

УДК 625.70

DOI: 10.33744/0365-8171-2021-109-088-102

**ДРЕНУЮЧИЙ ЦЕМЕНТОБЕТОН ДЛЯ ГІДРОТЕХНІЧНОГО, ДОРОЖНЬОГО ТА АЕРО-
ДРОМНОГО БУДІВНИЦТВА**

**DRAINING CEMENT CONCRETE FOR HYDROTECHNICAL, ROAD AND AIRPORT CON-
STRUCTION**



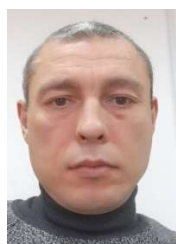
Гамеляк Ігор Павлович, доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри аеропорти, e-mail: gip65n@gmail.com, +380503524124,

<https://orcid.org/0000-0001-9246-7561>



Шургая Анзорі Гівієвич, ПП «Аліоні», «Мостозагін 112», начальник лабораторії, e-mail: alioni@ukr.net, +380993787380,

<https://orcid.org/0000-0002-3939-329X>



Якименко Ярослав Миколайович, кандидат технічних наук, інженер, ПП «АЛІОНІ» e-mail: yakymenkoy@ukr.net, +380689657364,

<https://orcid.org/0000-0002-2736-941X>



Місько Андрій Володимирович, директор, ТОВ "Мега-Лайн" andrewmi74@ukr.net, +380675495777,

<https://orcid.org/0000-0002-2382-2125>



Гужевський Олександр Іванович, інженер, ПП "АЛІОНІ" e-mail: gujevskiy7@gmail.com, +380963000178,

<https://orcid.org/0000-0002-3069-9380>



Караманчук Валерій Леонідович, інженер ПП "АЛІОНІ" e-mail: valerakaramanchuk@gmail.com, +380980647223,

<https://orcid.org/0000-0002-6948-7895>

Анотація. Стаття присвячена підбору складу цементобетонної суміші та визначенню фізико-механічних показників дренуючого цементобетону для улаштування покриття пішохідних доріжок, автомобільних стоянок та гідротехнічних споруд з високою дренуючою здатністю.

Об'єкт дослідження – процеси проектування складу та забезпечення міцності та пропускної здатності дренуючого цементобетону.

Метою роботи є підбір складу та визначення фізико-механічних (міцність на стиск, розтяг при згині, деформативних (модуль пружності), експлуатаційні (стиранність), морозостійкість, водопропускна здатність дренуючого цементобетону..

Методи дослідження – науково-експериментальний.

Результати статті можуть бути використані при експлуатації дорожніх і аеродромних покриттів в водопроникних покриттях та основах для підвищення екологічності середовища міст.

Ключові слова: дренуючий бетон, міцність на стиск, міцність на розтяг при згині, модуль пружності, модуль деформації, морозостійкість, клас бетону на розтяг при згині, водопропускна здатність.

Постановка проблеми.

Дренуючий цементобетон – це матеріал з високою відкритою пористістю, яка забезпечує покращені шумопоглинаючі властивості і дренуючу здатність в поєднанні з шорсткістю та рівністю.

При застосуванні в верхньому шарі покриття цей матеріал повинен чинити опір діючому на нього навантаженню з існуючою інтенсивністю руху, мати відповідну морозостійкість і стійкість до дії хлоридів та мати кращі шумопоглинаючі характеристики.

Дренуючий (дренажний, проникний, пропускальний, високопористий, крупно пористий, поруватий) бетон (Portland Cement Pervious Concrete (PCPC)) - це суміш щебеню, води, хімічних добавок і цементу з нульовим або з дуже низьким вмістом піску. Цей тип бетону має велику кількість міжзернових і взаємопов'язаних пустот, які забезпечують бетону високу проникність, дозволяють дощовій воді проходити крізь бетон, зменшуючи збирання води на поверхні і уникаючи затоплень.

Переважно дренажний бетон застосовується для облаштування:

- паркінгів з легкими транспортними навантаженнями;
- основ для автомобільних доріг, міських вулиць та доріг;
- тротуарів і пішохідних зон;
- доріжок в парках і лісистій місцевості.
- стін, де потрібно забезпечити тепло- і звукоізоляцію, шумових бар'єрів.

Влаштування шарів основи дорожнього одягу з дренуючого цементобетону забезпечить відведення води з конструкції дорожнього одягу в осінньо-весняний періоди. Та попередить від передчасного руйнування покриття та конструкції дорожнього одягу в зоні скупчення води при замерзанні та відтаванні.

Швидке відведення води з поверхні покриття дозволяє в значній мірі знизити слизькість і підвищити безпеку руху. Таке покриття може знижувати рівень шуму від транспортних засобів на 3 – 5 дБ.

Один з варіантів використання дренуючого цементобетону є створення підпірних стінок гідротехнічних споруд (замість використання габіонів). Якщо габіони – просторова сітчаста коробчаста структура, яка заповнена природним каменем, і тримається за рахунок сітчастої конструкції, то підпірна стіна з використанням дренуючого бетону з додатковим армуванням композитною арматурою зможе витримати більше навантаження, зберігаючи дренуючу здатність.

Цей матеріал відрізняється від щільного цементобетону, тим, що має переривчастий гранулометричний склад та кількість розчинної частини яка необхідна тільки для обволікання і склеювання зерен заповнювача. Відкрита пористість може знаходитись в межах від 8 % до 25 % за об'ємом в залежності від призначення.

Переваги покриттів з великопористого цементобетону, за даними зарубіжних досліджень, такі: швидке видалення води з поверхні покриття, що зменшує ризик аквапланування транспортних засобів і підвищує безпеку руху в дощову погоду; підвищена і постійна шорсткість поверхні; зниження рівня шуму від руху транспортних засобів. Дренуюча здатність покриття робить його практично сухим, воно також має високий ступінь звукопоглинання. Недоліком пористих покриттів є забруднення пустот в процесі експлуатації, що значно знижує ефект їх використання. Одним із способів відновлення дренуючих властивостей таких покриттів є промивка поверхні сильним струменем води за допомогою спеціальних машин з подальшим вакуумуванням і видаленням забрудненої води.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Огляд світового досвіду досліджень дренуючого (пористого) цементобетону, улаштування та експлуатації шарів дорожнього та аеродромного одягу та гідротехнічних споруд з нього показує техніко-економічну доцільність і ефективність їх застосування.

Це матеріал з високою відкритою пористістю, яка забезпечує високу дренажну здатність в поєднанні з шорсткістю, рівністю і поперечним тертям та хороші шумопоглинаючі властивості [1 - 4].

Дренуючим цементобетоном називають матеріал з відкритою структурою великих пор, який в якості в'язучого матеріалу містить таку кількість цементного тіста або тонкого розчину, щоб повністю заповнювати пустоти між зернами заповнювача після ущільнення. Вміст пустот залежить від об'єму розчинної частини, тобто суми об'ємів цементу, піску і води. У попередніх дослідженнях цей обсяг змінювався від 15 і 35%, розрахунковий обсяг пустот приймався рівним 25%.

