

УДК 666.972.162

Возний С.П.

## АНАЛІЗ ВПЛИВУ ГІДРОФОБНИХ ДОБАВОК НА МІЦНІСТЬ ДОРОЖНЬОГО ЦЕМЕНТОБЕТОНУ

**Анотація.** В статті розглядаються властивості цементобетонного покриття з ефективними гідрофобними добавками. Встановлено, що добавка АДЕ-3 підвищує морозостійкість на 20 %; водонепроникність – в 3 рази, міцність на удар – на 30 %, стиранильність – на 58 %. Також підвищується тріщиностійкість ( $R_m^0$  на 20-30 %;  $R_m^v$  12-40 %). Підвищення верхньої межі тріщино утворення дозволяє прогнозувати високу витривалість і довговічність цементного бетону дорожнього покриття під дією багаторазово прикладених навантажень різної величини.

**Ключові слова:** цементобетонне покриття, модифікатори, властивості.

УДК 666.972.162

Возный С.П.

## АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ГИДРОФОБНЫХ ДОБАВОК НА ПРОЧНОСТЬ ДОРОЖНОГО ЦЕМЕНТОБЕТОНА

**Аннотация.** 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 %;  $R_m^v$  12-40 %). Повышение верхнего предела трещинообразования позволяет прогнозировать высокую выносливость и долговечность цементного бетона дорожнего покрытия под действием многократно прикладываемых нагрузок различной величины.

**Ключевые слова:** цементобетонное покрытие, модификаторы, свойства.

UDC 666.972.162

Voznyi S. P.

## ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF HYDROPHOBIC ADDITIVES ON THE STRENGTH OF CEMENT CONCRETE ROAD

**Abstract.** The article deals with the properties of concrete pavement with effective hydrophobic additives. Found that the addition АДЕ-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 prykladuvanyh loads of different magnitude.

**Keywords:** concrete pavement, modifiers, properties.

На морозостійкість, корозійну стійкість і довговічність цементного бетону дорожнього покриття великий вплив здійснює характер загальної пористості бетону, величина окремих пор, їх форма і взаємний зв'язок. Зміні повітряної пористості сприяють ряд хімічних добавок, здатних впливати на процеси структуроутворення цементного каменю, відділяти пори одна від одної, змінювати діаметр, величину і форму пор, а на їх стінках утворювати плівки, які не змочуються, і тому не піддаються розчиненню і руйнуванню водою.

Добавки повинні задовольняти певні вимоги:

- хімічні добавки, котрі підвищують водостійкість, морозостійкість і корозійну стійкість, повинні бути достатньо ефективними для того, щоб при достатньо малих дозах вони знижували капілярний підсос, водопоглинання і підвищували водонепроникність бетонів дорожніх покриттів;
- дія добавок повинна бути довговічною;
- добавки в оптимальній кількості і концентрації не повинні негативно впливати на інші властивості цементобетонного покриття доріг;
- добавки повинні бути нетоксичними, доступними і економічно доцільними, а їх використання

в дорожньому будівництві повинно бути простим, технологічним і обґрунтованим.

В залежності від властивостей і впливу добавок, котрі підвищують водо- і морозостійкість, ко-розійну стійкість цементобетонних покриттів, їх можна розділити наступним чином:

- тонкомелені, з гідравлічними властивостями і властивостями колоїдних систем;
- добавки, котрі підвищують гідрофобність бетонів дорожніх покриттів;
- полімерні добавки, котрі полімеризуються в бетоні;
- солі неорганічних кислот, котрі прискорюють процеси гідратації і структуроутворення цементного каменю дорожніх бетонів.

Для підвищення морозостійкості, витривалості, корозійної стійкості цементобетону покриття доріг і аеродромів за кордоном, в країнах СНД і на Україні широко застосовують поверхнево-активні добавки (СНВ, ССБ, СДБ, КБМ та ін.). Перераховані добавки мають деякий повітрявтягуючий ефект і є достатньо ефективними при втягуванні в дорожній бетон додаткової кількості повітря (3-5%).

Однак кожен процент втягнутого в бетон повітря знижує міцність бетону при стиску на 4-6 % і на розтяг при згині – на 2-4 %, що приводить до зниження несучої здатності покриття доріг.

