

УДК 693.32

Старченко А.Ю., Генеральный директор, ДП «Кнауф Маркетинг»;

Клименко С.В., канд. техн. наук, директор Технического департамента, ДП «Кнауф Сервис Украина», г. Киев;

Братчун В.И., доктор техн. наук, профессор, зав. кафедрой технологии строительных материалов, изделий и автомобильных дорог, ДонНАСА, г. Макеевка;

Бармотин А.А., канд. техн. наук, доцент, кафедра «Технология и организация строительства» ДонНАСА;

Косик А.Б., ассистент, кафедра «Технология и организация строительства» ДонНАСА, г. Макеевка

ИССЛЕДОВАНИЯ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ЦЕМЕНТНОЙ ПЛИТЫ КНАУФ AQUAPANEL® OUTDOOR

Актуальность. При проектировании фасадных систем основным вопросом является изучение характеристик окружающей среды и обоснованный подбор материалов по долговечности и коррозионной стойкости, обеспечивающих гарантированный срок эксплуатации для данного района строительства.

Степень агрессивного воздействия на бетонные и железобетонные конструкции (композитные материалы с использованием цементных вяжущих) определяется для жидких сред – наличием и концентрацией агрессивных агентов, температурой, величиной напора или скоростью движения жидкости у поверхности; для газовых сред – видом и концентрацией газов, растворимостью их в воде, влажностью и температурой среды; для твердых тел (соли, аэрозоли, пыли) – дисперсностью, растворимостью в воде, влажностью окружающей среды. Степень и агрессивность воздействия на цементные композитные материалы определяется нормами по антикоррозионной защите строительных конструкций [3].

Отсутствие надежных экспериментальных данных о коррозионной стойкости материалов приводит к необоснованному увеличению сметной стоимости и искажению реальной оценки фактической долговечности конструкций.

В соответствии с техническим заданием ДП «Кнауф Маркетинг» проведены контрольные испытания на морозостойкость и коррозионную стойкость цементной плиты AQUAPANEL® Outdoor (производитель – фирма «Knauf USG Systems GmbH & Co. KG») для внешних работ размером 900x2500x12,5 мм (код ДКПП 26.65.12). Испытания проведены лабораторией испы-

таний дорожно-строительных материалов и изделий в Донбасской национальной академии строительства и архитектуры в соответствии с нормативными требованиями [1, 2, 3, 4, 5, 6].

Подготовка образцов

Контрольные испытания проводились на образцах размерами: 12x95x245 мм, которые были выпилены из плиты на расстоянии не менее 50 мм от кромки. Образцы перед испытанием выдерживались в помещении лаборатории не менее 24 ч на расстоянии не менее 10 мм друг от друга. Образцы осматривались на наличие внешних дефектов в виде трещин, вздутий и раковин. Средняя плотность ρ_m отдельных образцов одной серии контролировалась в пределах $\pm 1\%$. При отклонении в пределах больше, чем $\pm 3\sigma$ (σ – среднеквадратичное отклонение средней плотности) образцы отбраковывались. Перед испытанием торцы защищали холодной битумной мастикой. Эталонные образцы высушивали при температуре $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$ до постоянной массы и взвешивали до 0,01 г. Кроме этого определяли прочность на растяжении при изгибе, водонепроницаемость и общую пористость.

Испытания на морозостойкость

Кассеты с образцами погружали на 48 ч в емкость с водой так, чтобы уровень воды был выше образцов на 50 мм. После насыщения водой проводили попеременное замораживание и оттаивание образцов [1, 2]:

1) замораживание – не менее 4 ч при температуре $-18 \pm 2^\circ\text{C}$;

2) оттаивание – не менее 4 ч в воде при температуре $18 \pm 2^\circ\text{C}$;