Найважливішою характеристикою дренуючого цементобетону є покращене зчеплення шасі повітряного судна (ПС) чи колеса транспортного засобу (ТЗ) з вологим покриттям, швидке відведення зливових вод з поверхні покриття, зменшення ефекту аквапланування, зниження рівня шуму і вібрації коліс ПС чи ТЗ. Покриття з водопроникного пористого матеріалу є альтернативним способом організації поверхневого водовідведення. Принцип роботи таких покриттів полягає у вільному прониканні зливових вод всередину дренуючого матеріалу покриття з можливістю їх подальшої фільтрації. Швидкість фільтрації при цьому залежить від дренуючої здатності цементобетону і поперечних ухилів покриття [1].

Одним з основних критеріїв застосування пористого цементобетону є поєднання хорошої водопроникності і опору механічним впливам, в тому числі і навколишнього середовища (рис. 1). При використанні пористого цементобетону для улаштування покриття або верхніх шарів основ зазначені вище характеристики можуть бути досягнуті шляхом відносно невеликим дозування цементу (що не перевищує 200 кг/м³). Якщо пористий цементобетон застосовується для покриттів і піддається безпосередньому впливу коліс ПС чи ТЗ, то важче знайти компроміс між водопроникністю і міцністю, включаючи опір відриву щебінок. У цьому випадку слід підвищувати вміст цементу (до 300 – 400 кг/м³) або вводити невелику кількість цементу, але з добавками (в основному полімерів або мікрокремнезему), які покращують міцність цементобетону без зменшення його пористості [1, 5]. Поширення набувають екологічні водопроникні покриття, з можливістю регулювання водовідведення для зменшення температури навколишнього середовища в місті, особливо в літній період максимальних температур (рис. 2).

Хімічні добавки є головним інгредієнтом в даний час будь-якої суміші. В основному використовуються суперпластифікатори і модифікатори гідратації. Результати експериментів показують, що властивості пористого цементобетону більшою мірою залежать від властивостей полімерцементного тіста і зчеплення між ним і заповнювачем [1, 5 -8].

Крім того, важливою характеристикою такого цементобетону є достатній опір заморожуванню-відтаванню під дією солей, так як розчин між зернами заповнювача, завдяки високому вмісту

порожнин, піддається посиленним впливам морозу і протиожеледних солей. Для цього в багатьох країнах проведені відповідні експерименти із застосуванням різних методів випробувань [1].



Рисунок 1 – Загальний вигляд дренажного бетону

Figure 1 - General view of pervious concrete

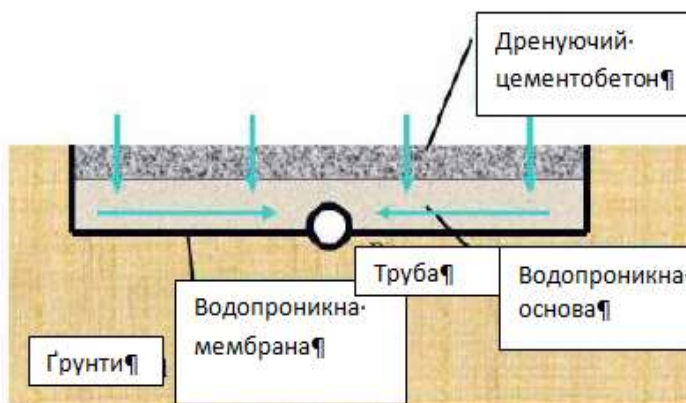


Рисунок 2 – Схема внутрішнього водовідведення з проникного покриття із дренажного бетону

Figure 2 - Scheme of internal drainage from the permeable coating of pervious concrete

Якщо аеродроми з покриттям з пористого цементобетону розташовані в кліматичних умовах з холодними зимами, то матеріал повинен володіти високим опором заморожуванню–відтаванню, дії протиожеледних солей тощо [2].

Через високі вимоги до міцності, зносу, морозо- і морозосолестійкості дренажний цементобетон при цьому способі будівництва, як правило, модифікується високоякісними добавками полімерів. За винятком деяких лабораторних випробувань, всі колишні практичні дослідження були проведені на складах, модифікованих полімерами. Двошарове будівництво – пористий цементобетон на щільному цементобетоні з клейким килимком – було виконано в Німеччині в 1993 р в рамках декількох невеликих дослідних ділянок. Досвід з укладання пористої цементобетонної суміші на свіжоукладений укатаний цементобетон без клейкого килимка не дав позитивних результатів щодо відмінного з'єднання шарів.

У порівнянні з традиційним асфальтобетonom (на щебені розміром зерен 0/11 мм), який вважається еталоном в Німеччині, дослідні ділянки в Великобританії, Бельгії та Німеччині показують, що покриття з пористого цементобетону знижують шум приблизно на 4 дБ. Відзначається, що пористе покриття створює також умови для швидкого просушування поверхні покриття, а зниження шуму пояснюється кращою взаємодією покриття і протекторів шасі ПС чи ТЗ, частковим поглинанням повітря під шинами за допомогою пор в цементобетоні [1-8].

Поряд зі значними перевагами: зниженням рівня шуму, зменшенням розбризкування, підвищенням безпеки руху в дощову погоду, зниженням ризику аквапланування, зменшенням об'ємної і питомої ваги пористий цементобетон має наступні недоліки: високою вартістю будівництва, скороченням тривалості терміну служби, проблемами зі швами, додатковими витратами на очистку покриття, складним ремонтом і утриманням зруйнованих ділянок, додатковими витратами на заходи по боротьбі з ожеледицею [1-5].

Основна вимога до забезпечення працездатності високопористого покриття полягає в збереженні його властивостей протягом всього періоду експлуатації. Для своєчасного відведення води з поверхні покриття дренажний цементобетон повинен мати певну фільтраційну здатність [1-8].

Метою роботи є: підбір складу та визначення фізико-механічних (міцність на стиск, розтяг при згині, деформативних (модуль пружності), експлуатаційні (стиранність), морозостійкість, водопропускна здатність дренажного цементобетону.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Дренуючий бетон - містить крупний заповнювач при відсутності або мінімальному вмісті дрібного заповнювачу, а також недостатню для заповнення пор і пустот кількість цементного тіста.

За кордоном використовують в основному два випробування, призначені для проникного бетону:

- метод випробування для визначення щільності і пористості (вміст пор) свіжоприготовленого проникного бетону (ASTM C1688);
- метод випробування для визначення швидкості інфільтрації (ASTM C1701).

Третій тест в даний час прийнято, щоб перевірити працездатність (легкоукладальність) на будівельному майданчику з використанням перевернутого стандартного конусу.

На основі аналізу літературних даних в табл. 1 наведено вимоги до дренуючого бетону для шарів основи та покриття автомобільних доріг різних категорій.

