

СКОРОЧЕННЯ ТЕРМІНУ ПОЧАТКУ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЦЕМЕНТОБЕТОННИХ ПОКРИТТІВ SHORTENING THE START-UP PERIOD OF CEMENT CONCRETE PAVEMENT



Толмачов Сергій Миколайович, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, кафедра технології дорожньо-будівельних матеріалів і хімії, доктор технічних наук, професор, Tolmachev.serg@gmail.com, +38(057) 707-37-42,

<https://orcid.org/0000-0003-1011-3861>



Петрович Володимир Васильович, кандидат технічних наук, професор, старший науковий співробітник, професор кафедри транспортного будівництва та управління майном Національного транспортного університету. e-mail: petrovichvv60@ukr.net, тел. +3804428027338, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, к. 138.,

<https://orcid.org/0000-0003-0422-2535>

Анотація. У статті показані експериментальні дослідження бетонів, що містять сучасні суперпластифікатори і цементи, які мають високу міцність в ранні терміни твердіння. У віці 3 діб міцність бетонів відповідає не менш, ніж 70 % від міцності у віці 28 діб, а в віці 7 діб – більше 80 %. Ці залежності швидкості набору міцності бетонами встановлені для бетонів різної легкоукладальності. Показано, що на підставі встановлених залежностей початок експлуатації бетонів на сучасних матеріалах може бути розпочато раніше, ніж вони досягнуть віку 28 діб.

Ключові слова: дорожній цементобетон, міцність, пресований бетон, укочений бетон, твердіння

Стан питання. Фахівцям, що працюють в області дорожнього будівництва і займаються влаштуванням покриттів і основ із цементного бетону відомо, що згідно з нормативними документами різних країн, марочну міцність бетонів визначають у віці 28 діб. Тому прийнято вважати, що відкривати рух по цементобетонному покриттю (або перекривати бетонну основу шаром покриття) можливо тільки через 28 діб. Відповідно, це знайшло відображення в нормативних документах, а також в проектній документації, які діють сьогодні. При створенні проектів виконання робіт (ПВР) і календарного плану, наприклад, початок роботи будівельного потоку щодо влаштування бетонного покриття по бетонній основі зрушено на два-чотири тижні від завершення укладання основи. Це значно подовжує терміни будівництва об'єктів і сприяє формуванню уявлення про те, що будівництво шарів дорожнього одягу із цементобетону – дуже тривала процедура. Насправді ця думка була відносно прийнятною 30...40 років тому. Для виготовлення дорожніх, мостових і аеродромних бетонів в цей період застосовували добавки, які мають низьку пластифікуючу здатність, типу лігносульфонатів технічних (ЛСТ) і їх модифікованих різновидів. Оскільки ці пластифікатори сповільнювали схоплювання і твердіння цементів, то кінетика набору міцності бетонів відповідала емпірично виведеній закономірності: на 3 добу природного твердіння бетон мав 30...40 % від марочної міцності на 3 добу, 50...60 % – на 7 добу, 80...90 % – на 14 або 21 добу. Більш ефективні суперпластифікатори, які з'явилися пізніше, (в тому числі відомий і конкурентоспроможний С-3 і його аналоги) кілька прискорили процеси структуроутворення в бетонах і швидкість набору міцності, однак, не є принциповим: міцність на 3 добу – 40...45 %,

на 7 добу – до 70 % і ті ж 80...90 % – на 14...21 добу природного твердіння. Крім того, такі суперпластифікатори (СП) в 70-х і навіть 80-х роках минулого століття були дефіцитні, а їх витрата і вартість була відчутно вище того ж ЛСТ. Введення повітровтягувальних добавок (ПВД) в бетони транспортного призначення, яке було рекомендовано нормативно-технічною документацією, сприяло деякому уповільненню швидкості твердіння, а найголовніше, – призводило до зниження міцності бетонів. Тому в практиці будівництва покриттів доріг з цементобетонним покриттям, особливо які укладаються за допомогою засобів малої механізації, їх намагалися не застосовувати, в тому числі, через їх дефіцит і високу вартість.

