

УДК 620.16

В. И. БРАТЧУН, А. Б. КОСИК

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры

ИССЛЕДОВАНИЯ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ЦЕМЕНТНОЙ ПЛИТЫ КНАУФ AQUAPANEL® OUTDOOR

В статье приведены условия и результаты испытания на морозостойкость и коррозионную стойкость цементной плиты AQUAPANEL® Outdoor в сильноагрессивных жидких средах, а также анализ возможного максимального содержания агрессивных газов в атмосфере промышленных и селитебных территорий.

морозостойкость, коррозия, цементная плита, фасадная система

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 (рис. 1).

ЦЕЛЬ

Проведение экспериментальных исследований на морозостойкость и коррозионную стойкость цементной плиты AQUAPANEL® Outdoor (производитель – фирма «Knauf USG Systems GmbH & Co. KG») для наружных работ размером 900×2 500×12,5 мм (код ДКПП 26.65.12) в соответствии с нормативными требованиями [1, 2, 3, 4, 5, 6].

Подготовка образцов

Контрольные испытания проводились на образцах размерами: 12×95×245 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 с точностью до 0,01 г. Кроме этого, определяли прочность на растяжении при изгибе, водонепроницаемость и общую пористость.

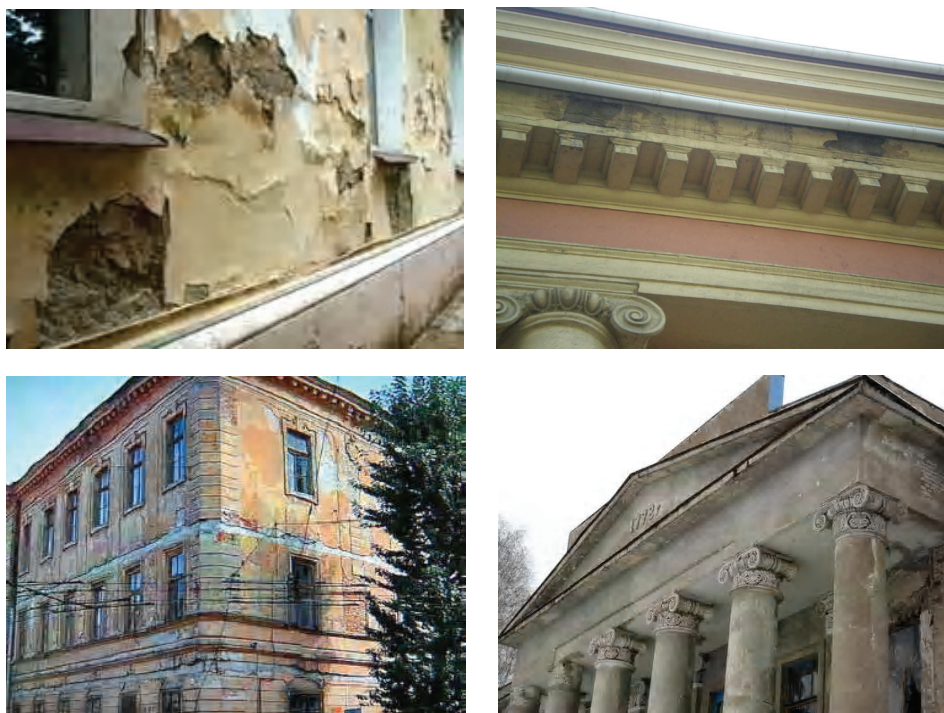


Рисунок 1 – Повреждения фасадов зданий при эксплуатации в условиях промышленных городов.

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 ± 2 °С;
- 2) оттаивание – не менее 4 ч в воде при температуре 18 ± 2 °С;

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 (рис. 2).



Рисунок 2 – Подготовка образцов и процесс оттаивания при испытаниях на морозостойкость.

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 (табл. 1). За предел прочности при изгибе образцов, подвергшихся замораживанию и оттаиванию, принимали среднее арифметическое значение результатов испытаний всех образцов.

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 AQUAPANEL® Outdoor, Н/мм ²	≥ 6,2	9,91	9,69	9,48	9,43	9,42	9,05	8,95
Уменьшение прочности при изгибе, ΔRотт, %	≤ 10	–	2,22	4,34	4,84	4,94	8,68	9,7

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 (табл. 2).

