

# ДОРОЖНЬО-БУДІВЕЛЬНІ МАТЕРІАЛИ

УДК 666.972.16

Гамеляк І.П., д-р техн. наук, Шургая А.Г., Якименко Я.М., канд. техн. наук,  
Чиженко Н.П., Карпюк О.А.

## ПОРІВНЯННЯ СУЧАСНИХ ДОБАВОК ДЛЯ ВИСОКОМІЦНОГО ДОРОЖНЬОГО БЕТОНУ

**Анотація.** Стаття присвячена питанню отримання високоміцного дорожнього бетону за рахунок застосування комплексних добавок, які направлено впливають на його структуру і властивості. Наведено результати дослідження впливу комплексних добавок вітчизняного і зарубіжного виробництва на міцнісні і деформативні властивості високоміцного дорожнього бетону.

Об'єкт дослідження – високоміцний дорожній бетон.

Мета роботи – дослідити і провести порівняння комплексних добавок зарубіжного і вітчизняного виробництва на міцнісні і деформативні властивості дорожнього високоміцного бетону.

Метод дослідження: статистичний аналіз наукових видань, технічної та нормативної літератури.

Отримання дорожніх бетонів класів В40 і вище забезпечується при використанні вітчизняних матеріалів, за рахунок зниження водоцементного відношення до величини 0,28 – 0,35 і використанні комплексних хімічних добавок. Для вдосконалення конструкції цементобетонних покриттів пріоритетним є зниження товщини покриття за рахунок використання бетонів з більш високими показниками міцності – високоміцних дорожніх бетонів, при збереженні показників морозостійкості і одночасної економії цементу. Наведено результати експериментальних досліджень впливу комплексних добавок на границю міцності при стиску кубів, призм, модуль пружності, модуль деформації та границю міцності на розтяг при згині дорожнього бетону.

**Ключові слова:** високоміцний дорожній бетон, комплексні добавки, міцність, деформативність.

**Аннотація.** Стаття посвящена вопросу получению высокопрочного дорожного бетона за счет применения комплексных добавок, которые направленно воздействуют на его структуру и свойства. Приведены результаты исследования влияния комплексных добавок отечественного и зарубежного производства на прочностные и деформативные свойства высокопрочного дорожного бетона.

Объект исследования - высокопрочный дорожный бетон.

Цель работы - исследовать и провести сравнение комплексных добавок зарубежного и отечественного производства на прочностные и деформативные свойства дорожного высокопрочного бетона.

Метод исследования: статистический анализ научных изданий, технической и нормативной литературы.

Получение дорожных бетонов классов В40 и выше обеспечивается при использовании отечественных материалов, за счет снижения водоцементного отношения к величине 0,28 - 0,35 и использовании комплексных химических добавок для совершенствования конструкции цементобетонных покрытий приоритетным является снижение толщины покрытия за счет использования бетонов с более высокими показателями прочности - высокопрочных дорожных бетонов, при сохранении показателей морозостойкости и одновременной экономии цемента. Приведены результаты экспериментальных исследований влияния комплексных добавок на предел прочности при сжатии кубов, призм, модуль упругости, модуль деформации и предел прочности на растяжение при изгибе дорожного бетона.

**Ключевые слова:** высокопрочный дорожной бетон, комплексные добавки, прочность, деформативность.

**Annotation.** The article is devoted to obtaining high concrete road through the use of complex additives directed influence its structure and properties. The results of the

study of the effect of additives complex domestic and foreign production on strength and deformation properties of high-strength concrete road.

The object of study - high concrete road. Purpose - to investigate and to compare complex additives foreign and domestic production on strength and deformation properties of high-strength concrete road. Method: statistical analysis of scientific publications, technical and normative literature. Receive road concrete class B40 and above is provided using local materials by reducing the water-cement ratio to a value of 0.28 - 0.35 and complex use of chemical additives for improving the design of cement coatings priority is to reduce the thickness of the coating by the use of concrete with higher rates strength - high strength concrete road, while maintaining performance and simultaneous frost saving cement. The results of experimental studies of the effect of additives on integrated border compressive strength of cubes, prisms, modulus of elasticity, deformation modulus and tensile strength limit of flexural concrete road.

