

## СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

УДК 691.5.535

### К ВОПРОСУ О ПРИМЕНЕНИИ МЕЛКОДИСПЕРСНОГО НАПОЛНИТЕЛЯ В ШТУКАТУРНЫХ РАСТВОРАХ

*канд. техн. наук, доц. А.А. БАКАТОВИЧ, Ю.В. ВИШНЯКОВА,  
канд. техн. наук, доц. А.И. КОЛТУНОВ  
(Полоцкий государственный университет)*

*Рассматривается предложение применять в качестве мелкодисперсного наполнителя для штукатурных растворов шлам водоочистки. Определены оптимальные расходы наполнителя в цементных композициях, обоснованные данными лазерного микроанализа частиц. Приведены результаты исследований основных свойств штукатурных растворных смесей и растворов с карбонатосодержащим наполнителем. Установлено оптимальное количество наполнителя для цементных и известковых штукатурных растворов. Дополнительно полученные результаты по жизнеспособности и морозостойкости подтверждают возможность применения штукатурных растворов, содержащих карбонатосодержащий наполнитель.*

В лаборатории строительных материалов проведены исследования 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 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.

Таблица 1

Прочность и нормальная густота цементных композиций

Наименование завода	№ состава	Расход		Прочность, МПа		Нормальная густота
		извести, % от массы цемента	наполнителя, % от массы цемента	7 суток	28 суток	
ПРУП «Кричевцементно-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.

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 плотности ниже на 12 – 20 %. Введение наполнителя в количестве 50 – 60 % вызывает снижение прочности цементного камня (составы 7, 8), при этом показатели нормальной плотности превышают значения цементно-известковых композиций.

Для определения размеров частиц наполнителя и цемента использовали лазерный микроанализатор размеров частиц «Analysette 22» NanoТес немецкой фирмы «FRITTSCH». С помощью специальной программы по обработке результатов получены характеризующие их зависимости (рис. 1, 2).

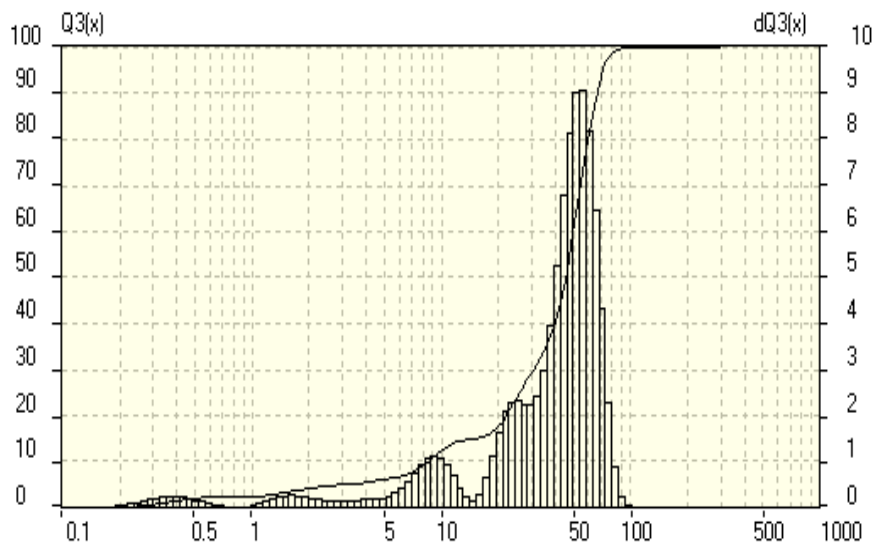


Рис. 1. Распределение частиц наполнителя по размерам:  
 $Q3(x)$  – кумулятивная кривая распределения;  $dQ3(x)$  – кривая распределения плотности

Полученные результаты позволяют проследить распределение частиц по размерам в наполнителе (см. рис. 1). Фракция частиц наполнителя размером до 1 мкм составляет 2,4 % от общего количества. В диапазоне от 1 до 2 мкм содержания частиц равно 1,7 % от массы пробы наполнителя. Содержание частиц в диапазонах 2 – 3; 3 – 4; 4 – 5; 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.