Існує необхідність пошуку і досліджень таких добавок для бетонного покриття доріг, котрі не знижують його фізико-механічні властивості; підвищують стійкість проти агресивного впливу розчинів хлористих солей, а також морозу, висихання і зволоження. Дослідження, котрі виконані в останні роки науководослідними інститутами, показують, що гідрофобні добавки достатньо ефективні, дозволяють суттєво підвищити водостійкість і водонепроникність, морозостійкість і корозійну стійкість бетону при багаторазовому заморожуванні і відтаванні в агресивних розчинах без пониження фізико-механічних властивостей.

До таких добавок в сучасному дорожньому будівництві можна віднести органополісілоксани, поліетілгідросілоксани, гексагідроксидісілоксани, метилгідрогенполісілоксани, діалкілполісілоксани, поліалкоксілоксани, поліалкілсілоксани, вінілалкоксисілани, метілвінілтріетоксисілани, тетраоксіетілендіаміни, етілсілікати [1 – 4, 7].

В роботах Дорошенко Ю.М. [5] були порівняні добавки ГКЖ-94 та ГКЄ-50-94М, кращі показники були в другій добавці, але найбільш широке застосування в дорожньому будівництві знайшли добавки полігідросілоксанового типу (ГКЖ-94 і його модифікація),

Кількість коливається в дуже широких межах: від 0,01 – 1 % до 1 – 5 %, що вимагає уточнення їх оптимальної кількості. Пояснення механізму дії гідрофобних добавок на процеси гідратації і структуроутворення цементного каменю також відрізняються. До загальних недоліків гідрофобізаторів відносять їх порівняно високу вартість, дефіцитність для будівельної індустрії України.

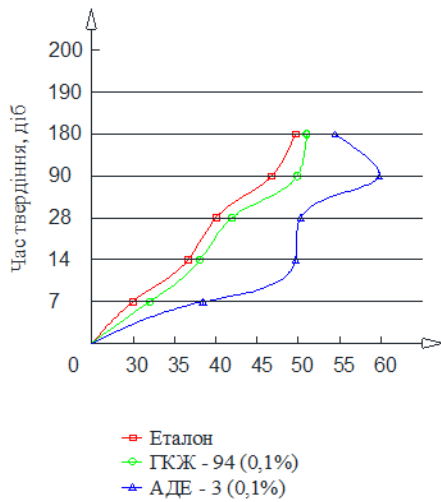
У дослідженнях використовували два види кремнійорганічних з'єднань, різних за природою дії.

1. Поліетілгідросілоксан ГКЖ-94 (газоутворююча) / ДСТ 10834 -64 /.
2. Алкілсілконат натрію АДЕ-3 (диетиламинометилтриетоксисилан) (газоутворююча і повітровтягуюча).

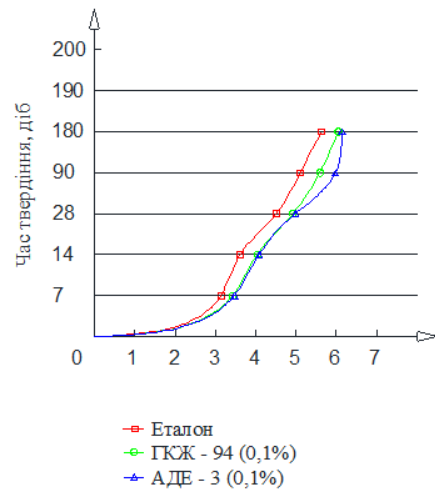
Перша добавка широко відома, тоді як друга – АДЕ-3 лише недавно була використана для модифікації в'язучих, а як модифікатор цементобетону дорожніх покриттів досліджена вперше [6].

АДЕ-3 представляє прозору маслянисту рідину від безбарвного до жовтуватого кольору, є побічним продуктом виробництва компонентів деяких полімерних смол на Запорізькому заводі "Кремнійполімер" і в Росії.