При лабораторних випробуваннях були наступні матеріали: цемент М400; щебінь фракцій 2-5 мм, 5-10 мм, 10-20 мм; пісок річковий; хімічні добавки Mapcrete Drain L та Mapetard SD 2000.

Mapcrete Drain L - водна емульсія спеціальних сополімерів, яка покращує властивості бетону, який використовується для дренажних робіт. Це дуже текуча латексна добавка біло-жовтуватого відтінку, яка додається в дренажний бетон під час перемішування в мішалці.

Mapcrete Drain L - суміш сополімерів і вторинних компонентів, яка при додаванні в дренажну суміш значно покращує її властивості і процес твердіння. Добавка підвищує в'язкість і когезію суміші, покращуючи її легкоукладальність при укладанні за допомогою асфальтоукладача, виливаючи як стяжку або при використанні ручних інструментів. При використанні для будівництва доріг добавка зменшує ризик виникнення проблеми нестійкості або розпливання контурів полотна під час укладання.

Покращені фізичні властивості бетону збільшують термін експлуатації дренуючого бетону. Mapcrete Drain L може зменшити час легкоукладальності свіжого бетону. Тому в жарку погоду рекомендується використовувати спільно з Mapcrete Drain L сповільнювач схоплювання Mapetard SD 2000.

Спеціальний склад Mapcrete Drain L дозволяє поліпшувати характеристики дренуючого бетону, підвищуючи його якість і довговічність.

Дозування добавки здійснюється за вагою: Mapcrete Drain L додається в кількості 0,7-4 кг на кожні 100 кг цементу (від 2 до 10 кг на 1 м³ бетону) в залежності від необхідних характеристик бетону. Інші дозування, які відрізняються від вищевказаних, повинні визначатися лабораторними випробуваннями, а також узгоджуватися з Технічним відділом постачальника.

Mapetard водний розчин активних полімерів, які уповільнюють гідратацію цементу і запобігає швидкому зниженню осадки конуса бетону під час жаркої погоди та при транспортуванні на великі відстані. Збереження легкоукладальності і уповільнення строків схоплювання збільшуються зі збільшенням дозування добавки, в межах 0,2% і 0,5% від маси цементу.

В ході лабораторних підборів (27 шт.) побудовані залежності міцності від середньої щільності рис. 3. З цих підборів нами визначені шість складів високопористої цементобетонної суміші для подальшого детального аналізу. Відмінність полягає у кількості мілкого заповнювача (піску) та хімічних добавок.

Випробування цементобетонних зразків проводили згідно норм ДСТУ Б В.2.7-214.

Таблиця 1 - Вимоги до дренуючого бетону

Table 1 - Requirements for pervious concrete

Параметри	Категорія автомобільної дороги		
	Iб -II	III -IV	V (велосипедні доріжки)
Навантаження на вісь. кН (т)	115 (11,5)	100 (10)	60 (6,0)
Склад бетону			
W / C	0,27 ... 0,35	0,3 ... 0,4	0,3 ... 0,4
кількість води, кг/ м ³	100 ... 130	100 ... 130	100 ... 130
кількість цементу (для покриття / основи), кг/ м ³	320 ... 375 / 150 ... 220	275 ... 325 / 125 ... 200	225 ... 275 / 100 ... 150
Пісок	До 6%	До 6%	До 6%
Щебінь	Фр. 5 .. 20 мм	Фр. 5 .. 20 мм	Фр. 5 .. 20 мм
Максимальний розмір щебеню	25 мм	25 мм	25 мм
Розхід, кг/м ³	1430 ... 1670	1430 ... 1670	1430 ... 1670
Легкоукладальність, см	0	0	0
Жорсткість, с	0 ... 5	0 ... 5	0 ... 5
Пористість (розмір пор 1...8 мм) для свіжоприготовленого проникного бетону (ASTM C1688)	15 ... 30 %	15 ... 30 %	15 ... 30 %
Дренуюча здатність (загальна кількість води, що проникає через бетон) визначення швидкості інфільтрації (ASTM C1701)	100 .. 750 л/хв./м ² 100 ... 150 л/м ³	100..700 л/хв./м ² 100...130 л/м ³	100 .. 700 л/хв./м ² 100...130 л/м ³
Клас міцності на стиск:			
покриття	B 35	B 25	B 20
основи під цементобетон	B 10	B 10	-
основи під асфальтобетон	B 7,5	B 7,5	B 7,5
Клас міцності на розтяг при згині: покриття			
основи під цементобетон	Bbtb 4,4	Bbtb 3,6	Bbtb 3,2
основи під асфальтобетон	Bbtb 1,2 Bbtb 0,8	Bbtb 1,2 Bbtb 0,8	- Bbtb 0,8
Марка за морозостійкістю бетону у покритті при відтаванні у 5% розчині NaCl / для основи при відтаванні у воді			
від 0 до - 5° C	F 100 / F 25	F 100 / F 25	F 100 / F 25
від 0 до - 5° C	F 150 / F 50	F 150 / F 50	F 150 / F 50
Мінімальна товщина покриття (основи), см	24 (18)	20 (16)	16 (15)

На основі аналізу лабораторних підборів було вибрано два склади з різною кількістю Маресcrete Drain L – 4 % та 3 % від маси цементу. Виготовлені наступні зразки: куби 100x100x100 по 28 шт. кожного складу з яких 18 шт., випробування на морозостійкість, 8 шт. випробування на стиск. Куби 70x70x70 по три зразки випробування на стиранність. По чотири призми 100x100x400 випробування на розтяг при згині (модуль пружності, модуль деформації). Циліндри Ø 150 L = 150 по шість шт. випробування на водопроникність.

