

## СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Васильев, А.А. Карбонизация и оценка поврежденности железобетонных конструкций: [монография] / А.А. Васильев; М-во образования Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель: БелГУТ, 2012. – 263 с.
2. Герасимович, А.И. Математическая статистика / А. И. Герасимович. – Минск: Выш. шк., 1983. – 275 с.
3. Васильев, А.А. Карбонизация бетона (оценка и прогнозирование): [монография] / А.А. Васильев; М-во образования Респ. Бел., Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель: БелГУТ, 2013. – 304 с.

УДК 691.5.535

*Вишнякова Ю.В., Бакатович А.А., Наумова В.А.*

## ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ШТУКАТУРНЫХ РАСТВОРОВ С КАРБОНАТОСОДЕРЖАЩИМ НАПОЛНИТЕЛЕМ

В лабораториях кафедры строительного производства Полоцкого государственного университета проведен комплекс исследований по изучению эксплуатационных свойств штукатурных растворов смесей и растворов с карбонатосодержащим наполнителем. Наполнитель получали из многотоннажного вторичного продукта Полоцкой и Новополоцкой ТЭЦ – шлама водоочистки путем предварительной сушки и последующего измельчения.

Оптимальное количество наполнителя для штукатурных цементных и известковых растворов смесей определяли, основываясь на показателях прочности растворов, расслаиваемости и водоудерживающей способности растворов 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 растворов смесей составляла 8 см. В исследованиях использовался наполнитель с наибольшим размером зерен 80 мкм. Результаты исследований приведены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1 – Основные показатели качества штукатурных цементных растворов смесей и растворов

№ состава	Марка контрольного состава	Расход на 1 м <sup>3</sup> , кг			В/Т	Прочность, МПа		Расслаиваемость, %	Водоудерживающая способность, %
		цемента	известки	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 известки или наполнителя от расчетной массы цемента

" – процент ввода наполнителя от расчетной массы известки

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 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.

Таблица 2 – 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

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).

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 возможным является сокращение расхода извести на 40-50 % при введении наполнителя в количестве 80 % от сокращаемой массы 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.

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.

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 извести. 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 извести 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 этtringит в тонкодисперсном состоянии замедляет гидратацию  $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$  и продлевает сроки схватывания цемента.

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 3 и 4. Показатели плотности, коэффициента теплопроводности приведены для растворов в сухом состоянии.

Таблица 3 – Теплотехнические показатели цементных растворов

№ состава	Назначение раствора	Расход, кг		Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Кoeffиц. теплопроводности, Вт/(м·°С)	Термическое сопротивление, м <sup>2</sup> К/Вт	Кoeffиц. 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 растворяемых смесей с наполнителем.

Таблица 4 – Теплотехнические показатели известковых растворов

№ состава	Назначение раствора	Расход, кг		Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Кoeffиц. теплопроводности, Вт/(м·°С)	Термическое сопротивление, м <sup>2</sup> К/Вт	Кoeffиц. 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

Кoeffициент паропроницаемости штукатурных известковых растворов на 14-16 % превышает значения цементных композиций. Для цементных растворов коэффицент 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. 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.

Прочность сцепления с поверхностью определяли для штукатурных цементных и известковых растворов, содержащих наполнитель. В процессе проведения исследований в качестве основания для штукатурных растворов применяли керамический кирпич, блоки из тяжелого бетона и газосиликата. В таблице 5 представлены результаты испытаний прочности сцепления штукатурных цементных растворов содержащих наполнитель, с поверхностями.

Таблица 5 – Прочность сцепления штукатурных цементных растворов с основанием

№ образца	Основание образца	Расход, кг		Прочность сцепления, МПа
		известки	наполнителя	
1	Керамический кирпич	89,3	–	0,44
2		–	53,6 (60 %)*	0,51
3		–	71,4 (80 %)	0,59
4		–	89,3 (100 %)	0,56
5	Блок из тяжелого бетона	89,3	–	0,42
6		–	53,6 (60 %)*	0,47
7		–	71,4 (80 %)	0,56
8		–	89,3 (100 %)	0,51
9	Блок из ячеистого бетона (газосиликатный блок)	89,3	–	0,21
10		–	53,6 (60 %)*	0,25
11		–	71,4 (80 %)	0,3
12		–	89,3 (100 %)	0,27

\* – процент ввода наполнителя от расчетной массы известки

При использовании в качестве основания керамического кирпича и блоков из тяжелого бетона в образцах 1-8 разрушение происходило по раствору, т.е. носило когезионный характер.