**Keywords:** high road concretes, complex additives, strength, deformability

### Постановка проблеми

В останні роки за кордоном почали частіше застосовувати високоміцні бетони (клас по міцності на стиск не нижче B50). При одній і тій же товщині плити застосування високоміцних бетонів дозволить суттєво підвищити строк служби цементобетонного покриття [1 – 3].

Одним із досягнень останніх років в технології дорожніх бетонів в Україні є використання бетонів класу B40 [2].

Високоміцний дорожній бетон – це бетон, міцність якого на розтяг при згині більше 5,5 МПа (клас по міцності на розтяг при згині більше ніж  $B_{btb}$  4,4) [1, 2].

Для отримання таких бетонів слід використовувати високоактивні за міцністю на розтяг при згині портландцементи. Мезо- і макроструктура повинні характеризуватися оптимальним коефіцієнтом розсунення зерен.

Проектування складу високоміцного дорожнього бетону виконується відповідно [3].

Значення В/Ц для високоміцних бетонів при активності цементу на розтяг при згині  $\geq 6,0$  МПа (М500) має бути  $\leq 0,33$ . А це в свою чергу призводить до того, що при звичайній водопотребі бетонна суміш високоміцного бетону відрізняється значно вищим вмістом цементу (більше  $400 \text{ кг/м}^3$ ). До того ж такий вміст цементу порушує закономірності постійності водопотреби бетонної суміші, водопотреба бетонної суміші з низьким В/Ц збільшується, збільшуючи відповідно вміст цементу. Тому, для одержання високоміцних дорожніх бетонів слід застосовувати ефективні комплекси суперпластифікаторів з повітрявтягуючими або газоутворюючими добавками з водоредукуючим ефектом більше 25 %, що дозволяє значно зменшити витрату цементу та В/Ц і призводить до зменшення капілярної пористості та підвищення морозостійкості і довговічності цементобетону.

Правильно поєднуючи типи і кількісні співвідношення добавок можна направлено регулювати структуру та фізико-механічні властивості цементного каменю і бетону.

**Мета роботи.** Провести порівняння комплексних добавок зарубіжного та вітчизняного виробництва на міцнісні і деформативні властивості дорожнього високоміцного бетону (В50 Р1 F200 W10).

**Об'єкт досліджень.** Склад цементобетону з комплексною добавкою. Під час проведення досліджень використовували наступні матеріали: портландцемент Кам'янець-Подільський – ПЦ I – 500 Р-Н (350 кг); пісок річковий –  $M_{кр} = 1,4$ , насипна щільність –  $1551 \text{ кг/м}^3$  (730 кг); щебінь гранітний фракції 5-10 мм – насипна щільність  $1430 \text{ кг/м}^3$ , середня щільність  $2583 \text{ кг/м}^3$ , пустотність – 44,5%, (360 кг); та фракції 10-20 мм – насипна щільність  $1380 \text{ кг/м}^3$ , середня щільність  $2571 \text{ кг/м}^3$ , пустотність – 46,3%, (840 кг).

### **Основна частина**

Отримання дорожніх бетонів класів В40 і вище забезпечується при застосуванні вітчизняних матеріалів, за рахунок зниження В/Ц до величини 0,28 – 0,35 і використанні комплексних хімічних добавок (повітрявтягуючих і пластифікуючих) [10]. На базі лабораторії «Мостозагону №112», ПП «АЛІОНІ» розроблено комплексну добавку для дорожнього бетону Д2. До складу комплексної добавки входять: суперпластифікатор, пластифікатор,

гідрофобізатор, піногасник і аерант. Застосування аеранта обумовлено тим, що обсяг залученого повітря в цементобетонній суміші для одношарових та верхнього шару двошарових покриттів повинен забезпечуватися на рівні 5-7%, для нижнього шару двошарових покриттів 3-5% [7]. Завдяки направленому підбору компонентів і їх співвідношенню комплексна добавка забезпечує рухомість бетонної суміші не менше 120 хв, а також суттєве зростання показників міцності, водонепроникливості та морозостійкості.

Проведено порівняння даної добавки із комплексною добавкою, яка складається із суперпластифікатора і аеранта зарубіжного виробництва Д1.

Підбір складу цементобетону виконували згідно з методикою наведеною в роботі [4].

Осідання конуса в обох випадках склало 4,5 см, вміст залученого повітря біля 4 %.