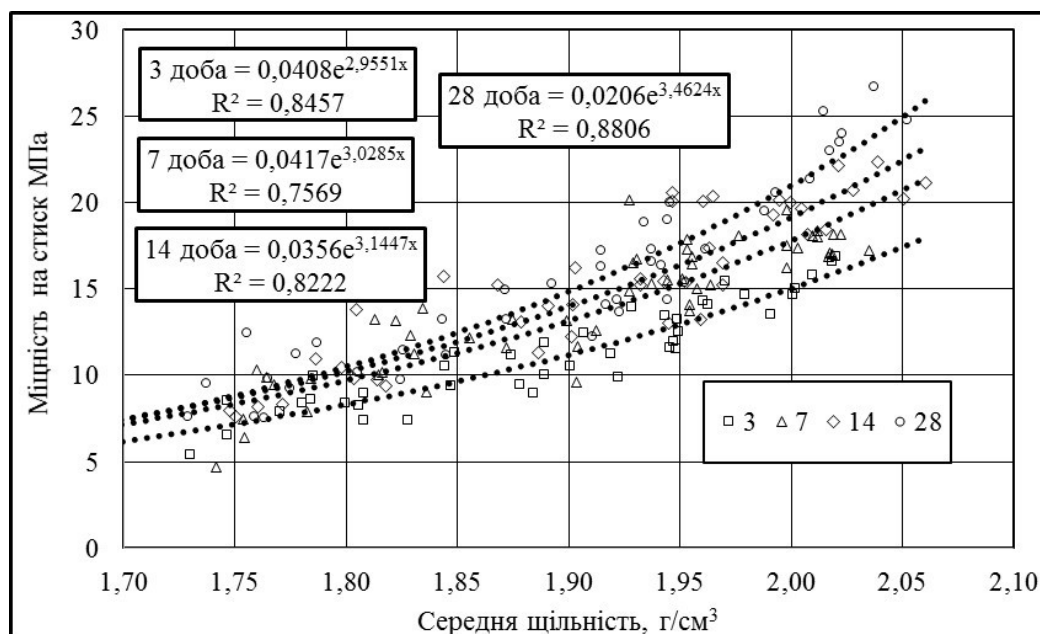


Рисунок 3 – Залежність міцності на стиск дренуючого бетону від його щільності

Figure 3 - Dependence of compressive strength of pervious concrete on its density

Випробування цементобетонних зразків на стиск

При випробуванні, навантаження зразків проводять безперервно зі швидкістю, що забезпечує підвищення розрахункового напруження до його повного руйнування в межах $0,6 \pm 0,4$ МПа/с [Ошибка! Закладка не определена.]. Критерієм міцності на стиск є максимальне зусилля, досягнуте в процесі випробування, при якому зразок починає руйнуватися. Результати випробувань наведені на рис. 4.

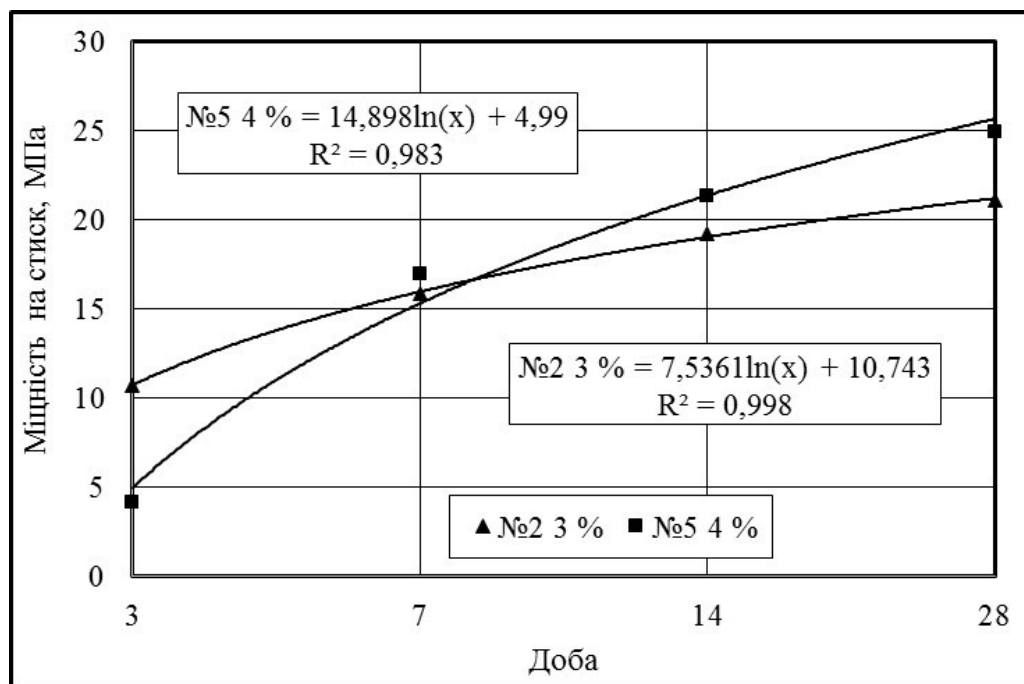


Рисунок 4 – Залежність міцності дренуючого цементобетону на стиск від строку твердіння

Figure 4 - Dependence of compressive strength of pervious cement concrete on the curing time

Визначення міцності на розтяг при згині

Основним показником міцності дорожнього цементобетону є міцність на розтяг при згині

R_{tb} .

При випробуванні, навантаження зразків проводять безперервно зі швидкістю, що забезпечує підвищення розрахункового напруження до його повного руйнування в межах $0,05 \pm 0,02$ МПа/с [Ошибка! Закладка не определена.].

При випробуванні на розтяг при згині зразки-призми встановлюють до випробувального пристрою і прикладають навантаження до руйнування зразка. Розміри зразків-призми $100 \times 100 \times 400$ мм.

Випробування цементобетонних зразків на стиранність

Зносостійкість оцінювали за величиною стиранності, яку визначали на приладі ЛКИ-3 згідно ДСТУ Б В.2.7-212. Зразки встановлювали в рамку для кріплення, що знаходиться над диском, після чого двох плечовим важелем завантажували навантаження 300 Н при відхиленні ± 1 %. Перед початком випробувань зразки витримували протягом 48 годин у повітряно-сухих умовах $t = 20 \pm 3$ °C і відносній вологості 65 ± 10 %. Після витримання зразки зважували з точністю до 0,1 г та визначали лінійні розміри з точністю до 0,1 мм. Перед вмиканням приладу на поверхню диска слід висипати абразивний матеріал згідно ГОСТ 3647 рівномірним шаром у кількості 20 г, і здійснювали 28 обертів. Випробування проводили для кожної грані, причому кожні 28 обертів абразивний матеріал замінювали на новий. Після 110 обертів зразок виймали, визначали масу і знову встановлювали в рамку, повернувши навколо вертикальної осі на 90°. Таким чином виконували 4 цикли по 110 обертів для кожного зразка і стиранність визначали як середнє значення зменшення маси із серії випробуваних зразків. Стиранність для дорожніх покриттів має бути не більше 0,7 г/см² ДСТУ Б В.2.7-145:2008.

Результати випробувань наведені на рис. 5.