Другим за значимістю фактором, який впливає на кінетику набору міцності бетонів, є якість цементу. У період до 2000 року, коли почалося переоснащення цементних заводів України на сучасне обладнання, на цементних заводах виробляли, в основному, цементи (за сучасною класифікацією) типу ПЦ II/A-III, ПЦ II/B-III, а також ШПЦ III/A, зазвичай марки 400. Чістоклінкерних цементів типу ПЦ I практично не було, також як і цементів марок 500 і 550. А для виготовлення цементобетонних покриттів в Україні застосовують цементи марок 500 і 550. Такі цементи, що містять в своєму складі мелений шлак, зазвичай мали знижену активність і часто не відповідали задекларованій марці. Їх питома поверхня не перевищувала 310...330 м²/кг, а нормальна густина цементного тіста була не вище 26 %. Це обумовлювало уповільнені терміни схоплювання цементного тіста і низьку швидкість твердіння бетонів на основі таких цементів.

Крім того, вимогам стандартів не відповідала якість заповнювачів, особливо крупних, зокрема, за гранулометриєю, за формою зерен і вмістом пилюватих і глинистих частинок [1 – 4]. Дрібний заповнювач (кварцові піски) також були низької якості. І хоча вже в середині 80-х років були опубліковані рекомендації щодо застосування відсіву каменедробіння для виготовлення дорожніх цементних бетонів, з метою поліпшення якості дрібного заповнювача, складені СоюздорНП, відсіву в технології бетону не застосовували [5]. Для цього були й об'єктивні причини, наприклад, те, що цементобетонні заводи, на яких виготовляли бетонні суміші, мали не більше 3-х витратних бункерів, що не дозволяло вводити в суміші крім двох фракцій щебеню і піску ще й відсіву дроблення. Та й якість відсіву була досить низька.

Були й інші причини, що перешкоджають швидкому набору міцності бетонами: погана якість змішувачів (часто використовували гравітаційні змішувачі), порушення, або навіть зневагу, операціями по догляду за твердіючим монолітним бетоном, поганий підбір складів бетону та ін.

Все це було причинами, які часто не дозволяли забезпечити марочну міцність і інші експлуатаційні характеристики бетонів навіть у віці 28 діб. Звідси цілком обгрунтовані рішення про необхідність витримування твердіючого монолітного цементобетону протягом 28 діб, перш, ніж його перекивають шаром покриття (якщо це – основа) або раніше, ніж його почнуть експлуатувати (якщо це – покриття).

Актуальність проблеми. Сьогодні для будівництва та ремонту цементобетонних покриттів і основ в Україні ми маємо сучасні хімічні і мінеральні добавки нового покоління, а також спеціальні ремонтні суміші, в яких вже закладені необхідні комплекси добавок [6 – 8]. В першу чергу, – це суперпластифікатори на основі карбоксилатів і акрилатів, що забезпечують зменшення кількості води замішування на 30...40 % (звичайні суперпластифікатори дозволяють знизити витрату води на 20...25 %) дозволяють здійснювати бетонування в широкому інтервалі температур за рахунок поліфункціональності свого складу.

Сучасні цементні заводи України випускають цементи нормованого мінерального складу, з регульованою тонкістю помелу і термінами тужавлення, які, в більшості своїй, ідеально підходять для виготовлення монолітних цементобетонних покриттів. Значно зросла активність цементів ПЦ II/A-III, ПЦ II/B-III марки 400 (вона досягає 42...45 МПа). З'явилося досить багато цементів ПЦ I активністю 52...55 МПа і питомою поверхнею 370...430 м²/кг. Висока якість цих цементів дозволила забезпечити початок строку тужавлення цементного тіста не раніше 2 годин, а кінець – 4 і більше години, що дає можливість виконати всі технологічні операції з виготовлення, транспортування, укладання і ущільнення бетонної суміші до моменту тужавлення. У ці цементи при помелі можуть вводити мінеральні та хімічні добавки, які сприяють зміні різних властивостей в'язучих.

Каменедробильні підприємства України на високоякісному обладнанні виробляють в більшості своїй щебень кубовидної або поліпшеної форми зерен, в якому практично відсутні пилюваті частинки. Піски для бетонів застосовують, в основному, кварцові, з рівномірною гранулометриєю і модулем крупності не нижче 1,7. Поява в Україні ЦБЗ з 4 витратними бункерами дозволяє широко застосовувати відсіву каменедробіння для збагачення дрібних і дуже дрібних кварцових пісків.