Виконувалися дослідження по впливу даних добавок на фізико-механічні показники цементобетону. Визначалися наступні показники: середня щільність, міцність на стиск, призмova міцність, модуль пружності, модуль деформації, міцність на розтяг при згині, водонепроникливість, морозостійкість.

Функція розподілу середньої щільності бетонних зразків найкраще описується законом Пірсона типу I такого виду (рис. 1) [9].

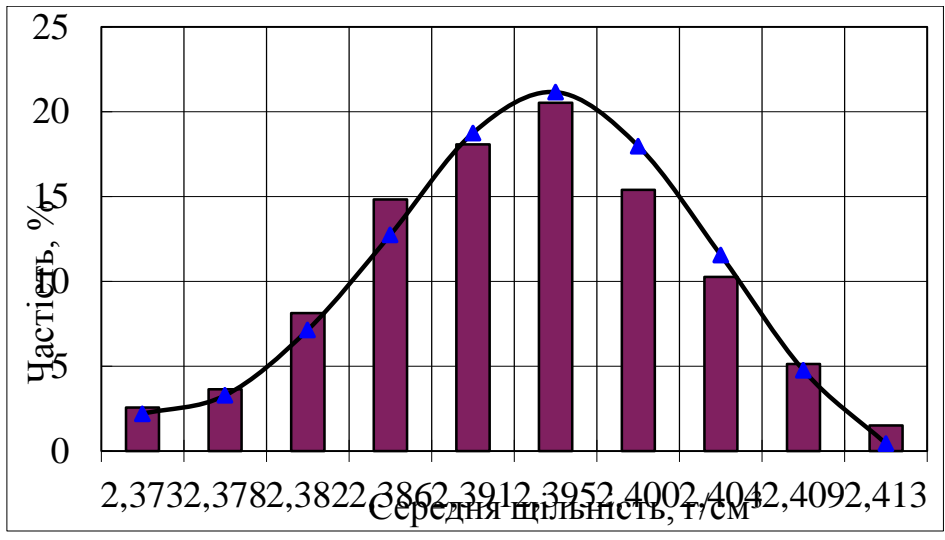
$$\tilde{n}_j = \tilde{n}_0 \left(1 + \frac{x}{l_1}\right)^{q_1} \left(1 + \frac{x}{l_2}\right)^{q_2}, \quad (1)$$

де  $q_1, q_2$  – показники форми;  $l_1, l_2$  – параметри масштабу;  $\tilde{n}_0$  – частота.

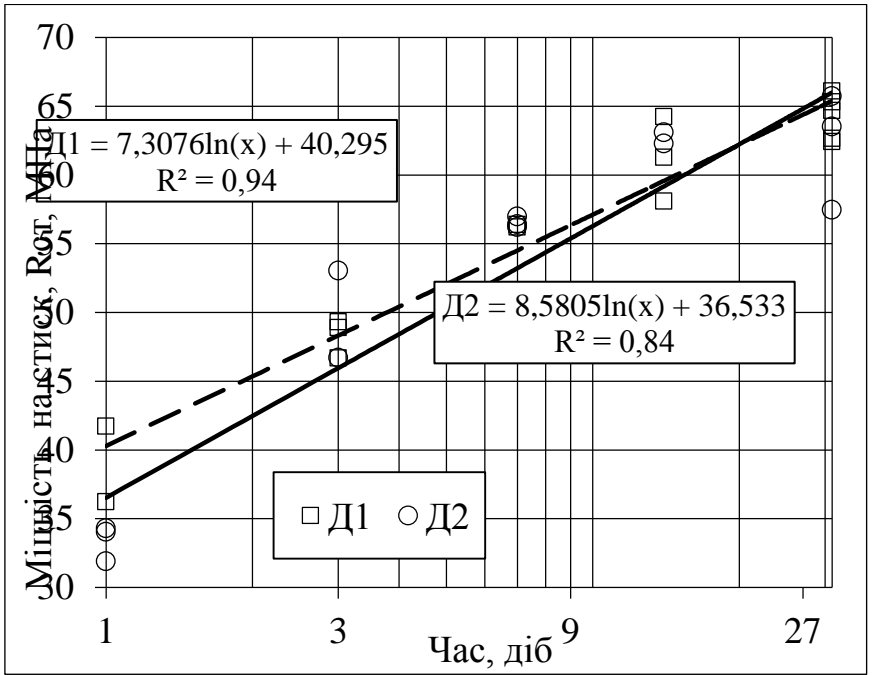
де  $q_1 = 14,57$ ;  $q_2 = 7,48$ ;  $l_1 = 13,28$ ;  $l_2 = 6,82$ .