Таблица 1

Результаты испытаний на морозостойкость

Наименование вида продукции	Нормативное значение	Предел прочности при изгибе после количества циклов замораживания / оттаивания Н/мм ²						
		0	10	20	30	40	50	75
Прочность плит КНАУФ AQUAPANEL® Outdoor, Н/мм ²	$\geq 6,2$	9,91	9,69	9,48	9,43	9,42	9,05	8,95
Уменьшение прочности при изгибе, $\Delta R_{отн}$, %	≥ 10	–	2,22	4,34	4,84	4,94	8,68	9,7

Результаты испытаний на водопоглощение

Наименование вида продукции	Единица измерения	Фактическое значения			
		1 образец	2 образец	3 образец	Среднее значение
Водопоглощение по массе цементной плиты КНАУФ AQUAPANEL® Outdoor	%	7,55	7,4	8,0	7,65

При проведении испытания на морозостойкость образцы осматривали через каждые 10 циклов после их оттаивания. Оценка морозостойкости производится по внешнему виду (степени повреждений) и потере прочности. При оценке морозостойкости по внешнему виду (степени повреждений) образцы считали выдержавшими испытание, если после требуемого числа циклов испытания они не разрушались или на их поверхности не было обнаружено видимых повреждений (расслоение, шелушение, отколы, сквозные трещины, выкрашивания).

Марка образцов по морозостойкости устанавливалась, если потеря прочности основных образцов после испытания не превышает 10 %. Остаточную прочность в процентах вычисляли как отношение предела прочности при изгибе образцов, подвергшихся замораживанию, к пределу прочности при изгибе контрольных образцов. За предел прочности при изгибе образцов, подвергшихся замораживанию и оттаиванию, принимали среднее арифметическое значение результатов испытаний всех образцов.

В процессе замораживания на 41-ом цикле, на отдельных образцах с тыльной стороны плит, были обнаружены незначительные повреждения в виде лущения размером до 1 мм, которые на 75-ом цикле составляли до 2% от общей площади образцов. Повреждение лицевой стороны плит (лущение, сквозные трещины, выкрашивания) не зафиксированы.

Согласно требованиям [1, 2, 4] образцы цементной плиты КНАУФ AQUAPANEL® Outdoor выдержали испытание 75 циклов попеременного замораживания и оттаивания.

Испытания на коррозионную стойкость

С учетом возможных условий эксплуатации были приняты следующие агрессивные среды:

- выщелачивающая (вымывание свободного $\text{Ca}(\text{OH})_2$ под действием дождевых вод);
- кислотная H_2SO_4 (промышленные регионы: Донецк, Запорожье, Днепропетровск);
- углекислая CO_2 (промышленные регионы: Донецк, Запорожье, Днепропетровск);
- магниезальная Mg^{2+} (прибрежные районы Черного и Азовского морей);
- аммонийная NH_4^+ (действие биохимических процессов);
- сульфатная SO_4^{2-} (действие грунтовых вод).

Образцы помещали в неагрессивную и агрессивную среды, таким образом, чтобы они не соприкасались друг с другом и был обеспечен

равномерный доступ жидкой среды со всех сторон. Слой раствора над образцами был не менее 2–3 см. В качестве неагрессивной среды принимали питьевую воду и постоянные условия воздействия агрессивной среды:

- концентрация агрессивной среды не должна изменяться более чем на 5%;
- жесткость не должна превышать 2°;
- pH не должно изменяться в пределах более чем $\pm 0,2$;
- отклонение температуры агрессивной среды не должно превышать $\pm 3^\circ\text{C}$;
- соотношение объема агрессивного раствора в кубических сантиметрах к 1 cm^2 поверхности образцов должно быть не менее 5:1.

Через 30 суток проверялась концентрация агрессивных веществ в растворе. В случае снижения концентрации более чем на 5% от установленной, среду полностью меняли. При истечении установленного срока нахождения в условиях воздействия жидкой агрессивной среды образцы извлекали из емкости, ополаскивали водопроводной водой и протирали тканью, после чего взвешивали и определяли прочность на растяжение при изгибе.

