

DOI: 10.15593/24111678/2017.02.06

УДК 666.972.162

С.П. Возный

Национальный транспортный университет, Киев, Украина

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ГИДРОФОБНЫХ ДОБАВОК НА ПРОЧНОСТЬ ДОРОЖНОГО ЦЕМЕНТОБЕТОНА

В результате резкого увеличения интенсивности транспортных потоков, ухудшения состояния окружающей среды (автомобильные выхлопы, горюче-смазочные и антигололедные реагенты и т.п.) существенно возросли нагрузки на дорожные одежды, в том числе с цементобетонным покрытием. Актуальным является поиск решений, направленных на увеличение сроков службы дорожных одежд с цементобетонным покрытием, работающих в тяжелых условиях эксплуатации. В настоящее время при строительстве и реконструкции автомобильных дорог одним из основных условий является повышение долговечности и эксплуатационной устойчивости дорожных покрытий.

В статье рассматриваются свойства цементобетонного покрытия с эффективными гидрофобными добавками. Установлено, что добавка АДЭ-3 повышает морозостойкость на 20 %, водонепроницаемость – в 3 раза, прочность на удар – на 30 %, истираемость – на 58 %, также повышается трещиностойкость (R_m^0 – на 20–30 %; R_m^V – на 12–40 %). Повышение верхнего предела трещинообразования позволяет прогнозировать высокую выносливость и долговечность цементного бетона дорожного покрытия под действием многократно прикладываемых нагрузок различной величины.

Ключевые слова: цементобетонное покрытие, гидрофобные добавки, модификаторы, трещиностойкость цементобетона, дорожные одежды, АДЭ-3, условия эксплуатации автомобильных дорог.

S.P. Voznyi

National Transport University, Kiev, Ukraine

ANALYSIS OF INFLUENCE OF HYDROPHOBIC ADDITIVES ROAD CEMENT-CONCRETE FOR STRENGTH

As a result of a sharp increase in the intensity of traffic flows, deterioration of the environment (automobile exhaust, fuel and oil and anti-ice reagents, etc.), loads on road clothes, including cement concrete coatings, have increased significantly. Actual is the search for solutions aimed at increasing the service life of road clothes from cement concrete coatings operating under severe operating conditions. At present, when building and reconstructing motor roads, one of the main conditions is to increase the durability and operational stability of road surfaces.

The article deals with the properties of concrete pavement with effective hydrophobic additives. Found that the addition ADE-3 increases frost resistance by 20 %, water resistance – in with the times, the strength of the blow – by 30 %, abrasion – by 58 %. Also rising crack (R_m^0 at 20–30 %; R_m^V 12–40 %). Raising the upper limit of crack formation can predict high endurance and durability of cement concrete pavement under multiple prykkladuvanyh loads of different magnitude.

Keywords: cement concrete coating, hydrophobic additives, modifiers, crack resistance of cement concrete, road clothes, ADE-3, operation conditions of motor roads.

На морозостойкость, долговечность и коррозионную стойкость цементного бетона дорожного покрытия большое влияние оказывают характер общей пористости бетона, величина отдельных пор, их форма и взаимосвязь. Изменению воздушной пористости способствует ряд химических добавок, способных влиять на процессы структурообразования цементного камня, отделять поры друг от друга, изменять диаметр, размер и форму пор, а на их стенках образовывать пленки, которые не смачиваются и поэтому не подвергаются растворению и разрушению водой.

Добавки должны удовлетворять определенным требованиям:

– химические добавки, которые повышают водо-, морозостойкость и коррозионную стойкость, должны быть достаточно эффективными для того, чтобы при достаточно малых дозах снижать капиллярный подсос, водопоглощение и повышать водонепроницаемость бетонов дорожных покрытий;

– их действие должно быть продолжительным;

– добавки в оптимальном количестве и концентрации не должны негативно влиять на другие свойства цементобетонного покрытия дорог;

– они должны быть нетоксичными, доступными и экономически целесообразными, а их использование в дорожном строительстве должно быть простым, технологичным и обоснованным.

В зависимости от свойств и влияния добавок, которые повышают водо- и морозостойкость, коррозионную стойкость цементобетонных покрытий, их можно разделить на следующие группы:

1) тонкомолотые, с гидравлическими свойствами и свойствами коллоидных систем;

2) добавки, которые повышают гидрофобность бетонов дорожных покрытий;

3) полимерные добавки, которые полимеризуются в бетоне;

4) соли неорганических кислот, которые ускоряют процессы гидратации и структурообразования цементного камня дорожных бетонов.

