

**ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ ПОТРІЙНИХ ОРГАНОМІНЕРАЛЬНИХ  
КОМПЛЕКСІВ У ДОРОЖНІХ ЦЕМЕНТОБЕТОНАХ**

**EFFECTIVENESS OF USE OF TRIPLE ORGANOMINERAL COMPLEXES IN ROAD  
CEMENT CONCRETE**



*Толмачов Сергій Миколайович, доктор технічних наук, професор, професор кафедри технології дорожньо-будівельних матеріалів і хімії, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, [tolmachov.serg@gmail.com](mailto:tolmachov.serg@gmail.com)*

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

**Анотація.** Поліпшення експлуатаційних характеристик покриттів доріг та аеродромів із цементобетону значною мірою залежить від застосовуваних хімічних добавок. Крім цих добавок у монолітних бетонах для промислового та житлового будівництва широко застосовують мінеральні добавки. Ці добавки отримали назву мікронаповнювачі. В Україні для бетонів транспортного призначення ці добавки не використовують. Ймовірно, це пов'язано із вимогами до складу та особливостями роботи дорожніх бетонів. Однак, позитивний досвід застосування мінеральних добавок у складі монолітних бетонів для будівництва доріг за кордоном, а також для промислового будівництва у нас у країні, приведе до необхідності проведення відповідних досліджень. До складу бетонів для дорожнього та аеродромного будівництва повинні обов'язково входити суперпластифікатори та повітрявтягуючі добавки. У статті розглянуто вплив мінеральних добавок, які можуть входити до складу дорожніх бетонів разом із хімічними добавками на властивості дорожніх бетонів. Наведено результати ефективності їх застосування у цьому напрямку.

**Ключові слова:** суперпластифікатор, повітрявтягуюча добавка, мікронаповнювач, дорожні бетони, структура, міцність, водопоглинення, стиранність, морозостійкість.

**Стан питання.** Однією з головних завдань сучасної фізико-хімічної механіки дисперсних систем і матеріалів залишається створення матеріалів із заданими властивостями. Для її вирішення, необхідно дослідити особливості та встановити закономірності фізико-хімічних процесів, що відбуваються при структуроутворенні в дисперсних системах, а також встановити залежності між механічними властивостями композиційних матеріалів, їх структурою, а також особливостями їх взаємодії з навколишнім середовищем. Цей шлях був відбитий у роботах І.М.Грушка ще у 60-ті – 70-ті роки минулого століття [1].

У розвитку цих уявлень сьогодні вважається, що в основі створення бетонів з прогнозованими високими фізико-механічними характеристиками лежить застосування нових сучасних добавок.

Досить докладно історія виникнення та застосування добавок описана у вітчизняній і зарубіжній літературі [2,3]. Крім суперпластифікаторів, які вводять у бетонні суміші з метою пластифікації або скорочення витрати води замішування, в бетонні суміші вводять тонкомелені мікронаповнювачі. Їх застосовують разом із суперпластифікаторами з метою ущільнення структури бетону та підвищення міцності. Оскільки мікронаповнювачі виготовляють з мінеральної сировини, вони отримали ще одну назву – мінеральні добавки, оскільки за мінеральним складом вони складаються з одного або декількох породоутворюючих мінералів. Такі комплекси добавок отримали назву органо-мінеральні комплекси. Органо-мінеральні комплекси – це комплекси, що складаються з хімічної (суперпластифікуючої) і мінеральної (мікронаповнювачів типу мікрокремнезем, метакаолін тощо) добавок. Їх застосування дозволяє змінювати експлуатаційні показники таким чином, що бетони, які отримують, можна віднести до високофункціональних бетонів (High Performance Concrete – НРС-бетони) [4,5]. Донедавна ці комплекси застосовували в основному при будівництві будівель та споруд. Особливо ефективно ці комплекси використовували у високорухомих бетонних сумішах, що самоущільнюються.