Результаты испытаний оценивали, сравнивая значения показателей, характеризующих коррозионную стойкость испытываемых образцов, помещенных в жидкую агрессивную среду, со значениями показателей образцов, помещенных в неагрессивную среду (сравнение параллельных образцов). Оценка коррозии производилась по внешнему виду (степени повреждений), по потере массы и изменению предела прочности при изгибе.

При оценке коррозии по внешнему виду (степени повреждений) образцы считались выдержавшими испытание, если после требуемого числа суток испытания они не разрушались или на их поверхности не было обнаружено видимых повреждений (расслоение, трещины, выкрашивания, вздутия, раковины).

По результатам испытаний в пределах каждой серии находили среднеарифметическое значение показателей прочности образцов на растяжение при изгибе и их массы. Коэффициент химической стойкости $K_{х.с.}$ определяли по изменению прочности образцов на растяжение при изгибе после каждого срока испытаний:

$$K_{х.с.} = \frac{R_t}{R_0},$$

где R_0 – предел прочности серии образцов на растяжение при изгибе, не погружавшихся в среду; R_τ – предел прочности серии образцов на растяжение при изгибе после выдержки в среде в течение времени τ , сут.

Изменение массы образцов m после каждого срока испытания Δm в процентах вычисляли по формуле:

$$\Delta m = \frac{m - m_1}{m} \cdot 100 \quad ,$$

где m – масса образцов до погружения в среду; m_1 – масса образцов после выдержки в среде.

Характеристики составов агрессивных сред, принятых согласно [3, 5], используются при испытаниях на коррозионную стойкость бетонов, работающих в условиях жидких сильноагрессивных сред. В то же время атмосферные воды, выпадающие в виде осадков, содержат обычно ничтожное количество солей: хлор-ионов, как правило, в пределах 1,5–4 мг/л, а сульфатов в расчете на SO_3 от 1 до 16 мг/л [8]. Количество SO_3 может быть значительно выше в районе городов, где воздух загрязняется дымовыми газами. Кроме этого, атмосферные воды содержат некоторое количество растворенной CO_2 , снижающей pH в результате образования в воде угольной кислоты. Обычная воздушная

среда не агрессивна по отношению к композиционным цементным материалам [9]. В газовой атмосферной среде при средней относительной влажности $\varphi=61-75\%$ (нормальная влажность среды) максимальная концентрация агрессивных ионов и оксидов по отношению к цементному камню составляет: CO_2 до 2000 мг/м³; SO_2 до 0,5 мг/м³; H_2S до 0,01 мг/м³; Cl^- до 0,1 мг/м³; HCl до 0,05 мг/м³ (среда группы А).

Анализ испытаний на коррозионную стойкость цементной плиты КНАУФ AQUAPANEL® Outdoor показал, что плита выдерживает такое воздействие сильноагрессивных сред в течение 3 месяцев. С увеличением длительности воздействия с 3 месяцев до полугода образцы отвечают требованиям по степени повреждений, но значения по потере массы и прочности при изгибе превышают нормативные.

Применительно для фасадов, в период проектного срока службы, такое воздействие может носить только эпизодический характер, в случае аварийной ситуации в промзоне или стихийного наводнения (опытная концентрация сульфатной и магниевой среды выше, чем среднестатистическая в морской воде и минерализованных грунтовых водах).

Анализ зарубежных и отечественных исследований показывает (рис. 1), что при умеренной концентрации