Середнє значення щільності бетону на різних добавках практично співпадає 2,387 г/см<sup>3</sup> з добавкою Д1 та 2,393 г/см<sup>3</sup> з добавкою Д2.

Результати випробування цементобетонних зразків кубів 100x100x100 на стиск згідно з [5] наведено на рис. 2. Швидкість навантаження прийнята 0,6 МПа/с.



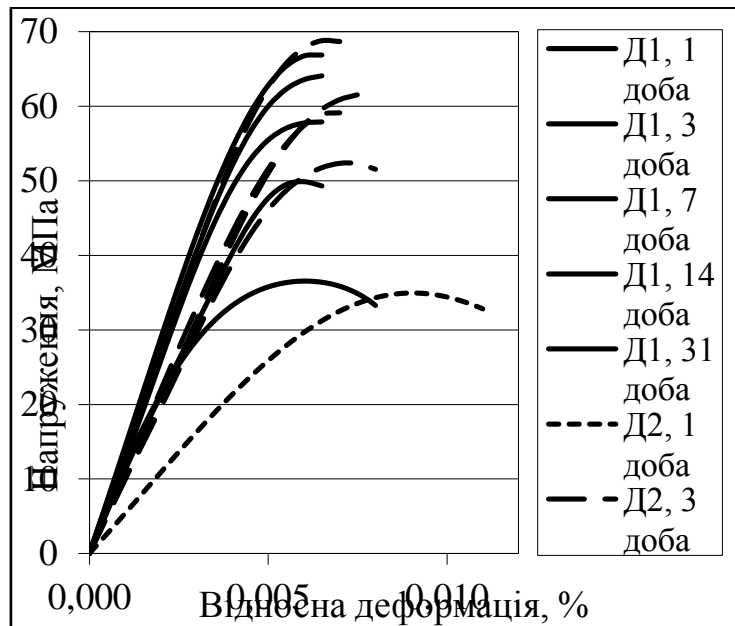
**Рисунок 1** – Розподіл середньої щільності за результатами гідростатичного зважування



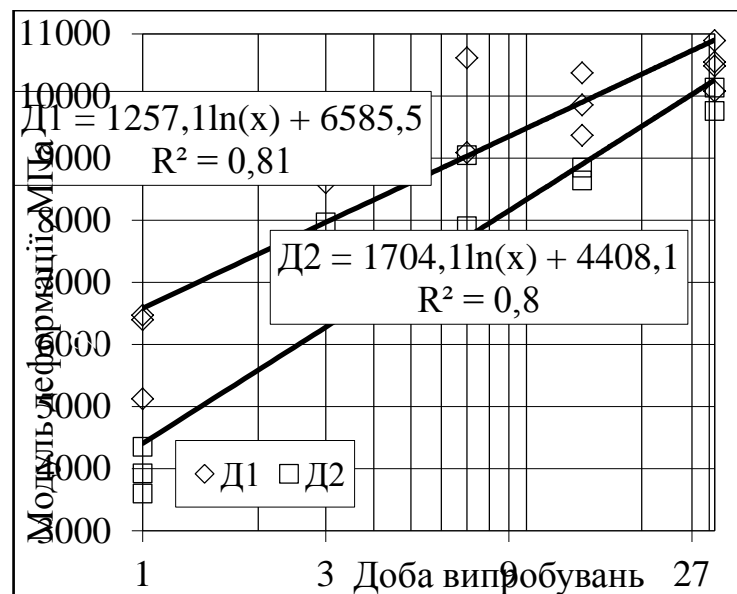
**Рисунок 2** – Порівняння результатів випробування на стиск з різними добавками

За результатами випробування на стиск міцність зразків з використанням добавки Д1 мають на 1 добу твердіння дещо більшу міцність, але на 3-28 добу практично однакова і становить 64,24 та 64,18 МПа відповідно. Коефіцієнт варіації має такі значення: 2,53% для добавки Д1 та 8,15% для добавки Д2;

На рис.3 наведена діаграма “напруження відносна деформація” при випробуванні зразків – кубів на стиск в процесі тверднення. Зміна модуля деформації наведена на рис. 4.