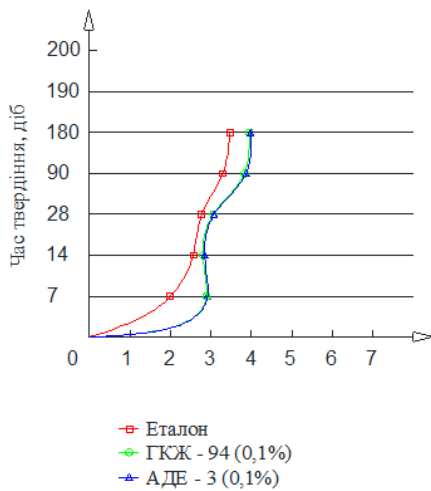
З наведених у графіках результатів бачимо, що міцність при стиску ( $R_{cm}$ ) і осьовому розтягу ( $R_p$ ) підвищується після 28 діб нормального твердіння на 11 % ... 15 %, а модуль пружності і усадка зменшується на 3 % ... 10 %, що дозволить прогнозувати підвищену тріщиностійкість цементно-бетонного покриття. Поряд з основними показниками визначались співвідношення цих характеристик, які дозволяють зробити висновки щодо якості структури бетону. Такими показниками є: співвідношення  $R_{cm} / R_{o.p.}$  (Чим більше значення даного співвідношення, тим нижче однорідність і якість бетону); коефіцієнт призматичної міцності КПМ ( $K_{ПМ} = R_{np} / R_{cm.куб}$ ); показники умовної розтяжності  $R_{p.32} / E_{0,5}$   $R_{np}$  і  $R_{p.32} / R_{cm.куб}$ . Зразки випробовувалися через 28 діб нормального твердіння і визначався вплив гідрофобних добавок на міцність і деформативні властивості цементного бетону (рисунок 1 – 8).



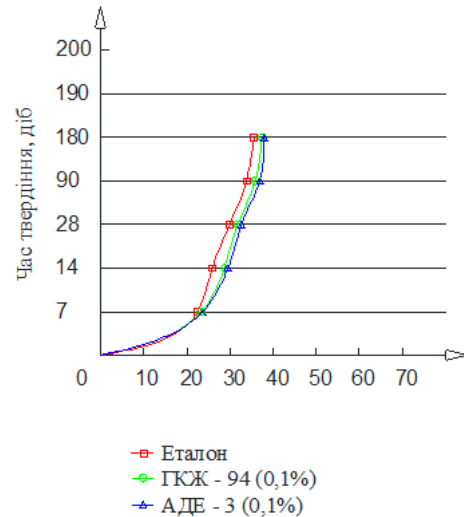
**Рисунок 1** – Вплив гідрофобних добавок на міцність на стиск цементного бетону  $R_{cm}$  (МПа)



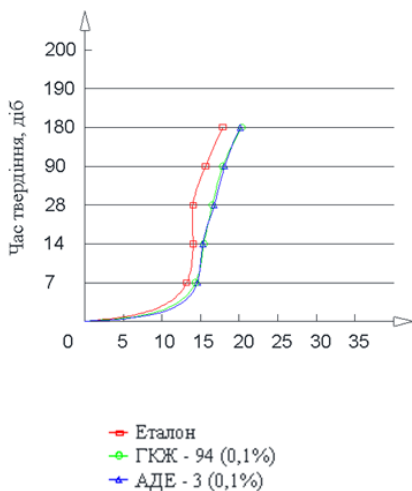
**Рисунок 2** - Вплив гідрофобних добавок на міцність на розтяг при згині цементного бетону  $R_{32}$  (МПа)



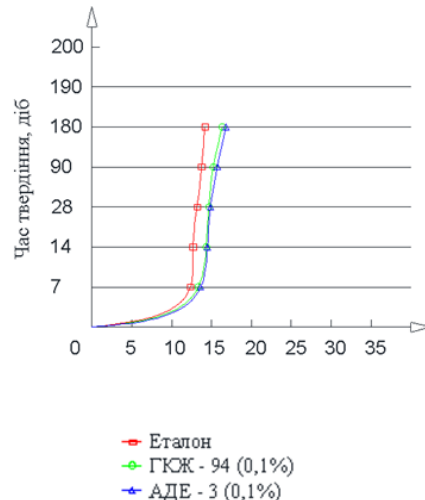
**Рисунок 3** – Вплив гідрофобних добавок на міцність на осевий розтяг при згині цементного бетону  $R_{o.p.}$  (МПа)



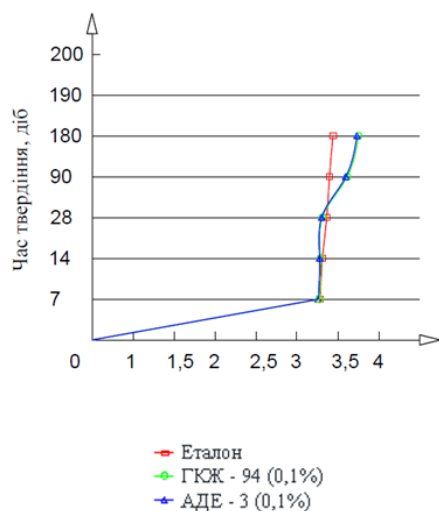
**Рисунок 4** – Вплив гідрофобних добавок на міцність на стиск призм цементного бетону  $R_{np}$  (МПа)