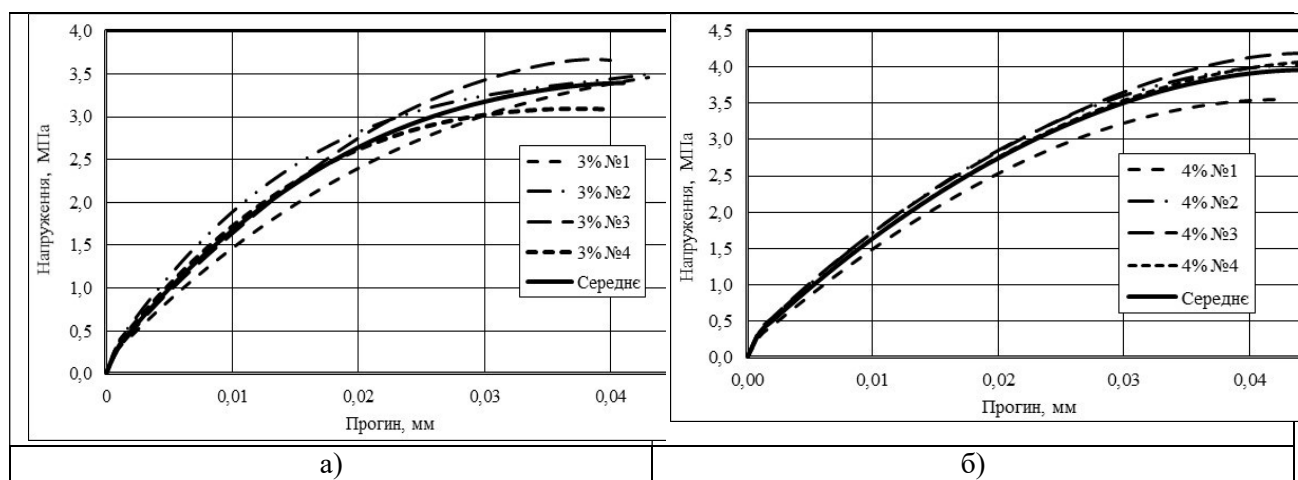


Рисунок 5 – Діаграма “напруження – деформація” для дренаючого бетону з кількістю Mapecrete Drain L: а) 3 %; б) 4 %

Figure 5 - Diagram "stress - strain" for pervious concrete with the amount of Mapecrete Drain L: а) 3%; б) 4%

Визначення модуля пружності та модуля деформації

Модуль пружності E_{cm} обчислюють для кожного зразка при рівні навантаження, що становить 30 % від руйнівного.

Результати розрахунку модуля пружності наведено на рис. 6 – 7.

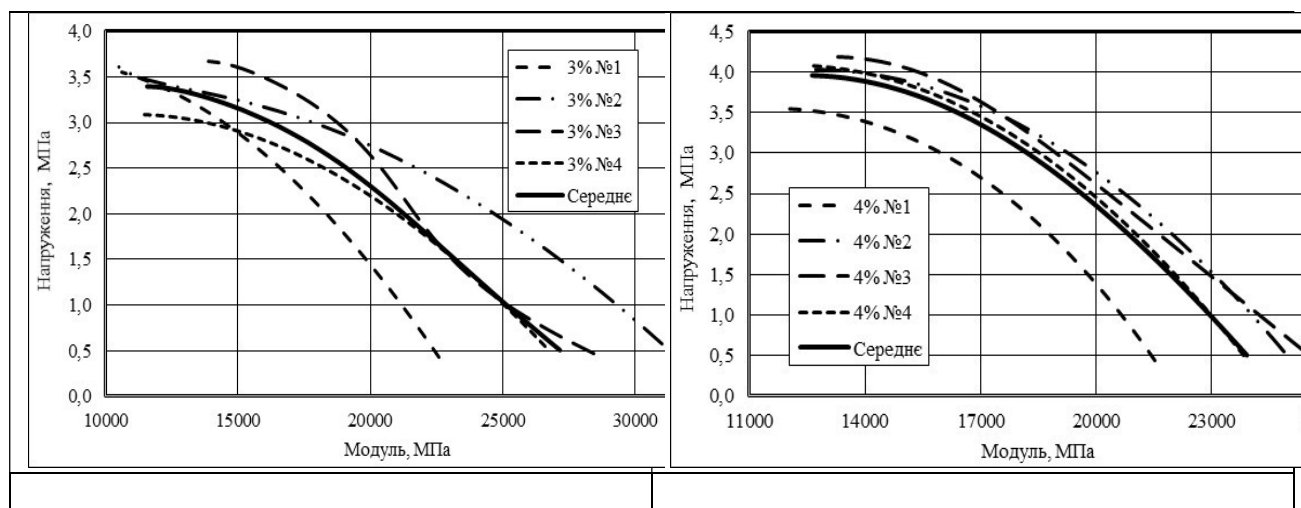


Рисунок 6 – Зміна модуля в процесі випробування на розтяг при згині зразків а) склад № 2, 3 % Mapecrete Drain L; б) склад № 5, 4 % Mapecrete Drain L

Figure 6 - Modification of the module during the tensile test during bending of the samples a) composition № 2, 3% Mapecrete Drain L; b) composition № 5, 4% Mapecrete Drain L

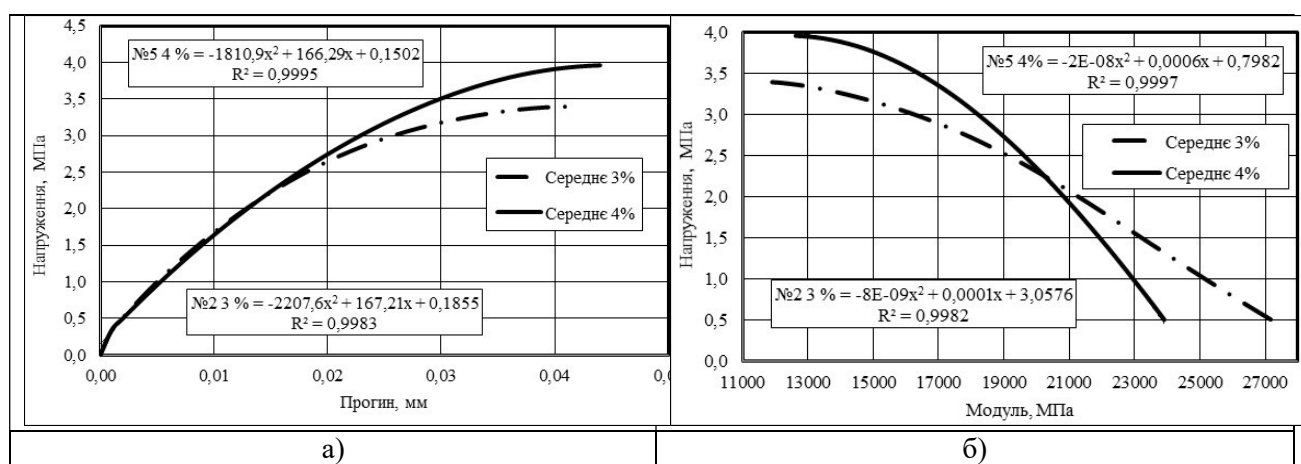


Рисунок 7 – Осереднені значення для складів № 2 та № 5 а) напруження-деформація зразків та б) зміни модуля пружності в процесі випробування на розтяг при згині

Figure 7 - Average values for compositions 2 and № 5 a) stress-strain of the samples and b) changes in the modulus of elasticity during the tensile test under bending

Випробування цементобетонних зразків на морозостійкість

Для визначення морозостійкості бетону зразки кубічної форми 100x100x100 піддаються багаторазовому поперемінному заморожуванню і відтаюванню в насиченому стані 5 % водяним розчином хлористого натрію.