Для повышения морозостойкости, выносливости, коррозионной стойкости цементобетона покрытия дорог и аэродромов за рубежом, в странах СНГ и на Украине широко применяют поверхностно-активные добавки (СНВ, ССБ, СДБ, КБМ и др.). Они имеют некоторый воздуховтягивающий эффект и являются достаточно эффективными при втягивании в дорожной бетон дополнительного количества воздуха (3–7 %).

Однако каждый процент вовлеченного в бетон воздуха снижает прочность бетона при сжатии на 4–6 % и на растяжение при изгибе – на 2–4 %, что приводит к снижению несущей способности покрытия дорог.

Существует необходимость поиска и исследования таких добавок для бетонного покрытия дорог, которые не снижают его физико-механические свойства, повышают устойчивость к агрессивному воздействию растворов хлористых солей, а также мороза, высыхания и увлажнения. Исследования, выполненные в последние годы научно-исследовательскими институтами, показывают, что гидрофобные добавки достаточно эффективны, позволяют существенно повысить водостойкость и водонепроницаемость, морозостойкость и коррозионную стойкость бетона при многократном замораживании и оттаивании в агрессивных растворах без понижения физико-механических свойств.

К таким добавкам в современном дорожном строительстве можно отнести органополисилоксаны, полиэтилгидросилоксаны, гексагидроксидисилоксаны, метилгидрогенполисилоксаны, диаалкилполисилоксаны, полиалкоксилоксаны, полиалкилсилоксаны, винилалкоксисиланы, метилвинилтриэтоксисиланы, тетраоксиэтилендиамины, этилсиликаты¹ [1–5].

В работах Ю. Дорошенко [6] было проведено сравнение добавок ГКЖ-94 и ГКЕ-50-94М. Лучшие результаты показала вторая добавка, но наиболее широкое применение в дорожном строительстве нашли добавки полигидросилоксанового типа (ГКЖ-94 и его модификация).

Количество добавки колеблется в очень широких пределах – от 0,01–1 до 1–5 %, что требует уточнения ее оптимального количества. Объяснение механизма действия гидрофобных добавок на процессы гидратации и структурообразования цементного камня также отличаются. К общим недостаткам гидрофобизаторов относят их сравнительно высокую стоимость, дефицитность для строительной индустрии Украины.

В исследованиях использовали два вида кремнийорганических соединений, различных по природе действия:

– полиэтилгидросилоксан ГКЖ-94 (газообразующие) (ГОСТ 10834-76);

¹ ТУ 6-02-694. Кремнийорганическая жидкость. Технические условия; ТУ 24.8-23-94-92-35-086-2001. Жидкость ГКЖ 136-157М. Технические условия. ПО «Кремнийполимер»; ДСТУ Б В.2.7-65-97. Строительные материалы. Добавки для бетонов и строительных растворов. Классификация; ДБН В.2.7-64-97. Строительные материалы. Правила применения химических добавок в бетонах и строительных растворах.

– алкилсиликонат натрия, АДЭ-3 (диэтиламинометилтриэтоксисилан) (газообразующие и воздухововлекающие).

Первая добавка широко известна, тогда как вторая – АДЭ-3 – только недавно была использована как модификатор цементобетона [7].

АДЭ-3 представляет прозрачную маслянистую жидкость от бесцветного до желтоватого цвета, является побочным продуктом производства компонентов некоторых полимерных смол на запорожском заводе «Кремнийполимер» и в России.

Из приведенных в табл. 1 результатов видно, что прочность при сжатии ($R_{сж}$) и осевом растяжении ($R_{о.р}$) повышается после 28 суток нормального твердения на 11–15 %, а модуль упругости и усадка уменьшаются на 3–10 %, что позволяет прогнозировать повышенную трещиностойкость цементобетонного покрытия. Наряду с основными показателями было определено соотношение этих характеристик, что позволяет сделать выводы о качестве структуры бетона. Такими показателями являются соотношение $R_{сж}/R_{о.р}$ (чем больше значение данного соотношения, тем ниже однородность и качество бетона), коэффициент призматической прочности КПП ($КПП = K_{пр}/R_{сж}$), показатели условной растяжимости $R_{зг}/E0,5R_{пр}$ и $R_{зг}/R_{сж}$. Образцы испытывались через 28 суток нормального твердения, определялось также влияние гидрофобных добавок на прочность и деформативные свойства цементного бетона (табл. 2).