Сучасні методи підбору складу бетонів дозволяють створити бетони з високою щільністю, які з урахуванням застосовуваних добавок і високої якості заповнювачів, забезпечують високу швидкість набору міцності без виникнення в бетоні внутрішніх напружень. Тому актуальним є перегляд підходу до цементного бетону, як до матеріалу, експлуатацію якого можна починати не раніше 28 діб.

Матеріали, що застосовували у роботі. У дослідженнях застосовували матеріали: цемент ПЦ І-500 Н Балаклеєвського цементного заводу, щебінь фр. 5-10 мм кар'єрів Полтавської обл., пісок кварцовий з $M_{кр} = 1,7$, Кременчуцький, порт Новопавлівськ. Пластифікуючі добавки фірми MS-Vauchemie: полікарбоксилат Fk59, меламінформальдегід Fk88, модифікований лігносульфонат Centrament N9.

Експериментальні дослідження. Для дослідження кінетики набору міцності бетонів в лабораторії формували зразки з бетону складу: Ц - 350 кг/м³, П - 600 кг/м³, Щ₅₋₁₀ - 1300 кг/м³. Випробування зразків проводили на 3, 7, 28 добу природного твердіння (табл. 1, 2).

Таблиця 1 – Кінетика набору міцності зразків бетонів розміром 7x7x7 см
 Table 1 – Kinetics of concrete samples measuring 7x7x7 cm strength gain

Вид та кількість добавки	В/Ц	ОК, см	Міцність при стиску у віці, діб., R _{ст} , МПа		
			3	7	28
без добавки	0,46	2,0	20,7	30,2	36,5
Fk59 – 0,6 % від m _ц	0,37	2,5	34,0	46,1	55,4
Fk88 – 0,7 % від m _ц	0,40	2,0	30,0	40,2	50,1
Centrament N9 – 0,5 % від m _ц	0,42	1,5	27,5	37,1	44,8

Таблиця 2 – Кінетика набору міцності зразків бетонів розміром 4x4x16 см
 Table 2 – Kinetics of concrete samples size 4x4x16 cm strength gain

Вид та кількість добавки	Міцність при згині у віці, діб., R _{зг} , МПа			Міцність при стиску у віці, діб., R _{ст} , МПа		
	3	7	28	3	7	28
без добавки	4,2	5,3	6,8	21,5	28,9	37,9
Fk59 – 0,6 % від m _ц	7,1	8,4	9,8	36,2	50,1	55,8
Fk88 – 0,7 % від m _ц	6,5	7,3	8,7	32,0	45,3	52,1
Centrament N9 – 0,5 % від m _ц	6,0	7,3	8,4	26,9	38,6	46,4

Аналіз даних таблиць показує, що бетони з суперпластифікаторами на основі полікарбоксилатів і меламінформальдегідних з'єднань вже на 3 добу твердіння мають міцність при стиску від 60 % (табл. 1) до 65 % (табл. 2) від марочної. Трохи нижче результати для бетонів з добавкою лігносульфонатів (58...61 % від марки). Абсолютні значення міцності при стиску бетонів з суперпластифікаторами Fk59 і Fk88 перевищують 30 МПа. Незначно нижче міцність у бетонів з добавкою лігносульфонату Centrament N9. До 7 діб твердіння міцність при стиску всіх бетонів перевищує 80 % від марочної і наближається до 90 %. Це означає, що бетони з суперпластифікаторами можна експлуатувати, практично, вже на 7 добу.

Ще більш високі показники міцності бетонів на розтяг при згині (табл. 2). На 3 добу міцність бетонів з суперпластифікаторами становить 72...75 % від марочної, а на 7 добу досягає 87 % від марки. Згідно з діючими в Україні стандартами, на плити покриттів, тротуарну плитку та ін., бетонні вироби для транспортного будівництва, вироби можна експлуатувати при досягненні ними міцності не менше ніж 70 % від марочної. Лабораторний експеримент показав, що бетони на цих матеріалах можуть експлуатуватися через 3...7 діб твердіння.