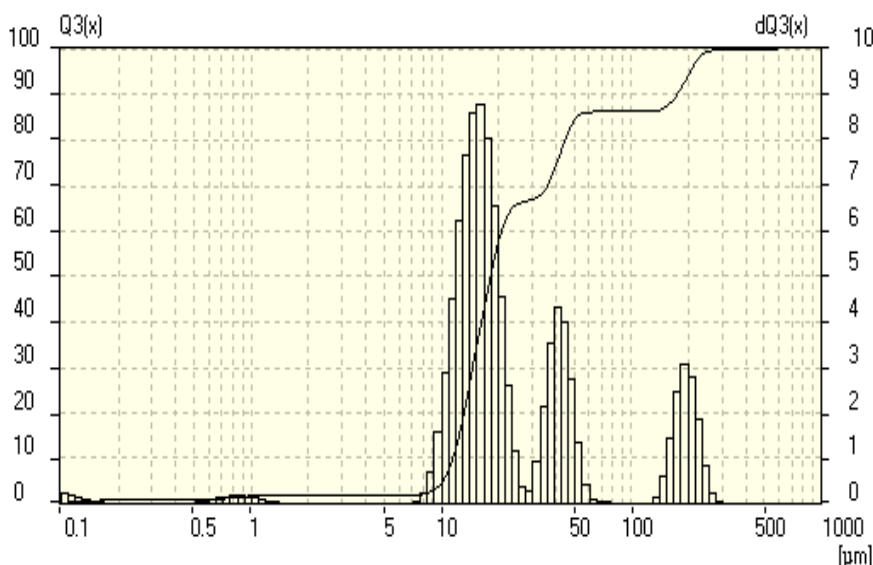


Рис. 2. Распределение частиц цемента по размерам:  
 $Q3(x)$  – кумулятивная кривая распределения;  $dQ3(x)$  – кривая распределения плотности

Распределение частиц по размерам в цементе происходит следующим образом (см. рис. 2). Частицы цемента фракций 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. Колебание содержания частиц в диапазонах 50 – 100 и 100 – 200 мкм находится 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 наполнителем (составы 4, 5) по отношению к цементно-известковой композиции (состав 2), представленные в таблице 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 и 192 кг соответственно, а также известково-песчаный раствор с соотношением извести и песка 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.

Таблица 2

Основные показатели качества штукатурных цементных растворных смесей и растворов

№ состава	Марка контрольного состава	Расход на 1 м <sup>3</sup> , кг			В/Т	Прочность, МПа		Расслаиваемость, %	Водоудерживающая способность, %
		цемента	извести	наполнителя		7 сут	28 сут		
1	М50	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	М75	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.

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 %.

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 раслаиваемость 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 раслаиваемости растворных смесей.

Водоудерживающая способность экспериментальных смесей возрастает по мере увеличения дозировки наполнителя. Основываясь на экспериментальных данных, можно сделать вывод, что 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, %
	известки	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 известки по массе.

Сокращение расхода известки снижает водопотребление растворных смесей. Так, для состава 4 расход воды сокращается на 20 % по сравнению с контрольным составом. При расходе известки 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 показал, что оптимальным является сокращение расхода известки на 40 – 50 % при введении наполнителя в количестве 80 % от сокращенного расхода известки. Кроме того, в процессе исследований установлено:

- усадочные деформации для цементно-известковых растворов составили 1,5 – 1,8 мм/м, 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.

При производстве штукатурных работ важным показателем растворных смесей является жизнеспособность. С целью выяснения срока возможного применения растворных смесей с наполнителем оценивалось изменение подвижности с течением времени. По экспериментальным данным испытаний построены зависимости, иллюстрирующие изменение подвижности штукатурных растворных смесей от времени проведения испытаний (рис. 3).