Таблица 1

Влияние гидрофобных добавок на прочность и деформативные свойства цементного бетона

Показатель	Время твердения, сут	Эталон	ГКЖ-94 (0,1 %)	АДЭ-3 (0,1 %)
1	2	3	4	5
Прочность на сжатие $R_{сж}$, МПа	7	30,00	32,20	38,60
	14	36,90	38,40	49,60
	28	40,00	42,00	50,30
	90	46,70	49,70	59,90
	180	49,10	51,50	54,70
Прочность на растяжение при изгибе $R_{зг}$, МПа	7	3,10	3,42	3,49
	14	3,63	4,05	4,10
	28	4,55	4,90	4,98
	90	5,14	5,62	5,98
	180	5,68	6,10	6,25

Окончание табл. 1

1	2	3	4	5
Прочность на осевое растяжение $R_{o,p}$, МПа	7	2,00	2,91	2,92
	14	2,60	2,80	2,89
	28	2,81	3,02	3,14
	90	3,29	3,86	3,88
	180	3,45	3,93	3,98
Прочность на сжатие призм $R_{пр}$, МПа	7	22,90	23,10	23,20
	14	26,40	28,90	29,10
	28	30,00	32,00	32,60
	90	33,80	35,80	36,80
	180	35,50	37,60	37,80
Деформации при сжатии $\varepsilon_{сж} \cdot 10^{-4}$	7	13,20	14,40	14,50
	14	14,00	15,30	15,20
	28	14,00	16,40	16,60
	90	16,00	18,10	18,20
	180	18,10	20,50	20,40
Деформации при растяжении $\varepsilon_p \cdot 10^{-4}$	7	12,30	13,70	13,80
	14	12,60	14,20	14,60
	28	13,00	14,70	14,90
	90	13,40	15,40	15,80
	180	13,90	16,60	16,80
Модуль упругости $E \cdot 10^{-4}$, МПа	7	3,31	3,23	3,21
	14	3,36	3,28	3,27
	28	3,43	3,36	3,34
	90	3,77	3,62	3,60
	180	4,10	3,76	3,72
Деформации усадки $\varepsilon_y \cdot 10^{-4}$	7	6,70	6,00	6,00
	14	10,00	9,10	9,00
	28	17,50	16,20	16,00
	90	30,00	28,20	28,20
	180	34,00	31,60	31,60

Таблица 2

Показатели качества цементного бетона с гидрофобными добавками

Название показателей	Эталон	ГКЖ-94	АДЭ-3
$R_{сж} / R_{o,p}$	14,23/100	13,90/98	13,47/95
$R_{пр} / R_{сж}$	0,747/100	0,762/102	0,771/103
$R_{зг} / R_{сж}$	0,114/100	0,117/103	0,118/104
$R_{зг} / E_{0,5} R_{пр}$	1,326/100	1,458/110	1,491/112

Гидрофобные добавки позволяют частично перераспределить концентрацию напряжений не только в процессе структурообразования бетона, но и во время его нагрузки. Это хорошо подтверждается

данными прочности цементного бетона на сжатие и осевое растяжение при изгибе, что позволяет прогнозировать повышенное сцепление раствора с заполнителем, арматурой и старым бетоном.

В связи с тем что цементобетонные покрытия дорог твердеют в естественных условиях, были проведены исследования механических свойств цементного раствора, который твердел в условиях относительной влажности 65–70 % и при $T = 20$ °С. Фиксировались усадка призм, время образования трещин кольцевым методом, испытывались образцы-восьмерки на осевое растяжение.

Из результатов исследований видно, что без добавок трещинообразование началось через 5 ч, с добавками 0,1 % ГКЖ-94 – через 30 ч, с добавкой 0,1 % АДЭ-3 – через 82 ч. Данные по испытанию деформативности бетона при осевом растяжении показывают, что повышение однородности бетона и снижение дефектности кристаллообразования и контактов их сращивания за счет применения гидрофобных добавок ведут к значительному повышению деформативности при осевом растяжении на 20 % при незначительном повышении прочности на сжатие.