У подальших дослідженнях застосовували цементи інших заводів України: У дослідженнях використовували цементи наступних типів та виробників: цемент ПЦ І-500-Н (СЕМ І 52,5N) виробництва «Волинь-Цемент» Філії ПАТ «Дікергофф Цемент Україна»; а також цемент ПЦ ІІ/А-ІІІ-500 (СЕМ ІІ/А-S 42,5N) виробництва «Волинь-Цемент» Філії ПАТ «Дікергофф Цемент Україна». Ці цементи мали велику тонкість помелу, тому їх нормальна густина становила 31 % без добавок і 27...28 % з суперпластифікаторами. Питома поверхня цих цементів була 360...410 м²/кг, що вище, ніж у цементу Балаклеєвського заводу (330...350 м²/кг). Заповнювачі і хімічні добавки залишалися тим же, що і в разі цементу

Балаклеєвського заводу. Змінювали склад бетону, збільшуючи максимальну крупність зерен заповнювача: цемент - 350 кг/м³, пісок - 620 кг/м³, щебінь фр.5-10 мм - 660 кг/м³, щебінь фр.10-20 мм - 660 кг/м³. Результати досліджень представлені в табл. 3, 4.

Проведені дослідження показали, що при використанні цементів компанії Дікергофф Цемент Україна вже на 3 добу природного твердіння бетони навіть без добавок суперпластифікаторів мають міцність більше 30 МПа, що становить 76...78 % від марочної міцності. Введення суперпластифікаторів дозволяє трохи знизити швидкість набору міцності – до 63...68 % від марки для бетонів на цементі ПЦ I-500-Н (СЕМ I 52,5N) і до 70 % від марки для бетонів на цементі ПЦ II/A-III- 500 (СЕМ II/AS 42,5N). До 7 діб твердіння бетони без добавок мають міцність 89...91 % від марочної міцності, а бетони з добавками – дещо менші показники 77...82 % від марки. Дещо менші показники міцності щодо марочної у бетонів з суперпластифікаторами в порівнянні з бетонами без добавок можна пояснити більш упорядкованою структурою в першому випадку. А більш низькі міцнісні властивості бетонів на цементі ПЦ II/A-III-500 пояснюються гіршою сумісністю цих суперпластифікаторів з цим цементом в порівнянні з цементом ПЦ I-500-Н.

Таблиця 3 – Кінетика набору міцності бетонів на цементі ПЦ I-500-Н

Table 3 – Kinetics of concrete on cement ПЦ I-500-Н strength gain

Вид добавки	Міцність при стиску у віці, діб., R _{ст} , МПа		
	3	7	28
без добавки	33,6	40,2	44,0
полікарбоксилати	45,9	55,6	67,5
лігносульфонати	39,0	47,4	59,0
меламінформальдегіди	41,6	52,4	66,4

Таблиця 4 – Кінетика набору міцності бетонів на цементі ПЦ II/A-III-500

Table 4 – Kinetics of concrete on cement ПЦ II/A-III-500 strength gain

Вид добавки	Міцність при стиску у віці, діб., R _{ст} , МПа		
	3	7	28
без добавки	32,1	36,9	41,3
полікарбоксилати	40,9	48,4	58,7
лігносульфонати	34,7	39,3	49,1
меламінформальдегіди	36,9	41,0	53,4

Протягом останніх 15 років на кафедрі ТДБМіХ ХНАДУ (ХАДІ) в рамках договорів про науково-технічне супроводження різних об'єктів будівництва були виконані натурні дослідження кінетики набору міцності бетонами на зразках, випиляних із покриття автомобільних доріг (Київ-Ковель, Харків-Красноград) і аеродромів (в м.м. Харків, Львів, Одеса). Отримані на практиці результати показали, що швидкість набору міцності бетонами на сучасних цементах і з сучасними суперпластифікаторами не залежить від витрати цементу, який варіювався в межах 380...420 кг/м³, і не залежить від заводу-виробника цементу. Міцність бетонів з добавками меламінформальдегідних або полікарбоксилатних суперпластифікаторів досягає 30...40 МПа (65...70 % від марочної міцності) до 3 діб і 40...46 МПа (83...88 % від марки) до 7 діб тверднення при температурі + 20...30 °С. При цьому забезпечені і навіть перевищені проектні показники за морозостійкістю і водопоглинанням або водонепроникністю цих бетонів.