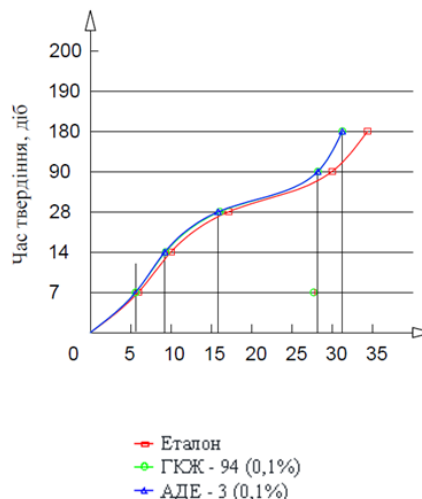
**Рисунок 5** – Вплив гідрофобних добавок на міцність на деформації при стиску цементного бетону  $\mathcal{E}_{cm} \cdot 10^{-4}$  (МПа)



**Рисунок 6** – Вплив гідрофобних добавок на міцність на деформації при стиску цементного бетону  $\mathcal{E}_{cm} \cdot 10^{-4}$  (МПа)



**Рисунок 7** – Вплив гідрофобних добавок на міцність на модуль пружності цементного бетону  $E \cdot 10^{-4}$  (МПа)



**Рисунок 8** – Вплив гідрофобних добавок на міцність деформації усадки цементного бетону  $\epsilon_y \cdot 10^{-4}$  (МПа)

**Таблиця 1** – Показники якості цементного бетону з гідрофобними добавками

Назва показників	Еталон	ГКЖ – 94	АДЕ – 3
$R_{ст} / R_{0,p}$	14,23/100	13,90/98	13,47/95
$R_{пр} / R_{ст.куб}$	0,450/100	0,762/102	0,771/103
$R_{p,зг} / R_{ст.куб}$	0,114/100	0,117/103	0,118/104
$R_{p,зг} / E_{0,5} R_{пр}$	1,326/100	1,458/109	1,491/112

Гідрофобні добавки дозволяють частково перерозподілити концентрацію напружень не тільки в процесі структуроутворення бетону, але і під час його навантаження, що добре підтверджується даними міцності цементного бетону на стиск і осьовий розтяг при згині, що дозволяє прогнозувати підвищене зчеплення розчину з заповнювачем, арматурою і старим бетоном.

У зв'язку з тим, що цементобетонні покриття доріг твердіють у природних умовах, були проведені дослідження механічних властивостей цементного розчину, який твердів в умовах відносної вологості 65 ... 70 % і  $t = 20$  °С. Фіксувалася усадка призм, час утворення тріщин кільцевим методом, випробовувалися зразки-вісімки на осьовий розтяг.

З результатів досліджень видно, що без добавок тріщиноутворення почалося через 5 годин, з добавками 0,1 % ГКЖ-94 – через 30 годин, з добавкою 0,1 % АДЕ-3 – через 82 години. Дані по випробуванню деформативності бетону при осьовому розтягу показують, що підвищення однорідності бетону і зниження дефектності кристалоутворення і контактів їх зрощування за рахунок застосування гідрофобних добавок веде до значного підвищення деформативності при осьовому розтязі на 20 % при незначному підвищенні міцності на стиск.

Завдяки зміні характеру структури і розподілу пор вдалося підвищити щільність і однорідність, розтяжність і міцність на осьовий розтяг, зменшити усадку, яка обумовлює підвищення тріщиностійкості та довговічності цементобетону покриття доріг гідрофобними добавками. Межі внутрішнього мікротріщиноутворення в бетоні без добавок і з гідрофобними добавками в процесі навантаження зразків визначалися за методикою О.Я. Берга (показники меж мікроруйнування і меж мікротріщиноутворення).

Одним із шляхів визначення цих показників є метод ультразвукових вимірювань. Розвиток мікроруйнувань в структурі бетону приводить до зниження швидкості ультразвукових коливань, які розширюються поперек лінії дії стискаючого напруження. Таким чином, навантаження  $R^o_t$  відповідає початку зменшення швидкості ультразвуку, і візуально фіксуються появою мікротріщин на поверхні зразка.

Дані дослідження морозостійкості, водонепроникності, стирання і міцності при ударі наведені в табл.2.