Благодаря изменению характера структуры и распределения пор удалось повысить плотность и однородность, растяжимость и прочность на осевое растяжение, уменьшить усадку, которая обуславливает повышение трещиностойкости и долговечности цементобетонного покрытия дорог гидрофобными добавками. Границы внутреннего микротрещинообразования в бетоне без добавок и с гидрофобными добавками в процессе нагрузки образцов определялись по методике А.Я. Берга (показатели границ микроразрушения и границ микротрещинообразования) [8].

Одним из путей определения этих показателей является метод ультразвуковых измерений. Развитие микроразрушений в структуре бетона приводит к снижению скорости ультразвуковых колебаний, которые расширяются поперек линии действия сжимающего напряжения. Таким образом, нагрузка R_t^o соответствует началу уменьшения скорости ультразвука и визуально фиксируется появлением микротрещин на поверхности образца.

Данные исследований морозостойкости, водонепроницаемости, истирания и прочности при ударе приведены в табл. 3.

Морозостойкость исследовалась методом замораживания при $T = -18 \pm 2$ °С и оттаивании одной партии образцов в воде, другой партии образцов – в 5%-м растворе NaCl. Водонепроницаемость определялась по стандартной методике до появления «мокрого пятна» на образ-

цах. Стирание определялось в сантиметрах после 840 и 1120 оборотов в кругу ЛКИ-3, прочность на удар – на копре Пейджа. По данным, приведенным в табл. 3, видно, что гидрофобные добавки повышают морозостойкость (на 7–30 %), водонепроницаемость (в 2,5–3,0 раза), прочность при ударе (на 18–26 %) и уменьшают истирание (в 1,6–2,4 раза), что объясняется влиянием добавок на процессы структурообразования бетона.

Таблица 3

Влияние гидрофобных добавок на морозостойкость, водонепроницаемость, истирание и прочность при ударе цементного бетона

Наличие гидрофобной добавки	Морозостойкость (200 циклов)			Водонепроницаемость, МПа, после сут		Прочность при ударе, Дж/см ³	Стирание после оборотов (840/1120)
	R _{ст} , МПа	Среда оттаивания					
		H ₂ O	5%-й NaCl				
		R _{ст} /K _M , МПа	R _{ст} /K _M , МПа				
Без добавок	59,5	56,5/0,95	50,0/0,84	0,4	0,8	2,5	0,26/0,32
ГКЖ-94	61,2	61,0/1,00	56,9/0,93	1,0	1,4	2,95	0,16/0,19
АДЭ-3	66,8	66,5/1,00	64,8/0,97	1,2	1,4	3,15	0,11/0,17

Таким образом, установлено, что добавка гидрофобизаторов способствует получению цементобетонного покрытия дорог с повышенными физико-механическими свойствами и значительной долговечностью. Приведенные данные позволяют прогнозировать повышенную трещиностойкость цементобетонного покрытия.

Трещиностойкость определялась с помощью известного метода на приборе «кольцо Лермита». Суть метода заключается в том, что цементный камень (раствор, бетон) в середине кольца в процессе твердения обжимает стальной стержень, который не деформируется, а потому в образце возникают трещины.

Формируют образец – кольцо с внутренним диаметром 90 мм и внешним 127 мм при высоте 40 мм. Бетонная смесь в кольце затвердевает в условиях 100%-й влажности среды в течение 20 ± 2 ч. Далее с бетонного кольца убирают внешнюю часть формы и его вместе с сердцевинной помещают в воздушную среду с относительной влажностью 50 ± 5 %. Испарение влаги из кольца сопровождается усадочными деформациями, вызывающими образование трещин на поверхности кольца. Чем больше времени проходит с момента размещения кольца в сухой среде до образования трещин, тем более высокая трещино-

стойкость бетона. Этот метод позволяет оценить влияние добавок на следующие свойства: усадку, ползучесть, растяжимость, модуль упругости и прочность цементного камня. Параллельно с этим методом трещиностойкость оценивалась на образцах-призмах $4 \times 4 \times 16$ см, изготовленных из цементного раствора с металлическим стержнем.