Однак, в дорожньому будівництві НРС-бетони з такими комплексами практично не застосовують. Це пов'язано з тим, що недостатньо вивчено вплив таких комплексів на кінетику зміни властивостей бетонів у часі (в першу чергу вплив на довговічність), а також з недостатністю інформації про оптимальні кількості кожної з добавок, що вводять до складу бетонних сумішей. Крім того, специфіка бетонних сумішей для дорожнього будівництва передбачає наявність у бетонах додаткової кількості повітря, яке вводять для підвищення довговічності бетонів. Для цього до складу бетонних сумішей вводять спеціальні повітровтягуючі або газоутворюючі добавки. Фактично в дорожніх бетонах обов'язково застосовують комплекс хімічних добавок, який включає суперпластифікатор і повітровтягувальну добавку. Однак, останнім часом, у дорожньому будівництві з'явився новий вид бетонів з високорухливих бетонних сумішей - безперервно армовані бетони. При будівництві покриттів з таких бетонів в стаціонарну опалубку на основу встановлюють безперервну сітку або каркас, в яку заливають високорухому бетонну суміш. Наявність безперервного армування дозволяє не влаштовувати в бетоні поздовжні та поперечні шви.

Таким чином, використання переваг органо-мінерального комплексу у дорожніх бетонах стикається з низкою проблем. Повністю відсутня інформація про те, як буде працювати потрібний органо-мінеральний комплекс, що складається з суперпластифікатора, повітровтягувальної добавки і мінеральної добавки. Перші дві хімічні добавки обов'язкові до застосування в дорожніх цементобетонах верхніх шарів дорожнього покриття і відповідають за міцність і довговічність бетонів. Механізми дії та особливості застосування суперпластифікаторів та повітровтягуючих добавок у дорожніх бетонах досліджені та описані у світовій літературі досить докладно [6,7,8]. У меншій мірі досліджено механізми дії мінеральних добавок, хоча вони також описані у літературі [9,10]. Крім того, через велику різноманітність суперпластифікаторів та мікронаповнювачів єдиної думки щодо ефективності їхньої спільної роботи немає.

**Актуальність проблеми.** Виходячи з викладеного можливо, що ефективність дії потрібного комплексу в умовах дії агресивних середовищ може знижуватися. Слід враховувати також те, що бетонні покриття з такими комплексами зазвичай виготовляють на основі як помірно жорстких цементобетонних сумішей (які ущільнюються за допомогою бетоноукладальних комплексів), так і помірно рухомих сумішей (які ущільнюються за допомогою віброрейки та інших засобів малої механізації). Це також може впливати на особливості використання комплексів.

Тому актуальним є проведення досліджень щодо визначення впливу органо-мінерального комплексу у складі якого є суперпластифікатор, повітровтягуюча добавка і мікронаповнювач на експлуатаційні властивості дорожнього цементобетону.

**Матеріали, що застосовували у роботі.** У дослідженнях використовували наступні матеріали. Цемент ПЦ І-500-Н (СЕМ1 42,5 N) виробництва «Волинь-цемент» філії ПРАТ «Дікергофф Цемент Україна». Пісок кварцовий Дніпровських кар'єрів  $M_{кр} = 1.9$ , вміст пилюватих і глинистих частинок 1.2 %; насипна щільність – 1440 кг/м<sup>3</sup>. Щебінь гранітний фракцій 5-10 і 10-20 мм Рижеського кар'єру Полтавської області. Добавки системи Sika - повітровтягуючу добавку Sika Mix Plus, суперпластифікатор Sika 2508 NE. Крім того, використовували мікронаповнювач Універсал ВМ системи РЕЛАКСОЛ. Склад бетонної суміші, кг/м<sup>3</sup>: ц – 420, п – 600, щ<sub>5-10</sub> – 400, щ<sub>10-20</sub> – 800.