Таблица 3

Результаты испытаний на коррозионную стойкость

Наименование агрессивной среды и контрольных параметров	Значение контрольных параметров в зависимости от количества суток в агрессивной среде						
	0	30	60	90	120	150	180
Прочность плит КНАУФ AQUAPANEL® Outdoor, Н/мм ² в выщелачивающей среде 60 мг-л ⁻¹	10,71	10,47	10,35	10,33	10,01	9,73	9,61
Уменьшение прочности при изгибе, $\Delta R_{отн.}$, %	–	2,24	3,36	3,55	6,54	9,15	10,3
Уменьшение массы образца, Δm , %	–	0,15	0,34	0,4	0,64	1,68	2,2
Коэффициент химической стойкости, Кх.с	–	0,98	0,97	0,96	0,93	0,91	0,9
Прочность плит КНАУФ AQUAPANEL® Outdoor, Н/мм ² в кислотной среде H_2SO_4 , pH 4,5	10,71	10,45	10,06	9,73	9,01	8,38	7,73
Уменьшение прочности при изгибе, $\Delta R_{отн.}$, %	–	2,43	6,07	9,15	15,5	21,75	28
Уменьшение массы образца, Δm , %	–	0	0,42	0,86	1,8	2,82	4,97
Коэффициент химической стойкости, Кх.с	–	0,98	0,94	0,91	0,84	0,8	0,72
Прочность плит КНАУФ AQUAPANEL® Outdoor, Н/мм ² в углекислой среде CO_2 , 40 мг-л ⁻¹	10,71	10,3	9,81	9,27	8,98	8,52	6,23
Уменьшение прочности при изгибе, $\Delta R_{отн.}$, %	–	3,8	8,4	13,44	16,15	20,4	42
Уменьшение массы образца, Δm , %	–	0,27	0,67	0,98	1,1	3,8	4,16
Коэффициент химической стойкости, Кх.с	–	0,96	0,92	0,87	0,84	0,8	0,6
Прочность плит КНАУФ AQUAPANEL® Outdoor, Н/мм ² в магниевой среде Mg^{2+} , 5000 мг-л ⁻¹	10,71	10,52	9,94	9,65	9,09	8,91	8,7
Уменьшение прочности при изгибе, $\Delta R_{отн.}$, %	–	1,8	7,2	9,9	15,13	16,81	18,8
Уменьшение массы образца, Δm , %	–	0,31	0,78	1,0	1,7	2,8	4,77
Коэффициент химической стойкости, Кх.с	–	0,98	0,93	0,9	0,85	0,83	0,81
Прочность плит КНАУФ AQUAPANEL® Outdoor, Н/мм ² в аммонийной среде NH_4^+ , 1000 мг-л ⁻¹	10,71	10,48	9,98	9,7	8,89	8,66	8,18
Уменьшение прочности при изгибе, $\Delta R_{отн.}$, %	–	2,14	6,82	9,43	17,0	19,14	23,6
Уменьшение массы образца, Δm , %	–	0,48	0,67	0,98	1,2	2,7	5,45
Коэффициент химической стойкости, Кх.с	–	0,98	0,93	0,91	0,83	0,81	0,76
Прочность плит КНАУФ AQUAPANEL® Outdoor, Н/мм ² в сульфатной среде SO_4^{2-} , 3000 мг-л ⁻¹	10,71	10,19	9,95	9,73	9,19	8,61	6,98
Уменьшение прочности при изгибе, $\Delta R_{отн.}$, %	–	4,85	7,1	9,15	14,2	19,61	34,8
Уменьшение массы образца, Δm , %	–	0,32	0,71	0,85	1,1	2,7	4,19
Коэффициент химической стойкости, Кх.с	–	0,95	0,93	0,91	0,86	0,8	0,65
Общая пористость, %	52-55						