Одновременно с появлением первой трещины определялись модуль упругости, прочность на растяжение. Исследовалось влияние гидрофобных добавок на цементный камень нормальной плотности (раствор 1:3 с В/Ц = 0,4). Время, когда появились первые трещины, определялось визуально. Установлено, что на образцах цементного камня без добавок уже через 2,5 ч появилась первая прямолинейная трещина с раскрытием 0,5–0,8 мм. В образцах с гидрофобными добавками трещины появились после 13–16 ч, при этом они разветвлялись, превращаясь в систему мелких трещин с раскрытием 0,1–0,3 мм. В цементном растворе появление трещины зафиксировано через 28 ч в образцах без добавок и через 100–150 ч в образцах с гидрофобными добавками. Уменьшение трещинообразования достигается за счет снижения деформации усадки; уменьшение концентрации внутренних напряжений тормозит рост трещин, их количество и степень раскрытия.

В работах А.В. Саталкина [9], В.В. Стольникова [10] и др. установлена возможность влиять на растяжимость вяжущих веществ и бетонов при использовании добавок полимеров (С-89, латексы), кремнийорганических соединений и др. в количестве 0,1–2,0 % от веса вяжущего при увеличении растяжимости цемента в 1,3–1,7 раза.

Областью условной упругой работы бетона является время от начала нагрузки до напряжений, при которых образуются первые микротрещины по поверхности сцепления цементного камня с заполнителем. При этом предел упругой работы соответствует наибольшему сокращению времени прохождения ультразвука. При дальнейшем повышении нагрузки микротрещины образуются в цементном камне с появлением пластических деформаций.

Расчеты показали, что применение гидрофобных добавок повышает трещиностойкость цементобетонного покрытия дорог и аэродромов. Результаты расчетов приведены в табл. 4.

Верхняя граница области развития пластических деформаций соответствует повышению коэффициента поперечной деформации, т.е. максимальному значению, теоретически возможному для сплошного тела. Кривая нарастания скорости прохождения ультразвукового им-

пульса проходит через экстремум и приближается к исходному значению, характерному для ненагруженного бетона и принятому за условный ноль.

Таблица 4

Трещиностойкость цементобетона с гидрофобными добавками

Авторы критерия трещиностойкости	Формула расчета	Наличие гидрофобных добавок			Повышение трещиностойкости, кол-во раз
		Без добавок	ГКЖ-94	АДЭ-3	
О.Я. Берг	R_t^o	11,91	16,68	13,64	1,15–1,40
	R_t^v	16,80	20,32	21,67	1,21–1,30
А.В. Саталкин	$K_1 = \frac{R_s}{E_s}$	0,98	1,23	1,41	1,26–1,44
Л.П. Орендлихер, И.П. Новикова	$K_1 = \frac{\varepsilon}{\varepsilon}$	0,75	0,9	0,98	1,2–1,31
Г.М. Лермит	Время появления новых трещин	2 (ц.к.)	10	11	5,0–5,5
		27,5 (ц.р.)	82	110	3,0–4,0

Повышение верхнего предела трещинообразования (R_t^v) позволяет прогнозировать более высокую выносливость и долговечность цементного бетона дорожного покрытия под действием многократного приложения нагрузок. Расчетная трещиностойкость цементобетона покрытия дорог определялась по критериям, предложенным различными авторами. Основной причиной трещинообразования является возникновение в бетоне деформации растяжения, которая превышает предел растяжимости бетона и зависит от прочности и модуля упругости бетона при растяжении.

Таким образом, путем проведенных опытов установлены высокая эффективность применения гидрофобизаторов в технологии дорожного строительства, рост физико-механических свойств, долговечности и трещиностойкости цементобетонного покрытия дорог.

Список литературы

1. Батраков В.Г. Модифицированные бетоны. – М.: Стройиздат, 1990. – 400 с.
2. Хигерович М.И., Байер В.В. Гидрофобно-пластифицирующие добавки для цементов, растворов и бетонов. – М.: Стройиздат, 1979. – 126 с.