**Рисунок 3** – Діаграма “напруження відносна деформація” зразків – кубів з різним часом твердіння

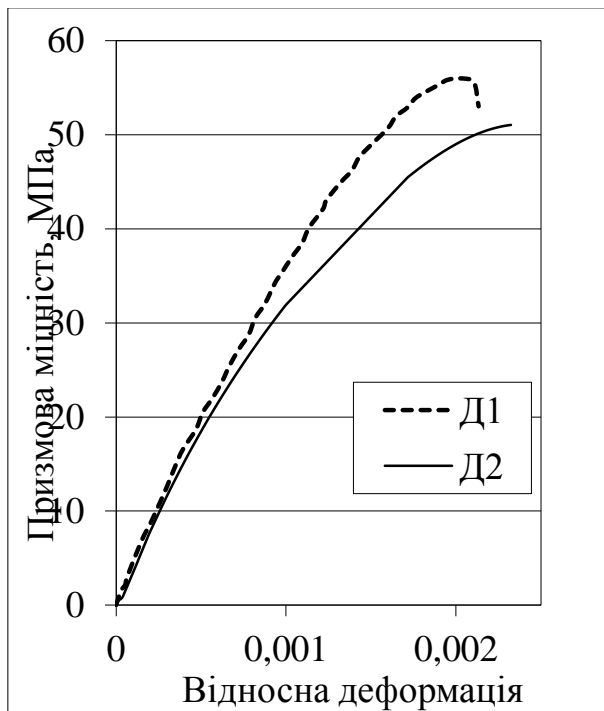


**Рисунок 4** – Результати визначення модуля деформації

Аналіз рис. 3 та 4 підтверджує логарифмічну залежність зміни міцності та модуля деформації в процесі тверднення.

На рис. 5 наведено результати випробувань зразків призм на стиск згідно з [6]. Зразки – призми при випробуванні на стиск руйнуються під кутом 70° – 80° (рис. 6), по площині максимальних дотичних напружень.

Для розрахунку конструкцій дорожнього одягу жорсткого типу необхідно мати достовірні дані про розрахункові характеристики цементобетону: міцність на розтяг при згині, модуль пружності, коефіцієнт Пуассона та показник витривалості [7].



**Рисунок 5** – Діаграма “напруження відносна деформація” при випробуванні зразків призми

**Рисунок 6** – Характерне руйнування зразка – призми

Міцність і деформативність дорожнього бетону на розтяг при згині – це властивості, які визначають їх тріщиностійкість, витривалість та довговічність. Модуль деформації залежить від фізико-механічних властивостей заповнювачів та їх кількісного вмісту в суміші.

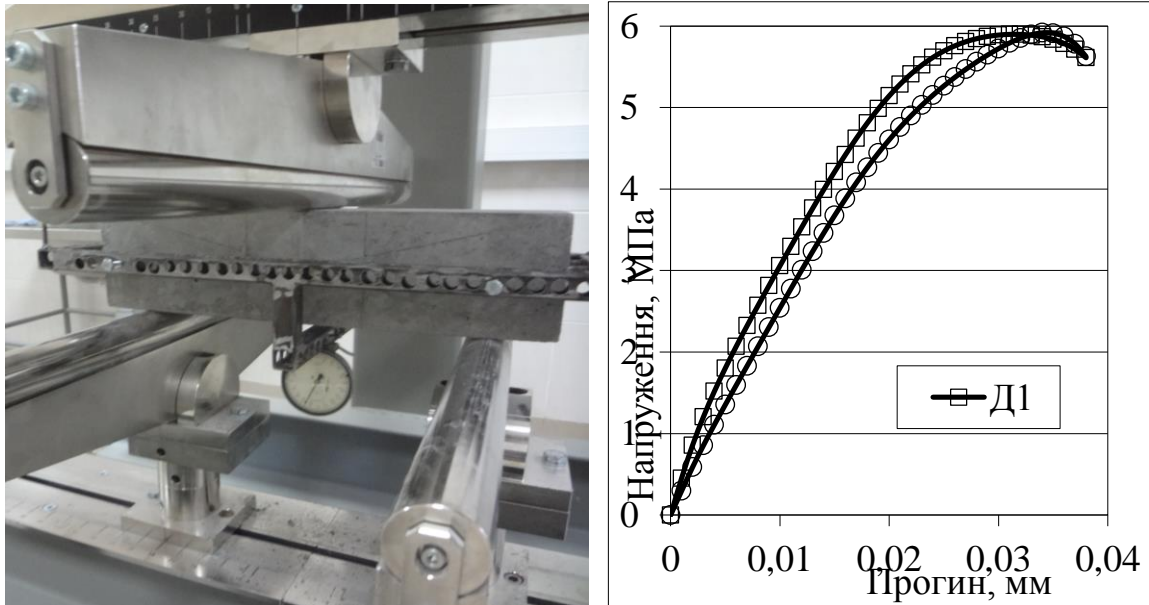
За результатами розрахунків, наведених в [8], збільшення міцності бетону призводить до значного зменшення товщини плити і дозволяє відмовитися від армування.