Таблица 2 – Результаты испытаний на водопоглощение

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

Согласно требованиям [1, 2, 4] образцы цементной плиты 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 Са(ОН)₂ под действием дождевых вод);
- кислотная Н₂SO₄ (промышленные регионы: Донецк, Запорожье, Днепропетровск);
- углекислая СО₂ (промышленные регионы: Донецк, Запорожье, Днепропетровск);
- магниевая Mg²⁺ (прибрежные районы Черного и Азовского морей);
- аммонийная NH⁴⁺ (действие биохимических процессов);
- сульфатная SO₄²⁻ (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 ±0,2;
- отклонение температуры агрессивной среды не должно превышать ±3 °С;
- соотношение объема агрессивного раствора в кубических сантиметрах к 1 см² 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 заменяли. По 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. 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. Признаки повреждений (расслоение, трещины, выкрашивания, вздутия, раковины).

По результатам испытаний (табл. 3) 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:

$$K_{х.с} = \frac{R_{\tau}}{R_0} \quad (1)$$

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.

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 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, $K_{х.с}$	–	0,98	0,97	0,96	0,93	0,91	0,9
Прочность AQUAPANEL® Outdoor, Н/мм ² в кислотной среде H ₂ SO ₄ , рН 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, $K_{х.с}$	–	0,98	0,94	0,91	0,84	0,8	0,72
Прочность 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, $K_{х.с}$	–	0,96	0,92	0,87	0,84	0,8	0,6
Прочность AQUAPANEL® Outdoor, Н/мм ² в магниальной среде Mg ²⁺ , 5 000 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, $K_{х.с}$	–	0,98	0,93	0,9	0,85	0,83	0,81
Прочность AQUAPANEL® Outdoor, Н/мм ² в аммонийной среде NH ₄ ⁺ , 1 000 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, $K_{х.с}$	–	0,98	0,93	0,91	0,83	0,81	0,76
Прочность AQUAPANEL® Outdoor, Н/мм ² в сульфатной среде SO ₄ ²⁻ , 3 000 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, $K_{х.с}$	–	0,95	0,93	0,91	0,86	0,8	0,65
Общая пористость, %	52–55						

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

$$\Delta m = \frac{m - m_1}{m} \cdot 100, \quad (2)$$

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 1,5–4,0 мг/л, а сульфатов в расчете на SO_3 от 1 до 16 мг/л [7]. 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 неагрессивна по отношению к композиционным цементным материалам [8]. В газовой атмосферной среде при средней относительной влажности $\varphi = 61\text{--}75\%$ (нормальная влажность среды) максимальная концентрация агрессивных ионов и оксидов по отношению к цементному камню составляет: CO_2 до 2 000 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 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 к фасадам, 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. 3), что при умеренной концентрации углекислой CO_2 и сульфатной сред SO_4^{2-} 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 ($T = 20\text{ }^\circ\text{C}$, $\varphi = 90\text{--}100\%$).

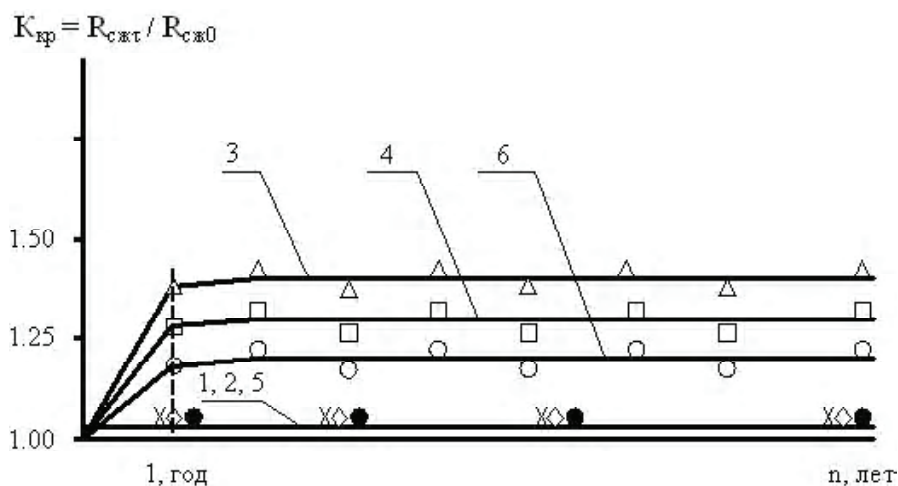


Рисунок 3 – Зависимость коррозионной стойкости бетонных образцов от концентрации агрессивной среды ($R_{сжт}$ – предел прочности при сжатии плиты после нахождения в агрессивной среде в течение времени t ; $R_{сж0}$ – начальный предел прочности при сжатии плиты): 1 – в щелочной среде $\text{Ca}(\text{OH})_2 = 20$ 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 магниевой среде; $\text{MgSO}_4 = 16$ мг/л; 5 – аммонийной среде NH_4^+ pH = 5,7; 6 – в сульфатной среде $\text{CaSO}_4 = 50$ мг/л.

