

УДК 691.311

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОРОЗОСТОЙКОСТИ КОМПОЗИЦИОННЫХ ВЯЖУЩИХ
НА ОСНОВЕ ФОСФОГИПСА ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА МАЛЫХ АРХИТЕКТУРНЫХ ФОРМ**

Т.А. Голова, А.Р. Давтян

Представлены экспериментальные данные по исследованию морозостойкости строительных композитов на основе смешанного вяжущего с применением "лежалого" фосфогипса. Рассмотрены различные варианты композитных составов для определения морозостойкости предложенных составов на основе фосфогипса для производства малых архитектурных форм.

Ключевые слова: морозостойкость; влагопоглощение; фосфогипс; малые архитектурные формы; композиты на основе "лежалого" фосфогипса.

**DETERMINATION OF THE FROST RESISTANCE OF THE PHOSPHOGYPSUM-BASED
COMPOSITE BINDERS FOR THE PRODUCTION OF LANDSCAPE PRODUCTS**

T.A. Golova, A.R. Davtian

The paper presents the experimental data about the research of the frost resistance of composite building materials based on a mixed binder using stockpiled phosphogypsum. Different variants of the composites for determining the frost resistance of the proposed compositions based on the phosphogypsum for the production of landscape products are shown.

Keywords: frost resistance; moisture absorption; phosphogypsum; landscape products; composite materials based on stockpiled phosphogypsum.

Малые архитектурные формы – это сооружения, предназначенные для архитектурно-планировочной организации объектов ландшафтной архитектуры как внутри помещения, так и за его пределами. Поэтому важным вопросом при производстве таких изделий является обеспечение требуемой долговечности конструкций.

Долговечность – это комплексная характеристика качества искусственных каменных материалов. Она выражается в способности сопротивляться сложному воздействию внешних и внутренних факторов, воздействующих на искусственные каменные материалы и здания или сооружения в целом.

Оценкой долговечности является временная продолжительность изменения прочностной или деформационной устойчивости до наступления предельного состояния. Одновременно необходимо, чтобы искусственный каменный материал был стоек к воздействию химических факторов. Наиболее важными являются: воздействие температуры и ее колебания, особенно при переходе через 0 °С, водная среда, воздействие солей, кислот и щелочей.

Прочность искусственных каменных материалов характеризуется способностью материала в определенных условиях и временных пределах сопротивляться внутренним напряжениям и деформациям, возникающим под влиянием механических, тепловых и других напряжений, не разрушаясь.

Наиболее неблагоприятными условиями для увлажненного материала являются температурные перепады. Вода, поглощенная материалом, особенно порами в поверхностном слое, замерзает при переходе через нулевую температуру с расширением на 8,5 %. Кристаллизация льда в порах при последующем оттаивании приводит к дополнительным внутренним напряжениям и возникновению микро- и макротрещинам.

Способность материала, насыщенного водой, выдерживать многократное попеременное (циклическое) замораживание и оттаивание без значительных технических повреждений и ухудшения свойств, называется морозостойкостью.

Таким образом, на прочность искусственных каменных материалов в значительной мере влияют

Таблица 1 – Прочность бетона, изготовленного на кирпичном щебне из кирпича марки 100 в зависимости от расхода смешанного вяжущего и соотношения между кварцевым песком и кирпичным щебнем

Смешанное вяжущее, кг/м ³	Зерновой состав заполнителя, %		Отношение вода : сухое вещество, %	Объемная масса, кг/м ³		Предел прочности бетона при сжатии (28 дней), МПа
	кварцевый песок 0–7 мм	кирпичный щебень 7–30 мм		свежеуложенного	через 28 дней	
150	90	10	64	2050	2010	11,1
	85	15	63	2020	1980	10,9
	80	20	62	2010	1960	11,0
	75	25	61	2000	1920	7,8

величина пористости и размер пор. Мелкозернистые материалы, а, следовательно, мелкопористые имеют более высокую прочность по сравнению с обычными или крупнозернистыми материалами.

Мелкозернистый бетон имеет много общего с обычным бетоном, т. к. основным фактором, определяющим его свойство, является искусственный камень, образованный при затворении вяжущего. Однако этот бетон имеет особенности, обусловленные его структурой, для которой характерна большая однородность и мелкозернистость, отсутствие жесткого каменного скелета, повышенная пористость и удельная поверхность твердой фазы [1].