Як приклад можна навести ситуацію в Харківському аеропорту. При підготовці до ЄВРО 2012 остання ділянка рульової доріжки – віраж був укладений за 9 днів до посадки літака Боїнг 737. Коли постало питання про можливість пропуску літака по цій ділянці РД, то були проведені вимірювання міцності бетону РД неруйнівним методом, а також міцності лабораторних зразків виготовлених з того ж бетону. В результаті були отримані однакові результати міцності при стиску – 36,5 МПа, що становило 91 % від марочної міцності бетону.

Що стосується ремонту бетону покриттів. У деяких склалася помилкова думка щодо складності ремонту покриттів, а також про те, що ремонт роблять тривалий час, він неефективний, руйнування бетону триває. Найчастіше про це говорять люди, які безпосередньо не будували і не ремонтували бе-

тонні покриття. Звичайно, ремонт буде неефективний, якщо новий бетон укладають на зруйновану основу. Що можна «приклеїти» до пухкої, зруйнованої, тріщинуватої поверхні? Суттєво, і ремонтний шар буде швидко зруйнований, а деструкція бетону піде глибше. Крім того, більшість ремонтних складів, через їх здатність швидко набирати міцність, мають значно більший модуль пружності і значно нижчу деформативність, в порівнянні з бетоном, що ремонтується. Це призводить до того, що ремонтний склад працює сам по собі, а бетон, що ремонтується – сам по собі. В результаті ремонтний шар відшаровується від ремонтного покриття. Але за кордоном бетонні покриття ремонтують багато десятиліть з незмінним успіхом. Це можна пояснити правильним вибором ремонтного складу і технології ремонту. У кожному конкретному випадку необхідно вибирати свій склад, в залежності від товщини ремонтного шару, що укладається, і технології його нанесення. Найкращі результати дає технологія, відповідно до якої, вирізають зруйнований шар бетону до щільного, не зруйнованого шару (звичай не менше 5...6 см, а краще – більше), після цього наносять адгезійне покриття і потім укладають ремонтний склад. За кордоном такі ремонтні ділянки запускають в експлуатацію через 6 і більше годин. Але за цей час бетон встигає набрати міцність 25...30 МПа, яка вважається достатньою для відкриття руху. Це стосується як покриттів автодоріг, так і аеродромів.

Що стосується жорстких, укочених бетонів, зокрема бетонів основи, то можна відзначити, що ці бетони набирають міцність значно швидше, ніж ті, що ущільнюються вібрацією. Вперше дослідні ділянки з таких бетонів (саме бетонів, а не сумішей, укріплених в'язучим) влаштовували в ряді областей України, в тому числі і в Київській, починаючи з середини 80-х років минулого століття. Цю роботу проводили за завданням Міністерства дорожнього будівництва України спільно ХАДІ і ДерждорНДІ. Великий досвід будівництва основ і покриттів перехідного типу з жорстких бетонних сумішей, що ущільнюються укочуванням, накопичений на кафедрі ТДБМіХ ХНАДУ. Ці покриття і основи, були укладені в період з 1986 по 1995 р.р. в різних регіонах України, в тому числі в Кримській, Кіровоградській, Харківській, Житомирській областях. Далі дослідження були продовжені при влаштуванні основи із пісного бетону при реконструкції аеропортів в м. Харкові, Львові, Одесі в 2008...2012 р.р. Для контролю міцності таких бетонів з покриттів і основ відбирали керни, які випробували в лабораторії кафедри ТДБМіХ. Паралельно з бетонів цих же складів в лабораторії виготовляли зразки, які ущільнювали пресуванням і також піддавали випробуванням (табл. 5). У складах бетону змінювали витрата цементу ПЦ ІІ/А-ІІІ-500 і тиск пресування.