В течение получаса зафиксировано уменьшение подвижности у цементной и цементно-известковой растворной смеси. После первого часа испытаний неизменным осталось значение подвижности только у цементного состава с наполнителем в количестве 100 % от расчетной массы известки. Наибольшее падение подвижности на 1,6 см отмечено у цементной растворной смеси. Через 3 часа после начала испытаний подвижность цементной смеси достигла 5 см, а цементно-известковой – 5,5 см. За это же время подвижность составов с наполнителем уменьшилась на 11 – 22 %. Еще через один час подвижность цементно-известковой растворной смеси составила 4,9 см, а у смесей с наполнителем – 5,9 – 6,5 см.

Установлено, что изменение подвижности у штукатурных растворных смесей в сторону уменьшения показателя происходит значительно медленнее, чем у цементного, цементно-известкового составов, и достигло 5 см только через 6 – 8 часов после начала испытаний. Для штукатурных смесей жизнеспособность увеличивается на 1 – 2 часа.

Интенсивное изменение подвижности у штукатурных смесей объясняется не только более низкой первоначальной подвижностью, но и большим количеством цемента в штукатурных составах.

В экспериментальных штукатурных смесях увеличение дозировки наполнителя до 100 % от массы известки ведет к замедлению процессов гидратации цемента и увеличению сроков схватывания, что можно объяснить возрастанием количества органических примесей, содержащихся в наполнителе в количестве до 10 %, а также присутствием в наполнителе гипса в количестве до 9 %. На начальной стадии гидратации образующийся этрингит в тонкодисперсном состоянии замедляет гидратацию  $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$  и продлевает сроки схватывания цемента.