Бетонні зразки виготовляють згідно норм. Основні і контрольні зразки бетону перед випробуванням насичують 5 % водяним розчином хлористого натрію при температурі 18 ± 2 °C ДСТУ Б В.2.7-47.

Витягають контрольні зразки з розчину, і через 2 – 4 год. після того визначають масу зразків та випробовують їх на стиск. Основні зразки, які насичені 5 % водяним розчином хлористого натрію, поміщають у морозильну камеру для випробування зразків на морозостійкість. Зразки установлюють на дві дерев'яні прокладки, при цьому відстань між зразками та стінками повинні бути 10 ± 2 мм.

Число циклів заморожування і відтавання приймають згідно з ДСТУ Б В.2.7-47.

Після встановлення в закритій камері температури -10 °C температуру знижують протягом $2,5 \pm 0,5$ год. до -18 ± 2 °C і витримують $2,5 \pm 0,5$ год. Далі температуру в камері підвищують протягом $1,5 \pm 0,5$ год. до -10 °C, і при цій температурі вивантажують з неї ємкості із зразками. Зразки відтають протягом $2,5 \pm 0,5$ год. у ванні з 5 % водяним розчином хлористого натрію температурою 18 ± 2 °C. Основні зразки витягають із ємкості, і через 2 – 4 год. після того визначають масу і випробовують на стиск згідно ДСТУ Б В.2.7-214/

Марку бетону за морозостійкістю визначають, якщо середнє значення міцності на стиск основних зразків після даної кількості циклів поперемінного заморожування і відтавання зменшилась не більше ніж на 5 % у порівнянні із середньою міцністю на стиск та втрата маси основних зразків не перевищує 3 % від контрольних зразків.

Зразки з 3% добавки витримали 45 циклів заморожування-відтаювання, що відповідає марці за морозостійкістю F100, різниця по міцності на стиск складає 13,2 %, приріст маси 0,37 %.

Зразки з 4% добавки витримали 45 циклів заморожування-відтаювання, що відповідає марці за морозостійкістю F150, різниця по міцності на стиск складає 8,7 %, приріст маси 0,5 %.

Випробування цементобетонних зразків на водопропускну здатність

Ефективність пропускну здатності матеріалу залежить від внутрішньої проникності системи. Було помічено, що пористість сама по собі є некоректним показником проникності, оскільки проникність залежить від розмірів пор, геометрії та зв'язності.

Для оцінки водопроникності в ПП «АЛІОНІ» був виготовлений випробувальний пристрій для вимірювання водопроникності (рис 8).

Водопроникність визначено з спадаючим рівнем та постійним рівнем води.

Визначення водопропускну здатності при верстві води 1 – 1,5 см

Зразки перед випробуванням висушуються до постійної маси. Потім на 24 години поміщаються у воду для насичення їх водою. В табл. 2 наведені властивості дренажного бетону при фільтрації.

Таблиця 2 – Гідравлічні властивості зразків

Table 2 - Hydraulic properties of the samples

Параметр	Щільність, г/см ³	Водонасичення вагове, %	Водопропускну здатність л·с/м ²
Середнє	2,026	1,48	0,35
Середньоквадратичне відхилення	0,019	0,08	0,05
Коефіцієнт варіації	0,943	5,61	13,30

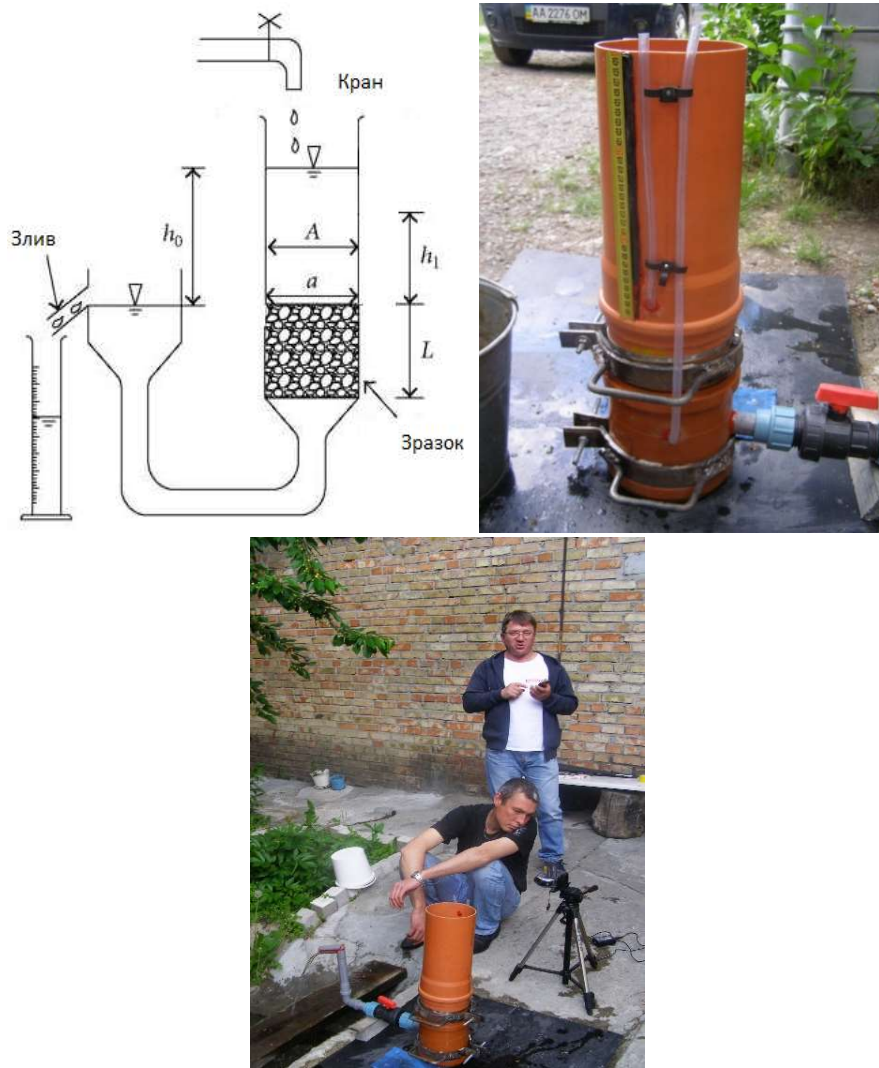


Рисунок 8 – Схема та загальний вигляд установки для випробування на водопроникність
Figure 8 - Schematic and general view of the installation for water permeability testing

Водопроникність з перемінним тиском

Інтервал часу Δt , протягом якого напір води знижується від h_0 до h_1 та проникність K визначається за формулою:

$$K = \frac{\mu \cdot L \cdot A}{\rho \cdot g \cdot a \cdot \Delta t} \cdot \ln \frac{h_0}{h_1}, \quad (1)$$

де μ – динамічна в'язкість води, Па·с; L – довжина зразка, м; a – площа поперечного перерізу зразка, м²;

A – площа поперечного перерізу води в трубі, м².