Таблиця 5 – Міцність пресованих бетонів
 Table 5 – Strength of pressed concrete

№ складу	Тиск пресування, МПа	Витрати цементу, кг/м ³	Міцність у віці, діб., R _{сг} , кг/см ²	
			7	28
1	30 МПа	120	49,6	68,1
2		160	74,5	100,5
3		200	90,7	126,0
1	45 МПа	120	63,7	82,4
2		160	95,0	113,7
3		200	98,1	149,7
1	60 МПа	120	64,5	93,8
2		160	93,7	120,6
3		200	126,4	165,0

Аналіз результатів в табл. 5 показує, що до 7 діб твердіння бетони, ущільнені пресуванням набирають 72...78 % від марочної міцності. Цей рівень міцності не залежить від тиску пресування і витрати цементу, що свідчить про те, що, при значно меншій витраті води в жорстких бетонних сумішах в порівнянні з рухомими, додаток тиску призводить до швидкого зростання міцності бетонів.

Для таких бетонів розроблені спеціальні хімічні добавки. В даному випадку, для поліпшення властивостей пресованих бетонів, були використані добавки Murasan BWA 14 і Techniflow 12 (табл. 6). При виготовленні зразків застосовували цемент зі зниженою маркою типу ПЦ ІІ/А-ІІІ-400 виробництва «Волинь-Цемент» Філії ПАТ «Дікергофф Цемент Україна». Витрати цементу були знижені до 120 кг/м³. Для виготовлення зразків були прийняті реальні склади, які укладали в основу дорожнього одягу для подальшого перекриття шарами асфальтобетонного покриття.

Аналіз табл. 6 показує, що, незалежно від наявності добавок в складі пісного пресованого бетону, його міцність до 7 діб становить 89...93 % від марочної міцності. Введення зазначених добавок

дозволяє збільшити міцність таких бетонів на 6...12 %, і підвищити їх щільність на 4 %, що позитивно позначається на експлуатаційних властивостях таких бетонів.

Таблиця 6 – Вплив добавок Murasan BWA 14 і Techniflow 12 на властивості пресованих пісних бетонів

Table 6 – The influence of additives Murasan BWA 14 and Techniflow 12 on the properties of pressed lean concrete

№ з/п	Вид та кількість добавки, % від $m_{ц}$	Щільність, ρ кг/м ³	Міцність у віці, діб., R_{ct} , кг/см ²	
			7	28
1	Без добавок	2145	56,8	60,8
2	Murasan BWA 14 – 0,3 % від $m_{ц}$	2225	62,3	68,3
3	Murasan BWA 14 – 0,6 % від $m_{ц}$	2207	60,1	65,2
4	Techniflow 12 – 0,3 % від $m_{ц}$	2232	59,4	64,8
5	Techniflow 12 – 0,6 % від $m_{ц}$	2233	55,6	62,5

Проведені паралельно натурні дослідження кернів (табл. 7), які були випиляні із бетону основи автомобільної дороги, виготовленого на цементі ПЦ ІІ/А-ІІІ-500 (при його витраті 120 кг/м³) показали, що при марочній міцності бетону на рівні 9...10 МПа фактична міцність бетонів у віці 3 діб досягає 80 % від марки, у віці 7 діб – 88 %.

Таблиця 7 – Властивості укочених бетонів

Table 7 – Properties of hardened concrete

№ складу	Щільність, ρ кг/м ³	Міцність у віці, діб., R_{ct} , кг/см ²		
		3	7	28
1	2365	71,97	78,98	90,77
2	2375	80,71	86,01	97,74

Особливо важливим є те, що фактична щільність бетонних зразків відповідає розрахунковій щільності складу.

Висновки.

1. Показано, що застосування сучасних суперпластифікаторів і цементів вітчизняного виробництва дозволяє забезпечити властивості міцності бетонів на рівні 70...75 % від марочної міцності у віці 3 діб і до 80...90 % у віці 7 діб.

2. Встановлено, що дані, отримані при випробуванні лабораторних зразків, підтверджуються прямими випробуваннями зразків, випиляних із бетонних покриттів або основ.

3. Вищевикладене дозволяє сказати, що експлуатувати покриття або основу з бетону на сучасних матеріалах можливо вже через 7 діб природного твердіння.