**Таблиця 2** – Вплив гідрофобних добавок на морозостійкість, водонепроникливість, стирання і міцність при ударі цементного бетону

Наявність гідрофобної добавки	Морозостійкість (200 циклів)			Водонепроникність, МПа після діб		Міцність при ударі Дж/см <sup>3</sup>	Стирання після обертів
	$R_{cm}$ , МПа	Середовище відтавання					
		H <sub>2</sub> O	5% NaCl	28	90		
Без добавок	59,5	$R_{cm}/K_M$ МПа	$R_{cm}/K_M$ МПа	0,4	0,8	2,5	840/1120
ГКЖ -94	61,2	56.5/0.95	50.0/0.84	1,0	1,4	2,95	0,16/0,19
АДЕ - 3	66,8	64.3/1.00	60.0/0.93	1,2	1,4	3,15	0,11/0,17

Морозостійкість досліджувалась при заморожуванні при  $t = -20 \pm 5$  °С і відтаванні у 5 % розчині NaCl. Водонепроникність визначалася за стандартною методикою до появи "микрої плями" на зразках. Стирання визначалося в сантиметрах після 840 і 1120 обертів на колі ЛКІ-3, міцність на удар – на копрі Пейджа. За даними, наведеними в табл.2, видно, що гідрофобні добавки підвищують морозостійкість (на 7 ... 10 %, водонепроникність (в 2,5 ... 3,0 разів), міцність при ударі (на 26 ... 30 %) і зменшують стирання (на 50 ... 58 %, що обумовлюється впливом добавок на процеси структуроутворення бетону.

Таким чином, встановлено, що добавка гідрофобізаторів сприяє отриманню цементобетонного покриття доріг з підвищеними фізико-

механічними властивостями і значною довговічністю. Наведені дані дозволяють прогнозувати підвищену тріщиностійкість цементобетонного покриття.

Тріщиностійкість визначалася за допомогою відомого методу на приладі "кільце Лерміта". Суть методу в тому, що цементний камінь (розчин, бетон) в середині кільця в процесі твердіння обжимає сталевий стержень, який не деформується, а тому у зразку виникають тріщини.

Формують зразок – кільце з внутрішнім діаметром 90 мм і зовнішнім – 127 мм при висоті – 40 мм. Бетонна суміш в кільці твердне в умовах 100 % – ої вологості середовища на протязі  $20 \pm 2$  години. Далі з бетонного кільця прибирають зовнішню частину форми і його спільно з серцевиною поміщають в повітряне середовище з відносною вологістю  $50 \pm 5\%$ . Випаровування вологи з кільця супроводжується усадковими деформаціями, що викликають утворення тріщин на поверхні кільця. Чим більше час проходить з моменту розміщення кільця в сухому середовищі до утворення тріщин, тим більш висока тріщиностійкість бетону. Цей метод дозволяє оцінити вплив добавок на такі властивості: усадка, повзучість, розтяжність, модуль пружності і міцність цементного каменю. Паралельно з цим методом тріщиностійкість оцінювалася на зразках-призмах 4x4x16 см виготовлених з цементного розчину з металевим стержнем.

Одночасно з появою першої тріщини визначався модуль пружності, міцність на розтяг. Досліджувався вплив гідрофобних добавок на цементний камінь нормальної густини (розчин 1:3 з В/Ц = 0,4). Час, коли з'явилися перші тріщини, визначалося візуально. Встановлено – що на зразках цементного каменю без добавок вже через 2,5 години з'явилася перша прямолінійна тріщина з розкриттям 0,5-0,8 мм. У зразках з гідрофобними добавками тріщини з'явилися після 13 – 16 годин, при цьому вони розгалужуються, перетворюючись на систему дрібних тріщин з розкриттям 0,1 -0,3 мм. У цементному розчині появу тріщини зафіксовано після 28 годин у зразках без добавок і через 100-150 годин в зразках з гідрофобними добавками. Зменшення тріщиноутворення досягається за рахунок зниження деформації усадки; зменшення концентрації внутрішніх напружень, гальмує зростання тріщин, їх кількість та ступінь розкриття.



У роботах А.В.Саталкіна [8], В.В.Стольнікова [9] та ін.. встановлена можливість впливати на розтяжність в'язучих речовин і бетонів при використанні добавок полімерів (С-89, латекси), кремнійорганічних з'єднань і ін.. в кількості 0,1 ... 2,0 % від ваги в'язучого при збільшенні розтяжності цементу в 1,3 ... 1,7 рази.

Перетин ординати Q/R кривої швидкості ультразвуку є навантаженням  $R_t^v$ .