Із формули 1 отримується водопроникність за 1 м², для перерахунку в м/с (рис. 9):

$$k = \frac{\rho \cdot g}{\mu} \cdot K. \quad (2)$$

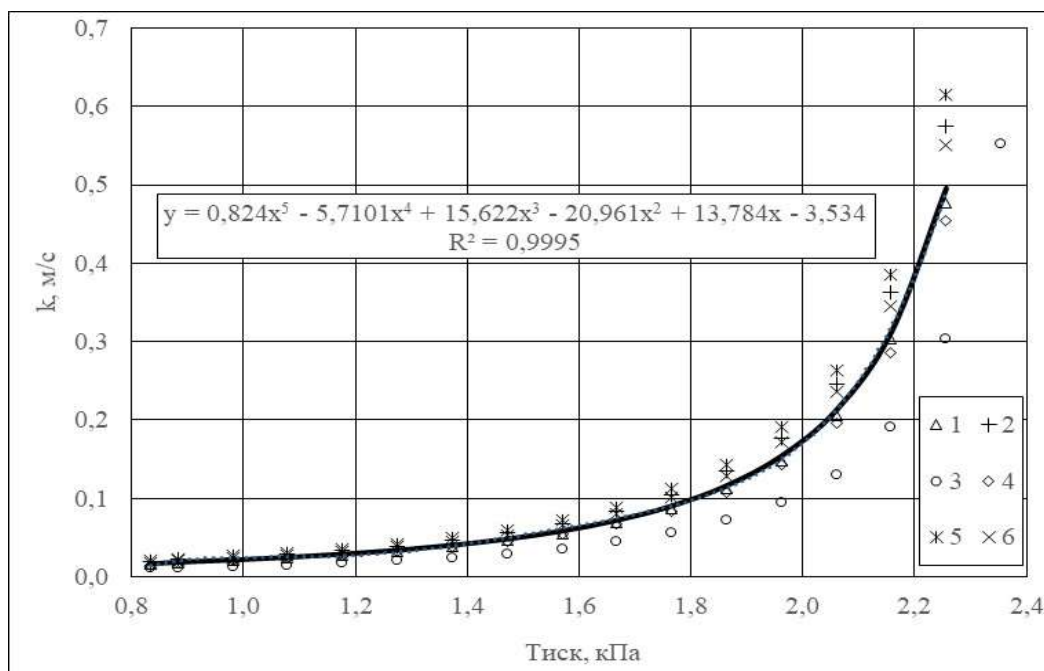


Рисунок 9 – Зміна водопроникності дренуючого бетону від тиску

Figure 9 - Changing the water permeability of draining concrete from pressure

Висновки. Фізичні та механічні властивості затверділого дренуючого бетону підвищуються паралельно зі збільшенням дозування Mapecrete Drain L:

- підвищується механічна міцність;
- підвищується міцність на згин і розтягнення;
- зменшується модуль пружності;
- підвищується морозостійкість і стійкість до солей.

Рекомендується додавати Mapecrete Drain L спільно з водою і перемішувати компоненти до отримання бетону однорідної консистенції.

Довговічність дренуючого бетону, змішаного з Mapecrete Drain L, гарантується в тому випадку, якщо на підстильний шар доріг або доріжок буде покладена відповідна система для збору та відведення дощової води.

Для гарантії дренажної здатності бетону протягом довгих років і збереження ефективності під час експлуатації, необхідно виконувати регулярні технічні роботи по очищенню пустот в конструкції дренуючого бетону.

В табл. 3 наведено результати випробувань дренуючого бетону.

Основні напрямки застосування дренуючого бетону:

- зведення різних огорожувальних конструкцій;
- виробництво фільтраційних бетонів для дорожнього будівництва, гідротехнічних бетонів і дренажу.

В значній мірі основні характеристики дренуючого бетону відповідають конструкційно-теплоізоляційного матеріалу, що дозволяє зводити з нього плити, блоки, самонесучі стіни і жорсткі утеплюючі шари покрівель, а також ізолювати ґрунти від промерзання (відтавання) в житловому і дорожньому будівництві.

Таблиця 3 – Узагальнені результати випробування дренажного бетону
Table 3 - Generalized test results of draining concrete

Характеристика		Склад	
		№ 2	№ 5
Середня щільність, кг/м ³		1964	2025
Міцність на стиск, МПа	3 доба	10,8	4,2
	7 доба	15,9	17,0
	14 доба	19,2	21,3
	28 доба	21,1	24,9
Міцність на розтяг при згині (28 доба), МПа		3,2	3,6
Модуль пружності (28 доба), МПа		24585	22183
Модуль деформації (28 доба), МПа		11565	12629
Стиранність, г/см ²		0,34	0,33
Морозостійкість		F100	F150
Водопроникна здатність л/с		-	0,35
Клас бетону на стиск		B 15	B 20
Клас бетону на розтяг при згині		B _{tb} 2,4	B _{tb} 2,8

З огляду на високу фільтруючу здатність дренажних бетонів, вони також можуть ефективно застосовуватися методом «стіна в ґрунті» для зміцнення укосів річкових і морських берегів, які зазвичай руйнуються виходом ґрунтових вод, а також для дренажу фундаментів різних будівель і споруд. Перспективним є застосування таких бетонів для захисту тіл гребель і водоскидів при нештатних ситуаціях у вигляді повеней і штормових впливів.

Перелік посилань

1. Применение пористого (дренирующего) цементобетону при строительстве слоев дорожной одежды. Обзорная информация. Вып. 6/2007. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://files.stroyinf.ru/Data1/56/56228/index.htm>
2. Коршунов В.И. Пористый цементобетон для дорожных покрытий и оснований. Научные исследования и разработки Союздорнии: Юбил. вып. – М., 2001. – С. 140–143. – (Тр. / Союздорнии).
3. The National Academies of sciences, engineering, medicine. The National Academies Press. Guidance for Used for Permeable Pavement at Airports. 2017 – 90 с. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://www.researchgate.net/publication/319066437_THE_NATIONAL_ACADEMIES_PRESS_Guidance_for_Usage_of_Permeable_Pavement_at_Airports
4. Rahman, M. A., M. Imteaz, A. Arulrajah, M. Disfani, and S. Horpibulsuk. 2015. Engineering and Environmental Assessment of Recycled Construction and Demolition Materials Used with Geotextile for Permeable Pavements. Journal of Environmental Engineering, 141(9), 04015019.
5. Wu Hao, Huang Baoshan, Shu Xiang, Dong Qiao, Shrum Emily, Jared David Mark, Wu Peter. Laboratory Evaluation of Latex-Modified Pervious Concrete. - Journal of Transport. Research Rec. 2010 – 15с. [Електронний ресурс]. Режим доступу <https://www.researchgate.net/publication/258121243>.
6. American Concrete Institute. *Pervious Concrete*. ACI Committee 522, technical committee document 522R-06, 2006.