Випробування на розтяг при згині виконувалося згідно з [5]. Швидкість навантаження – 0,04 МПа/с.

Для вимірювання величини прогину використовувалась рамка, на якій кріпиться індикатор годинникового типу з ціною поділки 0,001 мм. Рамка встановлюється по середині зразка (на нейтральній осі) відносно вертикальної площини і закріплюється над опорами (рис. 7).



За результатами, отриманими при випробуванні, були осереднені дані деформації та напруження (рис. 8) для визначення модуля пружності і модуля деформації (рис. 9).



**Рисунок 7** – Загальний вигляд при випробуванні цементобетонної призми на розтяг при згині  
**Рисунок 8** – Діаграма “напруження на деформація”

За результатами випробування на стиск зразків призм: міцність, модуль пружності та модуль деформації відповідно складають для Д1: 56,06 МПа, 42147 МПа та 27675 МПа, для Д2: 50,86 МПа, 38975 МПа та 21615 МПа;

Розрахункове значення міцності на розтяг при згині становить:

$$B_{btb} = R_{cp} \cdot (1 - 1,64 \cdot C_v / 100), \quad (2)$$

де  $R_{cp}$  - середнє значення міцності на розтяг при згині,

$C_v$  - коефіцієнт варіації міцності на розтяг при згині.

За даними випробувань отримується:

$$B_{btb} = 5,90 \cdot (1 - 1,64 \cdot 6,98 / 100) = 5,22 \text{ МПа. (Д1);}$$

$$B_{btb} = 5,99 \cdot (1 - 1,64 \cdot 7,84 / 100) = 5,22 \text{ МПа. (Д2).}$$



а)



б)

**Рисунок 9** – Загальний вигляд обладнання при випробуванні на: а) розтяг при розколі та б) визначенні модуля пружності

Модуль пружності цементобетону при випробуванні на розтяг при згині з добавкою Д1 більший і складає 41054 МПа, а модуль пружності цементобетону з добавкою Д2 дещо менший і складає 39189 МПа, модуль деформації відповідно 27858 МПа та 26206 МПа, тобто слід очікувати, що цементобетон з вітчизняною добавкою Д2 має більшу тріщиностійкість;

За результатами випробування на розтяг при згині бетонних балок міцність зразків з використанням добавок Д1 та Д2 практично однакова і становить 5,95 та 5,99 МПа відповідно. Коефіцієнт варіації також має близькі значення: 6,87 % для добавки Д1 та 7,84% для добавки Д2, тому клас міцності бетону становить  $B_{btb}$  5,2.

Результати випробування цементобетону на різних добавках та порівняння з наступними залежностями [11 – 13], зведені в табл. 1.

$$R_{p.u.} = 0,08 \cdot (10 \cdot R_{сж})^{2/3}, \quad (3)$$

$$R_{p.p.} = 0,055 \cdot (10 \cdot R_{сж})^{2/3}, \quad (4)$$

$$R_{np.} = 0,783 \cdot R_{сж}, \quad (5)$$

$$E = \frac{52000 \cdot R_{сж}}{23 + R_{сж}}, \quad (6)$$

де:  $R_{сж}$  – міцність на стиск бетону;

$R_{р.и.}$  – міцність на розтяг при згині бетону;

$R_{р.р.}$  – міцність на розтяг при розколі бетону;

$R_{пр.}$  – призмova міцність бетону;

$E$  – початковий модуль пружності бетону.