Наибольшую прочность на керамической поверхности показал образец 3, а на бетонной поверхности образец 7. Увеличение показателя составило 30 % по сравнению с контрольными значениями.

Разрушение образцов по структуре растворов указывает на высокую адгезию экспериментальных растворов с наполнителем относительно поверхностей.

Прочность сцепления с керамической поверхностью цементных растворов с наполнителем больше в 2 раза, чем у составов с газосиликатной поверхностью. Несмотря на высокую шероховатость поверхности блоков из газосиликата разрушение образцов 9-12 в основном имеет адгезионный характер. При этом частично в образцах 10-12 наблюдается разрушение по структуре шероховатой поверхности газосиликатных блоков, что способствует значительному повышению прочности сцепления на 40 % относительно контрольного образца 9.

Результаты исследований прочности сцепления штукатурных известковых растворов, содержащих наполнитель, с основаниями приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Прочность сцепления штукатурных известковых растворов с основанием

№ образца	Основание образца	Расход, кг		Прочность сцепления, МПа
		известки	наполнителя	
1	Керамический кирпич	230	–	0,21
2		161	55,2 (30 %)*	0,23
3		138	73,6 (40 %)	0,29
4		115	92 (50 %)	0,26
5	Блок из тяжелого бетона	230	–	0,2
6		161	55,2 (30 %)	0,22
7		138	73,6 (40 %)	0,26
8		115	92 (50 %)	0,25
9	Блок из ячеистого бетона (газосиликатный блок)	230	–	0,17
10		161	55,2 (30 %)	0,19
11		138	73,6 (40 %)	0,23
12		115	92 (50 %)	0,21

\* – процент сокращения расхода известки по массе

Прочность сцепления образцов 3, 7, 11 на экспериментальных составах превышает значения контрольных образцов 1, 5, 9 на 30-35 %. Следует отметить, что в контрольных образцах разрушение не зависимо 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.

Когезионный характер разрушения штукатурных известковых растворов содержащих наполнитель указывает на более высокую адгезию раствора содержащего наполнитель к поверхности и объясняет значительное повышение прочности сцепления. Наибольшая прочность сцепления экспериментального раствора с поверхностью достигается на керамическом кирпиче и превышает показатель образцов с газосиликатной поверхностью на 25 %.

Повышенная прочность сцепления штукатурных растворов с наполнителем свидетельствует о хорошей адгезии, что позволяет предположить существенное снижение возможности отслоения от поверхности (каменных и бетонных стен, перегородок и т.п.) в процессе эксплуатации при возникновении вибрационных воздействий.

**Выводы.** Проведенный комплекс исследований позволяет установить, что для штукатурных цементных растворных 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 растворных смесей в 1,5-2 раза, что делает возможным сокращение количества поставок растворной 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.

Адгезия штукатурных цементных и известковых растворов с наполнителем превышает на 30–35 % показатели контрольных составов, что предположительно позволит снизить возможность отслоения штукатурного слоя от основания в процессе эксплуатации зданий при возникновении вибрационных воздействий.

УДК 624.011.17

*Волик А.Р., Дунникова О.В.*

### **КОМПОЗИТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ДЛЯ УСИЛЕНИЯ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

Традиционно для усиления деревянных конструкций используется металлическая арматура. В данной статье описывается возможность применения композитных материалов для усиления деревянных конструкций. Проведен анализ влияния композитной арматуры на работу изгибаемых деревянных балок.

В современном строительстве при создании новых конструкций, а также при реконструкции существующих зданий и сооружений возникает вопрос о совершенствовании и повышении эффективности работы конструкций из древесины.

Древесина является эффективным строительным материалом, однако имеет ряд отрицательных свойств: неоднородность строения, пороки (сучки, косослой и т.д.), быстрое увлажнение, набухаемость, высокая степень подверженности влиянию микроорганизмов [1]. Поэтому обеспечение долговечности при проектировании деревянных конструкций требует выполнения ряда мероприятий по их усилению и ремонту в ходе эксплуатации.