бозылев В.В., канд. техн. наук, доц.; Рядчиков Е.В.  
(ПГУ, г. Новополоцк)

### **К ВОПРОСУ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВСПУЧИВАНИЯ ЯЧЕИСТОБЕТОННОЙ СМЕСИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ДИНАМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ**

В настоящее время производство ячеистого бетона автоклавного твердения занимает лидирующую позицию в промышленности строительных материалов Республики Беларусь.

Как следует из материалов 6-й Международной научно-практической конференции “Опыт производства и применения ячеистого бетона автоклавного твердения” [1] высокими темпами происходит модернизация предприятий, выпускающих ячеистобетонные изделия автоклавного твердения, сочетающая ударную технологию и импортное резательное оборудование.

Одна из основных задач при производстве ячеистобетонных блоков – обеспечение высокой прочности. Известно, что при уменьшении водотвердого отношения бетонной смеси прочность изделий повышается.

Важным этапом производственного процесса, обеспечивающим достижение высоких показателей качества газосиликатных блоков, является формование массивов. Существующие методы формования ячеистобетонного массива назначаются в соответствии с принятым технологическим регламентом производства и могут быть реализованы по литьевой, вибрационной или ударной технологии [2].

Ударная технология базируется на использовании ударных воздействий для тиксотропного разжижения высоковязких смесей, энергию и час-