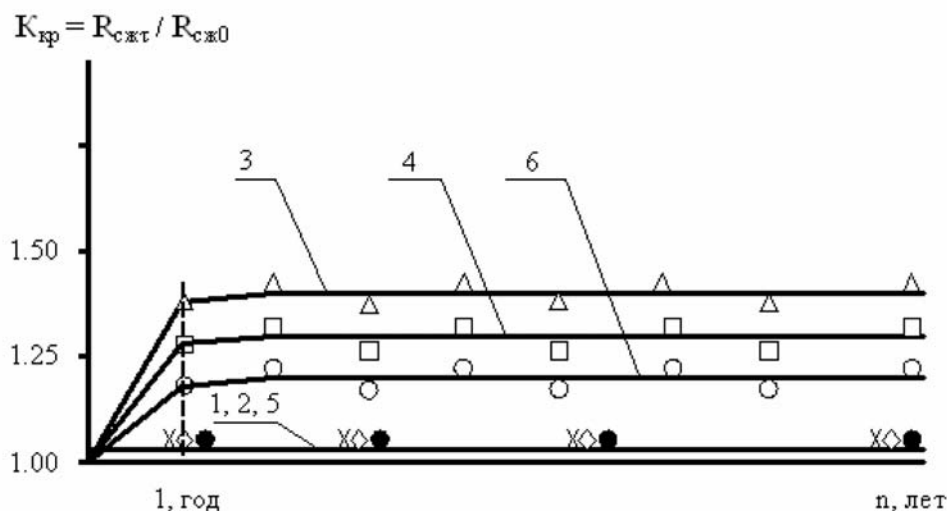


Рис. 1. Зависимость коррозионной стойкости бетонных образцов от концентрации агрессивной среды ($R_{сжт}$ – предел прочности при сжатии плиты после нахождения в агрессивной среде в течение времени t ; $R_{сж0}$ – начальный предел прочности при сжатии плиты: 1 – в щелочной среде $Ca(OH)_2=20$ мг/л; 2 – в кислой среде $HCl(H_2SO_4)$ pH=5,7; 3 – в углекислой среде H_2CO_3 pH=5,7; 4 – в магнезиальной среде; $MgSO_4=16$ мг/л; 5 – аммонийной среде NH pH=5,7; 6 – в сульфатной среде $CaSO_4=50$ мг/л;

углекислой CO_2 и сульфатной сред SO средняя плотность цементно-песчаных растворов увеличивается, общая пористость и водопоглощение по объему уменьшаются, растет предел прочности при сжатии в течение года эксплуатации при благоприятных условиях ($T=20^{\circ}C$, $\phi=90-100\%$).

Выводы

1. Согласно требованиям [1, 2, 4] образцы цементной плиты КНАУФ AQUAPANEL® Outdoor (производитель – фирма «Knauf USG Systems GmbH & Co. KG») выдержали испытание 75 циклов попеременного замораживания и оттаивания, что применительно к требованиям для лицевого кирпича соответствует одной из высоких марок по морозостойкости.

2. Результаты и условия испытания в сильноагрессивных средах, а также анализ возможного максимального содержания агрессивных газов в атмосфере промышленных и селитебных территориях, показывают, что цементная плита КНАУФ AQUAPANEL® Outdoor относится к коррозионно стойким материалам для проектного срока службы фасадов.

ЛИТЕРАТУРА

1. ДСТУ Б В. 2.7-42-97 «Методы определения водопоглощения, плотности и морозостойкость строительных материалов и изделий».
2. ДСТУ Б В. 2.7-47-96 «Бетоны. Методы определения морозостойкости».
3. СНиП 2.03.11-85 «Защита строительных конструкций от коррозии».
4. ГОСТ 8747-88 «Изделия асбестоцементные листовые. Методы испытаний».
5. ГОСТ 27677-88(СТ СЭВ 5852-86) Защита от коррозии в строительстве. Бетоны. Общие требования к проведению испытаний».
6. ГОСТ 25881-83 «Бетоны химически стойкие. Методы испытаний».
7. Техническая документация производителя цементных плит КНАУФ AQUAPANEL® Outdoor.
8. Москвин В.М. Коррозия бетона и железобетона, методы защиты / В. М. Москвин, Ф. М. Иванов, С. Н. Алексеев, Е. А. Гузеев. – Стройиздат, 1980. – 536 с.
9. Чехов А. П. Захист будівельних конструкцій від корозії / А. П. Чехов, В. М. Глущенко. – К.: Вища школа, 1994. – 224 с.