Перелік посилань

1. Виноградов Б. Н. Влияние заполнителей на свойства бетона. М.: Стройиздат, 1979. 224 с.
2. Гордон С. С. Структура и свойства тяжелых бетонов на различных заполнителях. М.: Стройиздат, 1969. 151 с.
3. Ицкович С. М. Заполнители для бетона. Минск: Высш. школа, 1983. 214 с.
4. Влияние поверхностных налетов и пленок на зернах песка на прочность растворов и бетонов. О. И. Крымов, П. А. Мельниченко, А. Г. Ольгинский и др.; *Тр. ХИИТ*. 1965. Вып. 73. С. 25–30.
5. Шейнин А. М. Исследование свойств и технологии мелкозернистого цементного бетона для строительства автомобильных дорог: автореф. дисс. ... канд. техн. наук: 05.23.05 / СоюздорНИИ. Москва, 1970. 21 с.
6. Nakanishi H., Tamaki S., Yaguchi et al. Performance of a Multifunctional and Multipurpose Superplasticizer for Concrete. *Seventh CANMET/ACI Intern. Conf. on Superplasticizers and Other Chemical Admixtures in Concrete*: ed. by V. M. Malhotra. ACI SP 217, 20-24 October 2003: Proc. Berlin (Germany), 2003. P. 327–342.
7. Изотов В. С., Ибрагимов Р. А. Новые комплексные добавки на основе эфиров поликарбоксилата. *Технологии бетонов*. 2012. № 3–4. С. 34–35.

8. Фаликман В. Р. Новые эффективные высокофункциональные бетоны. *Бетон и железобетон*. 2011. Вып. 1. С. 48–54.

SHORTENING THE START-UP PERIOD OF CEMENT CONCRETE PAVEMENT

Tolmachov Serhii Mykolaiovich, Kharkov national automobile and highway University, Department of the Technology of Road Building Material and Chemistry, doctor of science (engineering), professor, +38(057) 707-37-42, <https://orcid.org/0000-0003-1011-3861>

Petrovich V.V., Candidate of Technical Sciences, Professor, Senior Researcher, Professor of the Transportation Construction and Property Management Department, National Transport University. e-mail: petrovichvv60@ukr.net, tel. +3804428027338, Ukraine, 01010, Kyiv, street M. Omelyanovicha-Pavlenka, 1, room 138., <https://orcid.org/0000-0003-0422-2535>

Abstract. The article shows experimental studies of concrete containing modern superplasticizers and cements, which have high strength in the early stages of hardening. At the age of 3 days, the strength of concrete corresponds to no less than 70% of the strength at the age of 28 days, and at the age of 7 days - more than 80%. These dependences of the rate of hardening with concrete are set for concrete mixtures of different workability. It is shown that, based on the established dependences, the start of concrete operation on modern materials can be started earlier than they reach the age of 28 days.

Keywords: road cement concrete, strength, pressed concrete, rolled concrete, hardening

References

1. Vinogradov B. N. Vliyanie zapolnitelej na svojstva betona. M.: Strojizdat, 1979. 224 s.
2. Gordon S. S. Struktura i svojstva tyazhelyh betonov na razlichnyh zapolnitelyah. M.: Strojizdat, 1969. 151 s.
3. Ickovich S. M. Zapolniteli dlya betona. Minsk: Vyssh. shkola, 1983. 214 s.
4. Vliyanie poverhnostnyh naletov i plenok na zernah peska na prochnost rastvorov i betonov / [O. I. Krymov, P. A. Melnichenko, A. G. Olginskij i dr.]; Tr. HIIT. 1965. Vyp. 73. S. 25–30.
5. Shejnin A. M. Issledovanie svojstv i tehnologii melkozernistogo cementnogo betona dlya stroitelstva avtomobilnyh dorog: avtoref. diss. ... kand. tehn. nauk: 05.23.05 / SoyuzdorNII. Moskva, 1970. 21 s.
6. Nakanishi H., Tamaki S., Yaguchi et al. Performance of a Multifunctional and Multipurpose Superplasticizer for Concrete. *Seventh CANMET/ACI Intern. Conf. on Superplasticizers and Other Chemical Admixtures in Concrete*: ed. by V. M. Malhotra. ACI SP 217, 20-24 October 2003: Proc. Berlin (Germany), 2003. P. 327–342.
7. Izotov V. S., Ibragimov R. A. Novye kompleksnye dobavki na osnove efirov polikarboksilata. *Tehnologii betonov*. 2012. № 3–4. S. 34–35.
8. Falikman V. R. Novye effektivnye vysokofunkcionalnye betony. *Beton i zhelezobeton*. 2011. Vyp. 1. S. 48–54.