В целях получения более плотной структуры используют молотый и немолотый пески в равных долях, а также заполнители, не содержащие примесей, которые могут влиять на схватывание смешанных вяжущих.

В наших исследованиях в качестве вяжущего использовали смешанное вяжущее на основе фосфогипса, извести и пуццолановой добавки. В качестве наполнителя использовали песок класса I по ГОСТ 8736–2014 (молотый и немолотый) [2], а в качестве заполнителя – кирпичный щебень по ГОСТ 8267–93 [3] (таблица 1), полученный при дроблении отходов производства керамического кирпича Балаковского кирпичного завода.

Оптимальная дозировка компонентов варьировалась четырьмя составами, соответствующим граничным значениям, рекомендуемым нормативными документами, с последующей интерполяцией полученных результатов. Влажность заполнителей и количество воды, входящее в состав компонентов, учитывали при дозировании расчетного количества воды в мелкозернистой смеси. Исследования проводили в сертифицированной лаборатории “Эксплуатационная надежность строительных конструкций”, Балаковского инженерно-технологического института (филиала Национального исследовательского ядерного университета “МИФИ”).

Свежеприготовленный мелкозернистый бетон имеет объемную массу 1460 кг/м³. В возрас-

те 28 сут. объемная масса составляет 1330 кг/м³. В сухом состоянии – 1250 кг/м³. После уплотнения на вибростоле ВС-400 пористость изменилась от 49 до 33,5 %. При этом водопоглощение составило 25,5 % для свежеприготовленного бетона и 20,5 % – для бетона через 28 суток.

Повышение долговечности связано с равномерным распределением заполнителя и наполнителей по объему бетонной смеси, наличием непрерывной прослойки в виде пространственной сетки смешанного вяжущего, которое связано с водовязущим или водотвердым отношением.

Для образцов из мелкозернистого бетона на смешанном вяжущем проводили исследования:

- водопотребности, сроков схватывания, прочности на сжатие и изгиб, водостойкости;
- морозостойкости, ГОСТ 10060–2012 [4];
- водопоглощения, ГОСТ 127305–84 [5].

Водостойкость образцов оценивали по изменению прочности на сжатие. Коэффициент водостойкости (коэффициент размягчения) определяли как отношение прочности при сжатии насыщенных водой образцов к прочности образцов в воздушно-сухом состоянии.

Степень уплотнения мелкозернистой бетонной смеси характеризуется коэффициентом уплотнения, равной отношению фактической объемной массы смеси к расчетной. Свежеуплотненный бетон имеет плотное строение и отношение объемных масс должно быть не менее 0,98.

Совместный помол фосфогипса с другими компонентами смешанного вяжущего и частью кварцевого песка обеспечивает более тщательное перемешивание смеси и более равномерное распределение компонентов в смеси. Жидкое стекло является вязким компонентом и вызывает комкование при перемешивании. Для повышения однородности смеси была произведена замена жидкого стекла на тонкомолотый силикат натрия (силикат-глыбу), что значительно облегчило перемешивание и удобоукладываемость смеси, повысило плотность массы и уменьшило вероятность включения в нее воздушных пузырей, что понизило по-

Таблица 2 – Влияние отрицательных температур на прочность мелкозернистого бетона на ФГИПВ

Вид хранения образцов	Продолжительность выдержки образцов в воздушно-сухих условиях перед замораживанием													
	0					1 сутки				3 суток			7 суток	
	Предел прочности образцов при сжатии в МПа в различные сроки замораживания в сутках													
	1	3	7	14	28	3	7	14	28	7	14	28	14	28
Замораживание при -5 °С (6 ч)	3,8	6,1	10,1	-	9,7	8,0	9,6	-	11,6	11,2	11,8	12,7	13,0	13,0
Контрольные образцы (комбинированное хранение)	5,6	7,8	9,2	-	9,4	9,1	10,8	-	12,4	11,4	12,6	13,8	12,8	12,8
Замораживание при -20 °С (6 ч)	11,2	16,5	-	16,1	15,9	15,5	-	14,4	14,4	-	15,9	15,0	14,4	14,0
Контрольные образцы (комбинированное хранение)	15,3	16,5	-	15,1	16,0	16,0	-	14,5	14,9	-	14,9	15,0	14,5	14,3

ристость образцов. Кроме того, замена жидкостекольного вяжущего безводным связующим позволило сократить содержание воды в смеси.