Областю умовної пружної роботи бетону є час від початку навантаження до напруг, при яких утворюються перші мікротріщини по поверхні зчеплення цементного каменю з заповнювачем. При цьому межа пружної роботи відповідає найбільшому скороченню часу проходження ультразвуку. При подальшому підвищенні навантаження мікротріщини утворюються в цементному камені з появою пластичних деформацій.

Розрахунки показали, що застосування гідрофобних добавок підвищує тріщиностійкість цементобетонного покриття доріг і аеродромів. Результати розрахунків наведені в табл.3.

**Таблиця 3** – Тріщиностійкість цементобетону з гідрофобними добавками

Автори критерія тріщиностійкості	Формула розрахунку	Наявність гідрофобних добавок			Підвищення тріщиностійкості, разів
		Без	ГКЖ - 94	АДЕ - 3	
Берг О.Я.	$R_t^o$	9,0	16,68	13,64	1,13-1,40
	$R_t^v$	16,80	20,32	21,67	1,21-1,30
Саталкін А.В.	$K_I = \frac{R\varepsilon}{E\varepsilon}$	0,98	0,35	1,41	1,26-1,44
Орентліхер Л.П. Новікова І.П.	$K_I = \frac{\varepsilon}{\varepsilon}$	0,75	0,9	0,98	1,8-1,24
Лерміт Г.М.	Час утворення нових тріщин	2(ц.к.)	10	11	5,0-5,5
		38(ц.р.)	82	110	3,0-4,0

Верхня межа області розвитку пластичних деформацій відповідає підвищенню коефіцієнта поперечної деформації, тобто максимального значення теоретично можливого для суцільного тіла. Крива наростання швидкості проходження ультразвукового імпульсу проходить через екстремум і наближається до початкового значення, характерному для ненавантаженого бетону і прийнятому за умовний нуль.

Підвищення верхньої межі тріщиноутворення ( $R_{vt}$ ) дозволяє прогнозувати більш високу витривалість і довговічність цементного бетону дорожнього покриття під дією багаторазового прикладання навантажень. Розрахункова

тріщиностійкість цементобетону покриття доріг визначалася за критеріями, запропонованими різними авторами. Основною причиною тріщиноутворення є виникнення в бетоні деформації розтягування, яка перевищує межу розтяжності бетону, і залежить від міцності і модуля пружності бетону при розтягуванні.

Таким чином, проведеними дослідженнями встановлена висока ефективність застосування гідрофобізаторів в технології дорожнього будівництва, зростання фізико-механічних властивостей, довговічності і тріщиностійкості цементобетонного покриття доріг.

### **Література**

1. Батраков В.Г. Модифицированные бетоны. – Москва: Стройиздат. – 1990.-400 с.
2. Хигерович М.И., Байер В.В. Гидрофобно-пластифицирующие добавки для цементов, растворов и бетонов. – Москва: 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., Свицерский В.А. Кремнийорганические покрытия для защиты от био-коррозии. – Киев: Техника. – 1988. – 136 с.
5. Дорошенко О.Ю. Покращення властивостей цементобетонного покриття доріг гідрофобними добавками- Вісник - К.: НТУ. - 2009.
6. Дорошенко О.Ю., Гасан Ю.Г., Старинська Н.Н. Патент на винахід України № 10207 А. – Гіпсове в'язуче. -Бюл. № 6 від 25.12.97.
7. Зацепин А.Н., Янбых Н.Н. Рекомендации по применению кремнийорганических добавок при строительстве цементобетонных покрытий дорог и аэродромов. – Союздорнии. Балашиха – 6. – Московская обл. – 1970. – 20 с.
8. Саталкин А.В. Цементно-полимерные бетоны / А.В.Саталкин, В.А. Солнцева, О.С. Попова .- Л.: Стройиздат, 1971. - 168 с.
9. Стольников В.В. Воздухововлекающие добавки в гидротехническом бетоне.- Москва: Стройиздат, 1953. - 163 с.

### **Рецензенти:**

Павлюк Д.О., д-р техн. наук, Національний транспортний університет.

Кіяшко І.В., канд. техн. наук, Харківський національний автомобільно-дорожній університет.

### **Reviewers:**

Pavliuk D.O., Dr. Tech. Sci., National Transport University.

Kiiashko I.V., Cand. Eng. Sci. (Ph.D.), Kharkiv National Automobile and Highway University.

Стаття надійшла до редакції: **24.11.2016 р.**