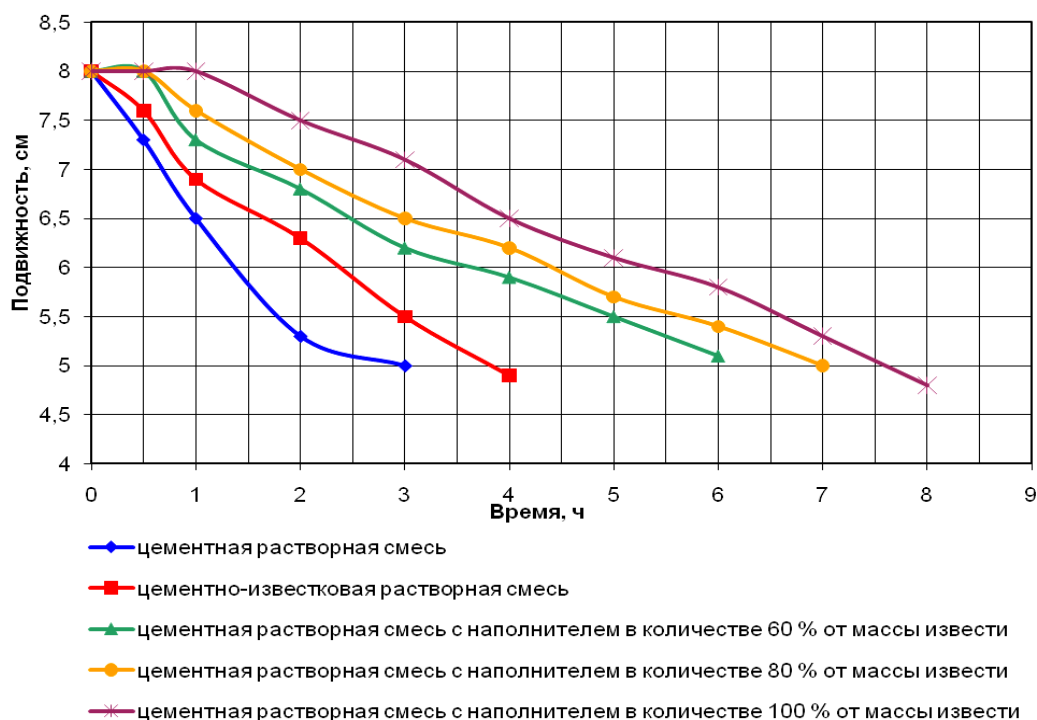


Рис. 3. Изменение подвижности штукатурных растворов с течением времени

Теплотехнические характеристики штукатурных цементных растворов определяли на составах марки М 75. Контрольными являлись цементно-известковые растворы. За контрольный для штукатурных известковых растворов принят состав с соотношением 1:6. Результаты исследований приведены в таблицах 4 и 5 (показатели плотности, коэффициента теплопроводности приведены для растворов в сухом состоянии).

Таблица 4

## Теплотехнические показатели цементных растворов

№ состава	Назначение раствора	Расход, кг		Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°С)	Термическое сопротивление, м <sup>2</sup> К/Вт	Коэффициент паропроницаемости, мг/(м·ч·Па)
		известь	наполнитель				
1	штукатурный	90	–	1820	0,51	0,048	0,1
2		–	72 (80 %)	1920	0,45	0,064	0,095

\* – процент ввода наполнителя от расчетной массы извести

В экспериментальных составах с наполнителем плотность увеличивается относительно контрольных растворов на 90 – 110 кг/м<sup>3</sup>. Увеличение плотности растворов обусловлено формированием оптимальной плотной структуры цемент – наполнитель, понижающей исходную пустотность системы, а также более низким водотвердым отношением растворов с наполнителем.

Таблица 5

## Теплотехнические показатели известковых растворов

№ состава	Назначение раствора	Расход, кг		Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°С)	Термическое сопротивление, м <sup>2</sup> К/Вт	Коэффициент паропроницаемости, мг/(м·ч·Па)
		известь	наполнитель				
1	штукатурный	230	–	1690	0,39	0,081	0,12
2		147	78 (40 %)*	1780	0,35	0,095	0,11

\* – процент сокращения расхода извести по массе

Коэффициент паропроницаемости штукатурных известковых растворов на 14 – 16 % превышает значения цементных композиций. Для цементных растворов коэффициент паропроницаемости практически не изменяется и находится в пределах 0,095 – 0,1 мг/(м·ч·Па), а для известковых растворов равен 0,11 – 0,12 мг/(м·ч·Па).

Формирование более плотной структуры растворов с наполнителем ведет к уменьшению открытой пористости по сравнению с контрольными составами. Поэтому, несмотря на более высокую плотность экспериментальных составов с наполнителем, показатели коэффициентов теплопроводности на 11 – 15 % ниже значений контрольных составов. При этом термическое сопротивление увеличивается на 15 – 25 %.

Таким образом, цементные и известковые растворы, содержащие наполнитель по своим теплотехническим характеристикам обеспечивают необходимые параметры для отделки как со стороны фасада, так и со стороны помещений в зданиях.

Важным показателем долговечности растворов является морозостойкость. При проведении исследований определяли морозостойкость штукатурных цементных растворов марок М50 и М75. Результаты испытаний представлены в таблицах 6 и 7.

Таблица 6

Определение морозостойкости штукатурных растворов марки М50

№ состава	Расход			Прочность на сжатие, МПа, в состоянии		Прочность на сжатие после				
	известки, кг	наполнителя		сухом	водо- насыщенном	50	60	70	75	80
		%	кг							
1	96,6	–	–	5,1	3,6	3,7	3,2	2,7	–	–
2	–	80	77,3	5,7	4,7	4,7	4,3	4,1	3,9	3,5

Таблица 7

Определение морозостойкости штукатурных растворов марки М75

№ состава	Расход			Прочность на сжатие, МПа, в состоянии		Прочность на сжатие после				
	известки, кг	наполнителя		сухом	водо- насыщенном	65	75	85	90	100
		%	кг							
1	89,3	–	–	7,6	4,3	4,3	4,0	3,6	3,2	–
2	–	80	71,4	8,3	5,7	5,8	5,7	5,3	5,0	4,4

Испытания на морозостойкость показали, что изменений прочности кладочных растворов марок М50 и М75 и потери массы не наблюдалось после 50 и 75 циклов соответственно.