**Таблиця 1** – Порівняння результатів випробувань

Характеристика		Добавки	
		Д1	Д2
Середня густина, г/см <sup>3</sup>		2,387	2,393
Міцність на стиск, МПа	1 доба	36,64	33,23
	3 доба	48,30	48,39
	7 доба	56,21	57,25
	14 доба	60,66	60,20
	31 доба	63,60	63,98
	1 доба	36,64	33,23
Міцність на стиск призми, МПа		56,06 (49,80*)	50,86 (50,10*)
Міцність на розтяг при згині (31 доба), МПа		5,90 (5,92*)	5,99 (5,94*)
Міцність на розтяг при розколі (31 доба), МПа		4,16 (4,07*)	4,22 (4,08*)
Модуль пружності МПа, визначений	при стиску призм	41298 (38189*)	39189 (38249*)
	при згині	41054	38484
Модуль деформації визначений при стиску кубів, МПа	1 доба	5994	3956
	3 доба	8503	7254
	7 доба	9848	8120
	14 доба	9861	8208
	31 доба	10634	10364
Модуль деформації визначений, МПа	при стиску призм	30669	28790
	при згині	27858	26206
<b>Примітка:</b> * Значення показників порашовані за формулами 3 – 6.			

### Висновки

Використання високоміцних бетонів дозволяє збільшити строк експлуатації конструкцій цементобетонних покриттів або досягти значної економії матеріалів за рахунок меншої товщини плити.

Отримано дорожній високоміцний бетон В50 В<sub>btb</sub>5,2 Р1 F200 при витраті цементу 350 кг/м<sup>3</sup>, добавки 1,1 % від маси цементу, за рахунок направленої, поліфункціональної дії комплексних добавок на властивості і структуру бетону, коли вплив комплексної добавки перевищує вплив окремих складових добавки.

За результатами випробування при порівнянні впливу комплексних добавок Д1 та Д2 на міцнісні і деформативні властивості дорожнього бетону встановлено, що обидві добавки показали практично однакові результати за щільністю, міцністю на стиск та міцністю на розтяг при згині, призмовою міцністю, міцність на розтяг при розколі, початковий модуль пружності та модуль деформації.

### Література

1. Файнер М.Ш. Высокопрочный бетон. – Черновцы.: Рута 2007. – 124 с.
2. Шейнин А.М. Цементобетон для дорожных и аэродромных покрытий. – М.: Транспорт, 1991. С. – 151.
3. ГОСТ 27006-86 Бетоны. Правила подбора состава.
4. Сканделидзе А.А. Новый способ рационального проектирования высокопрочных бетонов марок 500-1000. – Тбилиси, 1978.
5. ДСТУ Б В.2.7-214:2009 Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення міцності за контрольними зразками.
6. ДСТУ Б В.2.7-217:2009 Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення призмової міцності, модуля пружності і коефіцієнта Пуассона.
7. ВБН В.2.3.-218-008-97 Проектування і будівництво жорстких та з жорсткими прошарками дорожніх одягів. – К.: Укравтодор, 1997. – 218 с.
8. Гамеляк І.П. Про ефективність використання високоміцного цементобетону для будівництва жорстких покриттів // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. – К.: НТУ, 2011. – Вип. 81. – С. 30.
9. ДСТУ Б В.2.7-170 Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення середньої густини, вологості, водопоглинання, пористості і водонепроникності.
10. Чистяков В.В. Модифицированные цементобетоны для покрытия дорог / А.Г. Шургая, Ю.М Дорошенко, Н.П. Чиженов Н.П. // Строительные материалы, изделия и санитарная техника. – 2012. – Вып. № 43. – С. 212.
11. Пунагин В.Н. Основы проектирования состава бетона // Ташкент: Узбекистан, 1983.– 152 с.
12. Дворкин О.Л., Дворкин Л.И., Горячих М.В. и др. Проектирование и анализ эффективности составов бетона. – Ровно.: – 2008. – 177 с.
13. Высокопрочный бетон. – Под ред., д.т.н. Берга А.Я. – М.: Стойиздат, 1971. – 209 с.