7. Tennis, P.D., Leming, M.L., and Akers, D.J. Pervious Concrete Pavements. EB302, Portland Cement Association, Skokie, Illinois, and National Ready Mixed Concrete Association, Silver Spring, Maryland, 2004.

8. Montes, F. Pervious Concrete: Characterization of Fundamental Properties and Simulation of Microstructure, Ph.D. Dissertation, University of South Carolina, 2006.

9. ДСТУ Б В.2.7-71 Будівельні матеріали. Щебінь і гравій із щільних гірських порід і відходів промислового виробництва для будівельних робіт. Методи фізико-механічних випробувань.

10. ДСТУ Б В.2.7-32 Будівельні матеріали. Пісок щільний природний для будівельних матеріалів, виробів, конструкцій і робіт.

11. ДСТУ Б В.2.7-214 Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення міцності за контрольними зразками.

12. ДСТУ Б В.2.7-212 Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення стиратості.

13. ГОСТ 3647 Материалы шлифовальные. Классификация. Зернистость и зерновой состав. Методы контроля (Матеріали шліфувальні. Класифікація. Зернистість та зерновий склад. Методи контролю).

14. ДСТУ Б В.2.7-145:2008 Будівельні матеріали. Вироби бетонні тротуарні неармовані.

15. ДСТУ Б В.2.7-47 Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення морозостійкості. Загальні вимоги.

DRAINING CEMENT CONCRETE FOR HYDROTECHNICAL, ROAD AND AIRPORT CONSTRUCTION

Gameliak Igor Pavlovich, Doctor of Engineering Sciences, professor, Head of department «Airports», National Transport University, e-mail: gip65@gmail.com, +380503524124, <https://orcid.org/0000-0001-9246-7561>.

Shurgaya Anzori Givievich, Private Enterprise «Alioni», Mostozagin 112, Head of Laboratory, e-mail: alioni@ukr.net, +380993787380, <https://orcid.org/0000-0002-3939-329X>

Yakimenko Yaroslav Nikolaevich, Candidate of Technical Sciences, engineer, Private enterprise «ALIONI» e-mail: yakymenkoy@ukr.net, +380689657364, <https://orcid.org/0000-0002-2736-941X>

Mysko Andrii Volodimirovich, director, LLC «Skanex» e-mail: misko@mega-line.com.ua +380675495777, id ORCID 0000-0002-2382-2125, <https://orcid.org/0000-0002-2382-2125>

Guzhevsky Alexander Ivanovich, engineer, Private enterprise «ALIONI» e-mail: gujevskiy7@gmail.com +380963000178, <https://orcid.org/0000-0002-3069-9380>

Karamanchuk Valery Leonidovich, engineer, Private enterprise «ALIONI» e-mail: valerakaramanchuk@gmail.com, +380980647223, <https://orcid.org/0000-0002-6948-7895>

Annotation. The article is devoted to the selection of the composition of the cement-concrete mixture and the determination of physical and mechanical parameters of the draining cement concrete for the arrangement of the pavement of footpaths, parking lots and hydraulic structures with high drainage capacity.

The object of research is the processes of composition design and ensuring the strength and capacity of draining cement concrete.

The aim of the work is to select the composition and determine the physical and mechanical (compressive strength, tensile bending, deformable (modulus of elasticity), operational (abrasion), frost resistance, water permeability of draining cement concrete.

Research methods - scientific and experimental.

The results of the article can be used in the operation of road and airfield pavements in the culverts and foundations to improve the environmental friendliness of cities.

Key words: pervious concrete, compression strength, tension strength under bending, module of elasticity, module of deformation, frost-resistance.

References

1. Primenenie poristogo (dreniruyushchego) tsementobetonu pri stroitelstve sloev dorozhnoy odezhdyyi. Obzornaya informatsiya. Vyipusk 6/2007. [Elektronniy resurs]. Rezhim dostupu: <https://files.stroyinf.ru/Data1/56/56228/index.htm>
2. Korshunov V.I. Poristyiy tsementobeton dlya dorozhnyih pokryitiy i osnovaniy. Nauchnyie issledovaniya i razrabotki Soyuzdornii: Yubil. vyip.
3. The National Academies of sciences, engineering, medicine. The National Academies Press. Guidance for Used for Permeable Pavement at Airports. 2017 – 90 с. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://www.researchgate.net/publication/319066437_THE_NATIONAL_ACADEMIES_PRESS_Guidance_for_Usage_of_Permeable_Pavement_at_Airports
4. Rahman, M. A., M. Imteaz, A. Arulrajah, M. Disfani, and S. Horpibulsuk. 2015. Engineering and Environmental Assessment of Recycled Construction and Demolition Materials Used with Geotextile for Permeable Pavements. Journal of Environmental Engineering, 141(9), 04015019.
5. Wu Hao, Huang Baoshan, Shu Xiang, Dong Qiao, Shrum Emily, Jared David Mark, Wu Peter. Laboratory Evaluation of Latex-Modified Pervious Concrete. - Journal of Transport. Research Rec. 2010 – 15с. [Електронний ресурс]. Режим доступу <https://www.researchgate.net/publication/258121243>.
6. American Concrete Institute. *Pervious Concrete*. ACI Committee 522, technical committee document 522R-06, 2006.
7. Tennis, P.D., Leming, M.L., and Akers, D.J. Pervious Concrete Pavements. EB302, Portland Cement Association, Skokie, Illinois, and National Ready Mixed Concrete Association, Silver Spring, Maryland, 2004.
8. Montes, F. Pervious Concrete: Characterization of Fundamental Properties and Simulation of Microstructure, Ph.D. Dissertation, University of South Carolina, 2006.
9. DSTU B V.2.7-71 Budivelni materiali. Schebin i graviy Iz schilnih girskih porid I vidhodiv promislovogo virobnitstva dlya budivelnih robit. Metodi flziko-mehanichnih viprobuvan.
10. DSTU B V.2.7-32 Budivelni materiali. Plsok schilniy prirodniy dlya budivelnih materlallv, virobllv, konstruktsly I robllt.
11. DSTU B V.2.7-214 Budivelni materiali. Betoni. Metodi viznachennya mitsnostl za kontrolnimi zrazkami.
12. DSTU B V.2.7-212 Budivelni materiali. Betoni. Metodi viznachennya stiranostl.
13. GOST 3647 Materialyi shlifovalnyie. Klassifikatsiya. Zernistost i zernovoy sostav. Metodyi kontrolya (Materiali shlifovalnl. KlasiflkatsIya. Zernistlst ta zernoviy sklad. Metodi kontrolyu).
14. DSTU B V.2.7-145:2008 Budivelni materiali. Virobi betonnl trotuarnl nearmovanl.
15. DSTU B V.2.7-47 Budivelni materiali. Betoni. Metodi viznachennya morozostiykosti. Zagalni vimogi.