3. Карибаев К.К. Поверхностно-активные вещества в производстве вяжущих материалов. – Алма-Ата: Наука, 1980. – 336 с.
4. Пашенко А.А., Свидерский В.А. Кремнийорганические покрытия для защиты от биокоррозии. – Киев: Техника, 1988. – 136 с.
5. Защепин А.Н., Янбых Н.Н. Рекомендации по применению кремнийорганических добавок при строительстве цементобетонных покрытий дорог и аэродромов / СоюздорНИИ. – Балашиха-6, 1970. – 20 с.
6. Дорошенко Ю.М., Дорошенко А.Ю. Кремнийорганические добавки – эффективные модификаторы цементного бетона покрытия дорог // Бетон и железобетон. – 2013. – № 1 (8). – С. 56–60.
7. Бетонная смесь: пат. на полезную модель № 111140 / Дорошенко А.Ю., Возный С.П., Борковский П.П., Дорошенко Ю.М. – Оpubл. 10.11.2016. Бюл. № 21.
8. Берг О.Я. Исследования процесса трещинообразования в железобетонных элементах с арматурой периодического профиля // Сообщение ВНИИ железнодорожного строительства и проектирования. – М.: Трансжелдориздат, 1954. – № 44. – С. 11–15.
9. Саталкин А.В., Солнцева В.А., Попова А.С. Цементно-полимерные бетоны. – Л.: Стройиздат, 1971. – 168 с.
10. Стольников В.В. Воздухововлекающие добавки в гидротехническом бетоне. – М.: Стройиздат, 1953. – 163 с.

References

1. Batrakov V.G. Modifitsirovannyye betony [Modified concrete]. Moscow: Stroiizdat, 1990. 400 p.
2. Khigerovich M.I., Baier V.V. Gidrofobno-plastifitsiruiushchie dobavki dlia tsementov, rastvorov i betonov [Hydrophobic-plasticizing additives for cements, mortars and concretes]. Moscow: Stroiizdat, 1979. 126 p.
3. Karibaev K.K. Poverkhnostno-aktivnyye veshchestva v proizvodstve viazhushchikh materialov [Surface-active substances in the production of binders]. Alma-Ata: Nauka, 1980. 336 p.
4. Pashchenko A.A., Sviderskii V.A. Kremniorganicheskie pokrytiia dlia zashchity ot biokorrozii [Silicone coating for protection against biocorrosion]. Kiev: Tekhnika, 1988. 136 p.
5. Zashchepin A.N., Ianbykh N.N. Rekomendatsii po primeneniiu kremniorganicheskikh dobavok pri stroitel'stve tsementobetonnykh pokrytii dorog i aerodromov [Recommendations on the use of organosilicon addi-

tives in the construction of cement concrete coatings of roads and airfields]. SoiuzdorNII, Balashikha-6, Moskovskaia obl., 1970. 20 p.

6. Doroshenko Iu.M., Doroshenko A.Iu. Kremniorganicheskie dobavki – effektivnye modifikatory tsementnogo betona pokrytiia dorog [Silicone additives - effective modifiers of cement concrete covering roads]. *Beton i zhelezobeton*, 2013, no. 1 (8), pp. 56-60.

7. Doroshenko A.Iu., Voznyi S.P., Borkovskii P.P., Doroshenko Iu.M. Betonnaia smes' [Concrete mixture]. *Patent na poleznuiu model'* № 111140 Ukraine.

8. Berg O.Ia. Issledovaniia protsessa treshchinoobrazovaniia v zhelezobetonnykh elementakh s armaturoi periodicheskogo profil'ia [Investigations of the process of crack formation in reinforced concrete elements with reinforcement of periodic profile]. Soobshchenie VNII zheleznodorozhnogo stroitel'stva i proektirovaniia. Moscow: Transzheldorizdat, 1954, no. 44, pp. 11-15.

9. Satalkin A.V., Solntseva V.A., Popova A.S. Tsementno-polimernye betony [Cement-polymer concretes]. Leningrad: Stroiizdat, 1971. 168 p.

10. Stol'nikov V.V. Vozdukhovovlekaishchie dobavki v gidrotekhnicheskom betone [Air-entraining additives in hydraulic concrete]. Moscow: Stroiizdat, 1953. 163 p.

Получено 10.05.2017

Об авторе

Возный Сергей Петрович (Киев, Украина) – аспирант кафедры «Дорожно-строительные материалы и химия», Национальный транспортный университет (22232, г. Киев, б/р В. Высоцкого, 6Б, e-mail: vozny@i.ua).

About the author

Sergei P. Voznyi (Kiev, Ukraine) – Postgraduate Student, Department of Road-Building Materials and Chemistry, National Transport University (6 B, b/r V. Vysotsky, Kiev, 22232, Ukraine, e-mail: vozny@i.ua).