Помол многокомпонентной смеси производили до 4000 см²/г. Исследованиями было установлено, что введение 8–12 % тонкомолотого силиката натрия от массы фосфогипса и извести дает максимальное значение прочности при сжатии образцов. При дальнейшем увеличении процентного содержания тонкомолотого силиката натрия происходит спад прочности при сжатии, что можно объяснить увеличением количества воды, необходимого для сохранения требуемой удобоукладываемости.

На прочность и плотность мелкозернистого бетона оказывает большое влияние уплотнение бетонной смеси при укладке. При исследовании мелкозернистого бетона на ФГИПВ использовали одновременно с вибрированием давление, равное 0,2 кг/см².

В результате повышения периода вибрации с 4 до 10 сек, фактическое увеличение прочности составляет приблизительно 20 %. При вибрировании под давлением, равном 0,2 кг/см², происходит увеличение объемной массы, т. е. смесь становится более плотной, что предполагает рост прочности на сжатие.

Для определения морозостойкости были изготовлены образцы из мелкозернистого бетона с расходом смешанного вяжущего 150 кг/м³. Испытания проводили согласно ГОСТ 10060.0–2012 [4]. Бетонные образцы – кубики с размером ребра 100 мм в количестве 6 штук контрольных и 12 штук основных. Образцы контрольного и основного состава после их насыщения испытывали на сжатие по ГОСТ 10180–2012 [6]. Прочность при сжатии

определяли после каждого числа циклов, согласно ГОСТ 10060–2012, п. 9.5.2.5.

Контрольные образцы перед испытанием на прочность, а основные образцы перед замораживанием, насыщали водой температурой 18 ± 2 °С.

Для насыщения образцы погружали в жидкость на 1/3 их высоты на 24 ч, затем уровень повышали до 2/3 высоты образца и выдерживали в таком положении еще 24 ч. После чего образцы полностью погружали в жидкость на 48 ч таким образом, чтобы уровень жидкости был выше верхней грани образцов не менее, чем на 20 мм.

Число циклов испытания основных образцов бетона в течение одних суток составлял не менее одного.

В промежуточный срок испытания образцы осматривали с целью обнаружения появления трещин, отколов, шелушения поверхности. При появлении указанных дефектов образцы больше не испытывали и в журнале испытаний делали запись о том, что данный образец не соответствует марке по морозостойкости.

Через шесть часов после изготовления часть образцов была помещена в морозильную камеру СМ–55/50–12 МАС–Н, остальные после 6-часового твердения на воздухе при температуре 20 °С помещали в изотермическую камеру с температурой +5 °С, а также в морозильную камеру с температурой – 15 °С. Контрольные образцы того же состава и того же замеса находились в воздушно-сухих условиях и твердели при температуре воздуха +20 °С.

Через 1, 3, 7, 28 суток для каждой серии образцов определяли потерю в массе и прочности при сжатии. Дальнейшее твердение образцов через

28 суток происходило при температуре + 20 °С. Результаты испытаний приведены в таблице 2.

Через 28 суток прочность на сжатие образцов, твердеющих при температуре + 20 °С, составила 15,7 МПа, образцов, твердеющих при температуре + 5 °С – 14,3 МПа, образцов, испытываемых на замораживание и оттаивание – 14,8 МПа.

Экспериментально установлено, что основные нарушения в прочности образцов происходят в первые три цикла замораживания и оттаивания. Образцы с предварительной 6-часовой выдержкой хорошо сохраняют форму весь период испытания, но на протяжении 28 суток твердения прочность при сжатии остается ниже прочности образцов, твердевших при температуре +20 °С. Для малых архитектурных форм с применением “лежалого” фосфогипса такие показатели являются неэффективными. Для повышения долговечности необходимо увеличить долю гидравлического вяжущего

цемента и ввести гидроизоляционные добавки для повышения влагостойкости.

Литература

1. Яшин С.О. Технология и свойства модифицированных фосфогипсобитумных минеральных композиций / С.О. Яшин. Владикавказ: Изд-во ФГА-ОУ ВПО Северо-Кавказский федер. ун-т, 2013.
2. ГОСТ 8736–2014 Песок для строительных работ. Технические условия (с поправкой).
3. ГОСТ 8267–93 Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия.
4. ГОСТ 10060–2012 Бетоны. Методы определения морозостойкости.
5. ГОСТ 12730.5–84 Бетоны. Методы определения водонепроницаемости.
6. ГОСТ 10180–2012 Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам.