

Т. А. Мазурак, У. Д. Марущак, Ю. В. Олевич, Х. Р. Граб'юк, Г. С. Іващшин,
Національний університет "Львівська політехніка",
кафедра будівельного виробництва

ВПЛИВ ДОБАВОК ПЛАСТИФІКУВАЛЬНО-ПРИСКОРЮВАЛЬНОЇ ДІЇ НА СТРУКТУРОУТВОРЕННЯ ТА МІЦНІСТЬ БЕТОНІВ

© Мазурак Т. А., Марущак У. Д., Олевич Ю. В., Граб'юк Х. Р., Іващшин Г. С., 2015

Показано, що одним з шляхів реалізації принципів енергоефективного будівництва є впровадження технології незнімної опалубки (Quad-Lock та "Техноблок") з використанням монолітного бетону, що характеризується високою термічною масою і забезпечує теплову стабільність приміщень, призводить до зменшення кількості енергії на опалення й охолодження, мінімізації емісії парникових газів. Розвиток та ремонт дорожньої інфраструктури України потребують застосування швидкотвердних та довговічних композицій. Встановлено, що для якісного вкладання бетонної суміші в опалубку, забезпечення необхідних темпів будівництва та одержання щільної структури дорожнього матеріалу з високим ступенем надійності та довговічності необхідно використовувати бетони, модифіковані комплексними модифікаторами пластифікувально-прискорювальної дії. Досліджено вплив технологічних факторів та пластифікаторів на лігносульфонатній, сульфонафталінформальдегідній, полікарбоксилатній основі на реологічні та міцнісні показники дрібнозернистих бетонів. Виявлено, що введення лігносульфонатних та сульфонафталінформальдегідних пластифікаторів спричиняє зниження міцності бетонів за підвищеної рухливості сумішей та потребує використання комплексних модифікаторів. Показано, що за рахунок синергічної дії комплексних модифікаторів на основі полікарбоксилатів та прискорювачів тверднення досягається суттєвий пластифікуючий ефект та приріст ранньої міцності дрібнозернистих бетонів.

Ключові слова: пластифікатор, прискорювач, комплексний модифікатор, дрібнозернистий бетон, рухливість, міцність, енергоефективне будівництво, дорожнє будівництво, незнімна опалубка.

The article shows that one of the ways of realization of energy efficient building principles is the introduction of the technology of permanent formwork using monolithic concrete (technologies Quad-Lock and "Tehnoblok"). The use of concretes with high thermal mass provides thermal stability of the premises, decreases the amount of energy for heating and cooling, reduces the emission of greenhouse gases. Development of Ukrainian road infrastructure and its repair are required the use of rapid-hardening and durability materials. It is established that for quality installation concrete mix into the formwork, providing of short construction period and obtaining dense structure of road material with high reliability and durability it is necessary to use concrete, which is modified by complex modifiers of plasticizing and accelerating action. The influence of plasticizers, which based on lignosulphonate, sulphonated naftalene-formaldehyde, polycarboxylate, on rheological parameters and strength of concretes is investigated. The addition of lignosulphonate, sulphonated naftalene-formaldehyde plasticizers causes a decrease of early strength of fine-grained concretes when the flowability of mixtures is higher and requires the use of complex modifiers. It is shown that significant plasticizing effect and increasing of concrete strength are achieved by using of complex modifiers based on polycarboxylates and accelerators.

Key words: plasticizer, accelerator, complex modifier, fine-grained concrete, flowability, strength, energy efficient building, road building, permanent formwork.

Вступ

Бетон широко використовується у будівництві, що зумовлено його універсальними конструкційними та фізичними властивостями, які забезпечують високу міцність, вогнестійкість, звукоізоляцію, здатність протистояти зовнішнім впливам та довговічність зведених будівель і споруд різних типів. Характеризуючись, крім цього, високою термічною масою, бетони представляють значний інтерес під час спорудження зовнішніх огорожувальних конструкцій житлових і громадських будинків, що дає змогу реалізувати принципи енергоефективного та екологічного будівництва. Іншим перспективним напрямком впровадження важких бетонів є розвиток та ремонт дорожньої інфраструктури, що забезпечить швидкість, безпеку та комфорт руху при зростаючих транспортних навантаженнях.

Постановка проблеми

Одним з ефективних інноваційних рішень застосування важких бетонів для проектування та спорудження енергоефективних будинків є використання незнімної опалубки – технології Quad-Lock та “Техноблок”. Модульна облицювальна опалубка (“Техноблок”) або опалубка-утеплювач (Quad-Lock) встановлюються рядами, утворюючи єдину опалубну систему для стін будинку, внутрішній простір якої заповнюється бетоном. Розвиток дорожньої інфраструктури, що передбачає будівництво сучасних автомагістралей з високими транспортно-експлуатаційними характеристиками та швидкий ремонт транспортної мережі, потребує використання швидкотвердних дорожніх бетонів, які задовольняють вимоги, пов’язані з складними умовами експлуатації. Такі бетони для дорожніх та монолітних технологій повинні характеризуватися високою рухливістю бетонної суміші для якісного її вкладання та швидким набором міцності для забезпечення необхідних темпів будівництва в різних температурних умовах, що потребує необхідності використання комплексних модифікаторів пластифікувально-прискорювальної дії.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Світові тенденції житлового будівництва, спрямовані на реалізацію принципів зрівноваженого розвитку, а також постійне зростання цін на енергоносії потребують створення проектів енергоощадних будинків. Прийняття директиви 2002/91/WE EPBD (*Energy Performance of Buildings Directive*) та зміни в Директиві 2010/31/EU, що стосуються енергетичної характеристики будинків і зумовлює зведення з 2021 року на територіях Європейського Союзу будинків тільки з дуже низькою потребою в енергії, в яких частково буде використано відновлювальні джерела енергії [1, 2]. У цьому плані особливо важливим для спорудження несучих конструкцій енергоефективних будинків є використання важкого бетону, який характеризується високою термічною масою, що забезпечує теплову стабільність приміщень, оптимізацію надходження сонячної енергії та призводить до зменшення кількості енергії на опалення й охолодження, створення комфортних умов приміщень, зниження коштів експлуатації будинку та емісії парникових газів [3, 4].

Під час спорудження енергоефективних будинків з використанням важкого бетону широко впроваджуються технології з застосуванням незнімної опалубки, зокрема Quad-Lock та “Техноблок” [5, 6]. Незнімна опалубка, виготовлена з теплоізоляційних матеріалів, утворює єдину опалубну систему для стін будинку і заповнюється бетоном. До переваг таких систем зараховують високі теплостійкість, теплотехнічні та звукоізоляційні показники огорожувальних конструкцій, що реалізує концепцію пасивного обігріву й охолодження, відсутність теплопровідних включень, простоту технологічного процесу зведення конструктивних елементів будинку, економію коштів на спорудження фундаментів, можливість індивідуального підбору товщини опалубки-утеплювача та проведення будівельних робіт протягом року [6].

Впровадження у будівництво систем незнімної опалубки зумовлює виникнення низки завдань у технології бетону, що пов’язано із забезпеченням високої технологічності бетонних сумішей, інтенсивним темпам набору ранньої міцності бетону, розширенням можливостей проведення бетонування протягом року, підвищенням довговічності бетону в конструкціях [7–9]. Технологія монолітного бетонування потребує також нового підходу до створення структури цементної матриці, основою якого є регулювання процесу структуроутворення і полягає у якнайповнішому

використанні в'язучих властивостей портландцементу з метою забезпечення високих експлуатаційних характеристик будівельних конструкцій з бетонних сумішей підвищеної рухливості та призводить до необхідності модифікування їхніх властивостей хімічними добавками. Останнім часом зростанню ефективності вирішення технологічних проблем монолітного бетонування значною мірою сприяє розроблення і впровадження групи модифікаторів – суперпластифікаторів нової генерації, ультрадисперсних наповнювачів, багатофункціональних добавок [10, 11].

Високий рівень експлуатаційних характеристик дорожніх бетонів, що піддаються багатоповторюваним силовим, вологісно-температурним та корозійним впливам, забезпечується за рахунок оптимізації структури конструктивного матеріалу з метою усунення дефектів та неоднорідностей у результаті недосконалості технологічного процесу і досягається застосуванням комплексних модифікаторів [7, 11].

Ефективними модифікаторами цементних систем є добавки пластифікувальної групи на основі високомолекулярних поверхнево-активних речовин (лігносульфонати, сульфонафталінформальдегіди, полікарбоксилати, поліакрилати), які дають змогу зменшити кількість води замішування на 10–30 % у разі збереження заданої рухливості [10]. Механізм дії цих добавок зумовлений адсорбційним модифікуванням поверхні портландцементу за рахунок створення мономолекулярного шару на його частинках, що забезпечує стабілізацію мікрогетерогенної системи під час реалізації адсорбційно-сольватного, електростатичного, структурно-механічного факторів. Водночас за підвищеної рухливості може знижуватись рання міцність цементних систем, модифікованих добавками-пластифікаторами [7].

Хімічна активація тверднення портландцементних систем полягає у використанні добавок-електролітів, які діють на в'язуче на молекулярному рівні та впливають на виникнення зародків або на швидкість росту кристалів [8]. Добавки-прискорювачі реагують з в'язучим з утворенням малорозчинних сполук. У результаті реакції обміну виділяється кальцію гідроксид у розчин і підвищується розчинність силікатних складових портландцементу. Одночасно прискорюється коагуляція колоїдного розчину, за якої зерна цементу і гідратних новоутворень зближуються за рахунок чого розподіл пор за розміром зміщується в область більшої дисперсності. Водночас, традиційні добавки-прискорювачі можуть негативно впливати як на бетони, так і арматуру, що знижує їх експлуатаційні та будівельно-технічні властивості [8–10].

З урахуванням колоїдно-хімічних явищ синергізму та компатибельності в цементних системах для інтенсифікування тверднення бетонів за високої рухливості доцільно використовувати комплексні модифікатори на основі пластифікаторів та прискорювачів тверднення [11]. Особливі властивості комплексних добавок дають змогу регулювати швидкість тверднення й одночасно змінювати рухливість, однорідність, структуру цементної матриці бетону та його експлуатаційні характеристики. Одержаний ефект обумовлений формуванням однорідної субмікропористої структури з максимально рівномірним розподілом у її об'ємі аморфної та кристалічної фаз гідратних новоутворень.

Мета роботи – дослідження впливу добавок пластифікувально-прискорювальної дії на реологічні та фізико-механічні властивості дрібнозернистих бетонів.

Матеріали та методи досліджень

Для приготування дрібнозернистих бетонів використовували портландцементи загальнобудівельного призначення ПЦ-ІІ/А-ІІІ-500ПАТ “Волиньцемент” та ПАТ “Івано-Франківськцемент”. Як дрібні заповнювачі до бетону використовували кварцові піски Ясинецького ($M_{кр} = 1,39$) та Жовківського родовищ Львівської області ($M_{кр} = 2,23$). Для підвищення ефективності та забезпечення покращених властивостей дрібнозернистих бетонів як хімічні модифікатори використовували добавки на основі полікарбоксилатів (AGE 430, GLENIUM 115), меланінформальдегідів (FM–20), сульфонафталінформальдегідів (SM–21), лігносульфонатів (SL-4), а також комплексні модифікатори пластифікувально-прискорювальної дії торгової марки Centrament Rapid 670 та Technoson P. Для приготування комплексних добавок на основі полікарбоксилатів AGE 430, GLENIUM 115 застосовували прискорювачі тверднення – неорганічні луговмісні солі Na_2SO_4 та $Na_2S_2O_3$.

Результати досліджень

Формування структури бетону і створення матеріалу необхідними властивостями визначається насамперед технологічними факторами – кількістю та якістю заповнювачів, марки та кількості портландцементу, кількості введеної води, наявності добавок. У роботі досліджували вплив дрібного заповнювача, що характеризується різним модулем крупності, на ранню міцність дрібнозернистих бетонів (Ц:П = 1:2) на основі ПЦ-П/А-Ш-500 ПАТ “Волиньцемент” та ПАТ “Івано-Франківськцемент” (табл. 1). Водоцементне відношення дрібнозернистого бетону з використанням піску Ясинецького родовища, що належить до групи дуже дрібних, збільшується на 18–25 % порівняно з бетоном, дрібний заповнювач якого – пісок Жовківського родовища.

Використання дрібного піску Ясинецького родовища потребує підвищеної водопотреби для одержання рівнорухливих бетонних сумішей та спричиняє зниження міцності дрібнозернистого бетону у всі терміни тверднення порівняно з бетоном на основі Жовківського піску. Так, рання міцність бетону на основі ПЦ-П/А-Ш-500 ПАТ “Волиньцемент” з використанням як дрібного заповнювача Ясинецького піску знижується у 3,5 рази порівняно з бетонами на Жовківському піску, а на основі ПЦ-П/А-Ш-500 ПАТ “Івано-Франківськцемент” – у 2,5 разу. Через 28 днів тверднення спостерігається зниження міцності бетону на Ясинецькому піску в 1,7–1,8 разу порівняно з бетоном на Жовківському піску.

Результати випробувань міцності показали, що дрібнозернистий бетон на основі ПЦ-П/А-Ш-500 ПАТ “Волиньцемент” характеризується більшою швидкістю набору міцності порівняно із дрібнозернистим бетоном на основі портландцементу ПЦ-П/А-Ш-500 ПАТ “Івано-Франківськцемент”. Так, міцність бетону на основі портландцементу ПАТ “Волиньцемент” через 2 доби тверднення становить 39,3 % від марочної, а через 7 днів – 81,8 %, тоді як під час використання портландцементу ПАТ “Івано-Франківськцемент” – 21,4 % і 78,2 % марочної міцності через 2 та 7 днів відповідно. З метою одержання максимальної ранньої міцності для подальших досліджень використано портландцемент ПЦ-П/А-Ш-500 ПАТ “Волиньцемент” та пісок Жовківського родовища.

Таблиця 1

Вплив технологічних факторів на міцність дрібнозернистого бетону

Портландцемент	M _{кр} піску	В/Ц	РК, мм	Міцність на стиск, МПа, у віці, днів		
				2	7	28
ПЦ-П/А-Ш-500 ПАТ “Волиньцемент”	2,23	0,32	113	25,9	53,9	65,9
ПЦ-П/А-Ш-500 ПАТ “Івано-Франківськцемент”	1,39	0,38	111	7,3	28,9	36,3
ПЦ-П/А-Ш-500 ПАТ “Івано-Франківськцемент”	2,23	0,32	110	13,4	49,1	62,8
ПЦ-П/А-Ш-500 ПАТ “Івано-Франківськцемент”	1,39	0,40	110	5,4	24,4	37,6

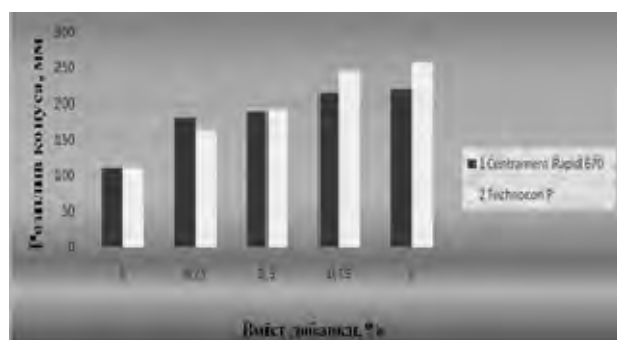
Покращення ефективності будівельних робіт за монолітного бетонування досягається за рахунок підвищення вимог до технологічних характеристик бетонної суміші, зокрема високої рухливості із збереженням її на нормованому рівні протягом певного періоду та відсутності седиментаційних процесів, які зумовлюють водо- та розчинувідділення. Ефективним методом підвищення рухливості є модифікування цементних систем поверхнево-активними речовинами, за якого забезпечується високий дезагрегувальний ефект за рахунок адсорбції молекул ПАР та їх визначеного орієнтування. Під час дослідження впливу пластифікаторів різних груп у кількості 0,7 мас.% на реологічні властивості дрібнозернистого бетону показано, що найнижчим пластифікувальним ефектом характеризується добавка SL-4 на основі лігносульфонатів ΔРК = 20 % та добавка SM-21 сульфонафталінформальдегідного типу з ΔРК = 21,7 % (табл. 2). Під час введення 0,7 мас.% добавки FM-20 на меланінформальдегідній основі досягається розплив конуса дрібнозернистого бетону 155 мм з одержанням пластифікувального ефекту 34,8 %. Найефективнішими пластифікаторами цементних систем є добавки на основі поверхнево-активних речовин полікарбосилатного типу AGE 430 і GLENIUM 115, механізм дії яких визначається електростатичним та структурно-механічним факторами. Вони забезпечують зростання розпливу конуса дрібнозернистого бетону до 220–228 мм, у такому разі пластифікувальний ефект становить 91,3–98,3 %.

**Вплив добавок-пластифікаторів на властивості дрібнозернистого бетону
(В/Ц = 0,32)**

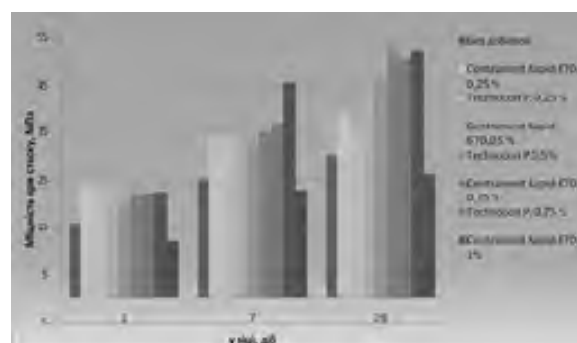
Добавка	Кількість добавки, мас. %	ПК, мм	ΔРК, %	Міцність на стиск, МПа, у віці, діб			ΔR _{ст} ² , %	ΔR _{ст} ²⁸ , %
				2	7	28		
–	–	115	–	38,6	53,0	61,6	–	–
AGE 430	0,7	220	91,3	39,9	53,8	63,2	3,6	1,0
GLENIUM 115	0,7	228	98,3	41,4	55,4	65,3	7,2	6,0
FM-20	0,7	155	34,8	36,6	45,5	58,4	-5,1	-5,2
SM-21	0,7	140	21,7	33,8	47,6	56,8	-12,4	-7,8
SL-4	0,7	138	20,0	31,5	35,9	51,2	-18,4	-16,9

Треба зазначити, що введення пластифікаторів на основі лігносульфонатів та сульфонафта-лінформальдегідів спричиняє зниження міцності дрібнозернистого бетону з високорухливих сумішей, особливо у ранній період тверднення. Так, через 2 доби міцність бетону, модифікованого добавками лігносульфонатного та сульфонафталінформальдегідного типу, знижується відповідно на 18,4 % та 12,4 % порівняно з контрольним складом. Тоді як добавки на основі полікарбоксилатів AGE 430 і GLENIUM 115 забезпечують незначне підвищення ранньої міцності дрібнозернистого бетону з високорухливих сумішей – на 3,6 і 7,2 % відповідно.

Зменшення негативного впливу неякісних заповнювачів та добавок-пластифікаторів, зокрема зниження ранньої міцності цементних систем за підвищеної рухливості, досягається використанням комплексних модифікаторів пластифікуювально-прискорювальної дії. У роботі досліджено вплив комплексних добавок на основі лігносульфонатів Technoson P та сульфонафталінформальдегідів CentramentRapid 670 на властивості дрібнозернистих бетонів на основі ПЦ-П/А-Ш-500 та піску Ясинецького родовища. Ефективність дії комплексних модифікаторів визначається одержанням пластифікуювальних ефектів – під час використання CentramentRapid 670 62,2–98,2 %, а Technoson P 46,8–132,4 % (рис. 1, а). Треба зазначити, що комплексні добавки позитивно впливають на міцність при стиску дрібнозернистого бетону протягом усього періоду тверднення (рис. 1, б). Введення добавок Centrament Rapid 670 і Technoson P в кількості 0,75 мас. % зумовлює збільшення розпливу конуса у 1,9 і 2,2 разу відповідно, рання міцність зростає в 1,4 разу, а міцність через 28 діб – 1,6 разу. Підвищення дозування добавок до 2 мас.% спричиняє зниження міцності дрібнозернистого бетону.



а



б

Рис. 1. Вплив добавок CentramentRapid 670 і TechnosonP на рухливість (а) та міцність за стиску (б) дрібнозернистого бетону

Дослідженнями впливу комплексних добавок на основі полікарбоксилатних пластифікаторів (0,5 мас.%) та прискорювачів тверднення Na₂SO₄ та Na₂S₂O₃ (1 мас.%) на властивості дрібнозернистих бетонів з високорухливих сумішей (ПК = 180–215 мм) показано (рис. 2), що міцність модифікованих бетонів через 1 добу тверднення зростає на 6–18 % порівняно з бетоном, модифікованим пластифікатором GLENIUM 115, та на 6–27 % порівняно з бетоном з добавкою AGE 430.

Через 7 діб тверднення міцність бетонів з комплексними модифікаторами на основі AGE 430 зростає на 7,4–10,7 % та на 21,8–25,7 % з комплексними модифікаторами на основі GLENIUM 115 порівняно з контрольним складом без добавок (ПК = 115 мм).

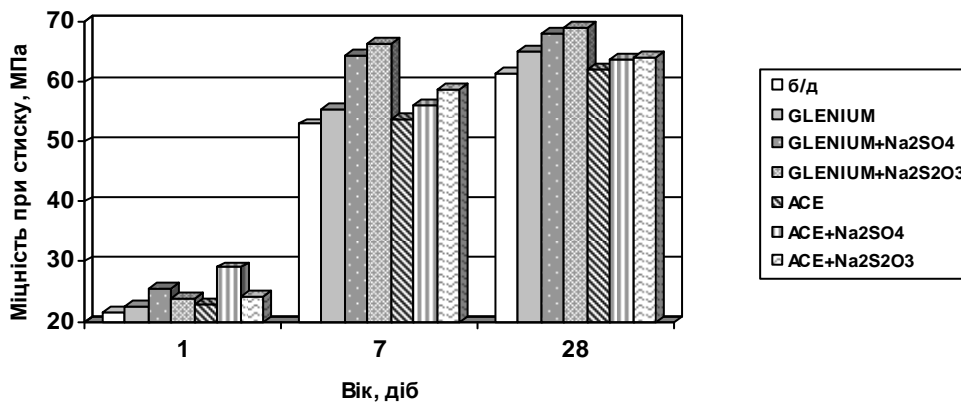


Рис. 2. Вплив комплексних добавок на основі полікарбоксилатів на міцність дрібнозернистого бетону

Висновки

Сучасне будівництво спрямоване на максимальне скорочення енергетичних та матеріальних ресурсів під час спорудження та експлуатації будинків та споруд. Впровадження енергоощадних технологій у житловому будівництві на етапі експлуатації досягається проектуванням енергоефективних будівель, зокрема з застосуванням систем незнімної опалубки Quad-Lock та “Техноблок”, у дорожньому будівництві – проектуванням довговічного дорожнього полотна з тривалим міжремонтним періодом. На етапі спорудження принципи енергоефективності реалізуються за рахунок використання швидкотвердних бетонів з високорухливих сумішей. Необхідні реологічні властивості бетонних сумішей, рання та марочна міцність, а також необхідні експлуатаційні властивості затверділих бетонів забезпечуються використанням якісних заповнювачів, комплексних модифікаторів пластифікуювально-прискорювальної дії.

1. *Zrównoważone budownictwo. Seria Dokumenty Unii Europejskiej dotyczące budownictwa.* – Warszawa : ITB, 2010. 2. *Саницький М. А. Енергозберігаючі технології в будівництві : навч. посібник / М. А. Саницький, О. Р. Позняк, У. Д. Маруцак.* – Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2013. – 236 с. 3. *Betonwbudynkach efektywnych energetycznie. Informator.* – Kraków, 2007. – 30 s. 4. *Фаренюк Г. Г. Основи забезпечення енергоефективності будинків та теплової надійності огорожувальних конструкцій / Г. Г. Фаренюк.* – К. : Гама-Принт, 2009. – 216 с. 5. [www.wikipedia.org/wiki. Несъёмная опалубка](http://www.wikipedia.org/wiki/Несъёмная_опалубка). 6. [www.quadlock.com. Insulated Concrete Forms for Better Buildings](http://www.quadlock.com). 7. *Баженов Ю. М. Модифицированные высококачественные бетоны / Ю. М. Баженов, В. С. Демьянова, В. И. Калашников.* – М. : Изд-во АСВ, 2006. – 368 с. 8. *Конструкційні матеріали нового покоління та технології їх впровадження в будівництво / Р. Ф. Рунова, В. І. Гоц, М. А. Саницький та ін.* – К. : УВПК “ЕксОб”, 2008. – 360 с. 9. *Гоц В. І. Бетони і будівельні розчини / В. І. Гоц.* – К. : ТОВ УВПК “ЕксОб”, 2003. – 472 с. 10. *Kurdowski W. Chemistry of cement and concrete / W. Kurdowski // Scientific Publishing PWN.* – Warszawa, 2010. – 728 p. 11. *Модифіковані швидкотверднучі портландцементи для прогресивних дорожньо-будівельних технологій / М. А. Саницький, У. Д. Маруцак, М. М. Чемерис, О. Я. Шийко // Зб. наук. ст. “Дороги і мости”.* – К. : ДДНДІ 2006. – № 6. – С. 278–287.