ВЫВОДЫ

1. Согласно требованиям [1, 2, 4] образцы цементной плиты 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 территорий показывают, что цементная плита AQUAPANEL® Outdoor относится к коррозионно стойким материалам для проектного срока службы фасадов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ДСТУ Б В.2.7-42-97. Будівельні матеріали. Методи визначення водопоглинання, густини і морозостійкості будівельних матеріалів і виробів [Текст]. – Введений вперше; чинний від 1997-07-01. – Київ: Держкоммістобудування України, 1997. – 22 с.
2. ДСТУ Б В.2.7-47-96 (ГОСТ 10060.0-95). Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення морозостійкості. Загальні вимоги [Текст]. – Введений на заміну ГОСТ 10060-87 в частині загальних вимог визначення морозостійкості; чинний від 1997-04-01. – К.: Держкоммістобудування України, – 9 с.
3. СНиП 2.03.11-85. Защита строительных конструкций от коррозии [Текст]. – Взамен СНиП II-28-73*, СНиП 65-76; введ. 1 января 1986 г. – М.: Госстрой СССР, 1986. – 46 с.
4. ГОСТ 8747-88. Изделия асбестоцементные листовые. Методы испытаний [Текст]. – Взамен ГОСТ 8747-83; введ. 1989-07-01. – М.: Изд-во стандартов, 1989. – 22 с.
5. ГОСТ 27677-88 (СТ СЭВ 5852-86). Защита от коррозии в строительстве. Бетоны. Общие требования к проведению испытаний [Текст]. – Введен впервые; введ. 01.07.88. – Москва: Издательство стандартов, 1988. – 7 с.
6. ГОСТ 25881-83. Бетоны химически стойкие. Методы испытаний [Текст]. – Взамен ГОСТ 25246-82 в части приложения 5; введ. 1984-07-01. – М.: Издательство стандартов, 1983. – 7 с.
7. Коррозия бетона и железобетона, методы защиты [Текст] / В. М. Москвин, Ф. М. Иванов, С. Н. Алексеев, Е. А. Гусев. – М.: Стройиздат, 1980. – 536 с.
8. Чехов, А. П. Захист будівельних конструкцій від корозії [Текст] / А. П. Чехов, В. М. Глушенко. – К.: Вища школа, 1994. – 224 с.

Получено 15.09.2014

В. І. БРАТЧУН, А. Б. КОСИК
ДОСЛІДЖЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ ЦЕМЕНТНОЇ ПЛИТИ КНАУФ
AQUAPANEL® OUTDOOR
Донбаська національна академія будівництва і архітектури

У статті наведені умови та результати випробування на морозостійкість і корозійну стійкість цементної плити AQUAPANEL® Outdoor в сильноагресивних рідких середовищах, а також аналіз можливого максимального вмісту агресивних газів в атмосфері промислових і селітебних територій.
морозостійкість, корозія, цементна плита, фасадна система

VALERY BRATCHUN, ALEKSEY KOSIK
STUDIES OF DURABILITY OF CEMENT BOARD KNAUF AQUAPANEL®
OUTDOOR

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

The paper gives the terms and results of investigations to frost resistance and corrosion resistance of the cement slab AQUAPANEL® Outdoor in strong aggressive liquid media and there is an analysis of the possible maximum content of aggressive gases at atmosphere of industrial and residential areas.
frost resistance, corrosion, cement slab, facade system

Братчун Валерій Іванович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри автомобільних доріг і аеродромів Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: фізико-хімічна механіка технологічних і довговічних дорожніх бетонів для будівництва конструктивних шарів нежорстких дорожніх одягів на основі модифікування структури бетонів; розробка ефективних технологій переробки техногенної сировини в компоненти композиційних матеріалів.

Косик Олексій Борисович – асистент кафедри технології і організації будівництва Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: проектування великорозмірних куполів фірми Кнауф.

Братчун Валерій Іванович – доктор технічних наук, професор, завідує кафедрою автомобільних доріг і аеродромів Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Научні інтереси: фізико-хімічна механіка технологічних і довговічних дорожніх бетонів для будівництва конструктивних шарів нежестких дорожніх одягів на основі модифікованих органічних вяжучих і комплексного модифікування структури бетонів; розробка ефективних технологій переробки техногенного сировини в компоненти композиційних матеріалів.

Косик Алексей Борисович – асистент кафедри технології і організації будівництва Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Научні інтереси: проектування більшеразмірних куполів фірми Кнауф.

Bratchun Valery – DSc (Eng.), Professor, the Head of the Highways and Air Fields Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: physical and chemical mechanics of technological and durable concrete for road construction structural layers of nonrigid road clothes on the basis of modified organic binders and complex modification of the structure of concrete; development of effective technologies for processing man-made materials in the components of the composite materials.

Kosik Aleksey – Assistant, Technology and Management in Construction Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: design of large domes of company Knauf.