В штукатурных составах марки М50 снижение прочности отмечено после 55 циклов попеременного замораживания и оттаивания. В процессе осмотра образцов штукатурных составов через 60 циклов установлено незначительное шелушение на поверхности контрольных и экспериментальных составов. На 60 циклах для цементно-известкового раствора падение прочности составило 11 и 8 % для цементного раствора с наполнителем.

Зафиксировано, что у цементно-известкового раствора прочность снизилась на 25 % через 70 циклов. Прочность состава с наполнителем уменьшилась на 17 % и только после 80 циклов попеременного замораживания и оттаивания образцов снизилась на 26 %.

На образцах штукатурного цементно-известкового раствора марки М 75 поверхностное шелушение появилось после 75 циклов при незначительном снижении прочности на 8 %. Штукатурный цементный раствор с наполнителем не имел повреждений поверхности и только через 80 циклов отмечено появление незначительного шелушения.

Испытания на прочность при 85 циклах попеременного замораживания и оттаивания установили снижение показателя цементно-известкового раствора на 13 %, а цементного состава с наполнителем на 7 %. Через 90 циклов испытаний прочность цементно-известкового раствора уменьшилась на 26 %. Следует отметить, что величина падения прочности экспериментального состава в 2 раза меньше, или равняется 12 %. Вплотную к предельно допустимому показателю прочность цементного состава приблизилась через 100 циклов, снижение составило 23 %.

На уменьшение морозостойкости штукатурных растворов марок М 50 и М 75 на 5 – 10 циклов по сравнению с показателями кладочных растворов влияет изменение расхода компонентов раствора, а также гранулометрия заполнителя – кварцевого песка, что вызывает увеличение расхода воды по сравнению

с кладочными составами. Указанная зависимость подтверждается показателями водопоглощения штукатурных растворов. Водопоглощение по массе штукатурных растворов составляет 7,6 – 8,1 %, что на 15 % превышает показатели кладочных растворов.

Для штукатурного раствора М50 и М75 показатели морозостойкости отличаются на одну марку. Так, цементно-известковый раствор М50 имеет марку по морозостойкости F50, а цементный раствор с наполнителем марку F75. Штукатурный известково-цементный состав М75 соответствует марке по морозостойкости F75, а цементный с наполнителем – марке F100.

**Выводы.** Из результатов гранулометрического анализа следует, 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 свидетельствует, что для штукатурных цементных растворов смесей оптимальным является введение наполнителя с максимальным размером частиц 80 мкм в количестве 60 – 100 % от расчетной массы извести. 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 %.

Присутствие наполнителя в штукатурных цементных составах позволяет увеличить жизнеспособность растворов смесей в 1,5 – 2 раза, что делает возможным сокращение количества поставок растворенной смеси на объект и тем самым уменьшить трудоемкость работ и сократить транспортные расходы. Цементные 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 требованиям СТБ 1307.

*Поступила 03.12.2013*

## TO THE QUESTION OF THE APPLICATION OF FINE-DISPERSED FILLING AGENT IN FINISHING MORTARS

**A. BAKATOVICH, J. VISHNIAKOVA, A. KOLTUNOV**

*It is offered to apply in the capacity of fine-dispersed filling material to finishing mortars a water treatment raw sludge. Optimum charges of a filling material in the cement compositions, proved by data of laser microanalysis of corpuscles, are defined. Results of research of key properties of plaster mortar mixes and solutions with carbonate filling material are presented. Optimum quantities of a filling material for cement and limy finishing mortars are determined. Additionally obtained results on viability and frost resistance confirm possibility of application of finishing mortars containing carbonate filling material.*