**Експериментальні дослідження.** Однією з головних особливостей дорожніх бетонів є обов'язковий вміст додатково втягнутого повітря. Повітря в бетонні суміші залучають за допомогою повітровтягуючих добавок, які вводять в бетонні суміші разом з водою замішування. Найчастіше ці добавки вводять разом із суперпластифікаторами (якщо вони сумісні між собою).

Основним, для підвищення морозостійкості бетону є повітровтягувальні добавки. Повітровтягувальні добавки збільшують умовно-замкнуту пористість і вміст в бетоні кількості пор, але тим самим приводять до зниження міцності. Тому існують обмеження за об'ємом втягнутого повітря у бетонну суміш. Це особливо важливо для дорожнього цементного бетону, до якого пред'являють підвищені вимоги щодо довговічності і який вже зараз відносять до High Performance Concrete (HPC). Для забезпечення необхідної морозостійкості в бетоні має бути 4...6 % залученого повітря. Ця кількість повітря дозволяє бетонам гарантовано мати марку за морозостійкістю F200. Раніше проведені дослідження показали, що основний обсяг залученого повітря потрапляє в бетонну суміш при введенні повітровтягуючої добавки. Однак є відомості про те, що суперпластифікатори також можуть залучати повітря. Що стосується мікронаповнювачів, то в літературі відсутні відомості щодо впливу цих мікрочастинок на залучення повітря. Також відсутня інформація щодо їхньої поведінки у складі потрійного органо-мінерального комплексу.

Дослідження проводили на бетонних сумішах однакової рухомості (табл.1). Проведені дослідження показали, що при введенні до складу бетонної суміші суперпластифікатора полікарбоксилатного типу кількість залученого повітря зростає на 0.4...0.8%, залежно від витрати суперпластифікатора від 0.5 до 0.8% (склади 1...3). У раніше проведених дослідженнях було встановлено, що оптимальною з точки зору щільності та міцності бетонів є витрата мікронаповнювача Універсал ВМ 5%. Введення наповнювача до складу бетонної суміші призводить до зменшення кількості залученого повітря від 2% до 1.5% у бетонах без добавок (склади 1 і 4).

При введенні цього наповнювача в суміш з суперпластифікатором кількість залученого повітря також знижується на 0.8% (склади 3 і 5). Введення в бетонну суміш потрійного комплексу, що складається з суперпластифікатора, повітрозалучаючої добавки і мікронаповнювача призводить до зменшення кількості залученого повітря в порівнянні з сумішшю без мікронаповнювача с 6 до 5% (склади 8 і 7). Отримані результати показують, що при використанні потрійного комплексу добавок для забезпечення необхідної кількості залученого повітря (4...6%) слід збільшувати витрату повітровтягувальної добавки.

Зазвичай у дорожніх цементобетонах використовують суперпластифікатори та повітровтягувальні добавки. Суперпластифікатори здатні зменшувати водоцементне відношення, що приводить до підвищення міцності. Повітровтягувальні добавки збільшують умовно-замкнену

пористість, але при цьому збільшення об'єму втягнутого повітря призводить до зниження міцності бетону.

**Таблиця 1** – Повітрявтягнення в бетонні суміші з добавками

**Table 1** – Air entrainment in concrete mixtures with additives

	Склади бетону							
	1	2	3	4	5	6	7	8
В/Ц	0.52	0.46	0.44	0.56	0.48	0.5	0.46	0.44
Sika 2508HE	-	0.5	0.8	-	0.8	-	0.8	0.8
Sika Mix Plus	-	-	-	-	-	0.1	0.1	0.1
Універсал ВМ	-	-	-	5.0	5.0	-	5.0	-
Повітрявтягнення, (%)	2.0	2.4	2.8	1.5	2.0	5.1	5.0	6.0

\*витрати добавок вказані у відсотках від маси цементу

Приведені експериментальні дані фізико-механічних випробувань бетону з різними добавками показують, що міцність бетону з суперпластифікуючою добавкою становить 45,1 МПа (табл.2).

**Таблиця 2** – Експлуатаційні показники бетонів з органо-мінеральним комплексом

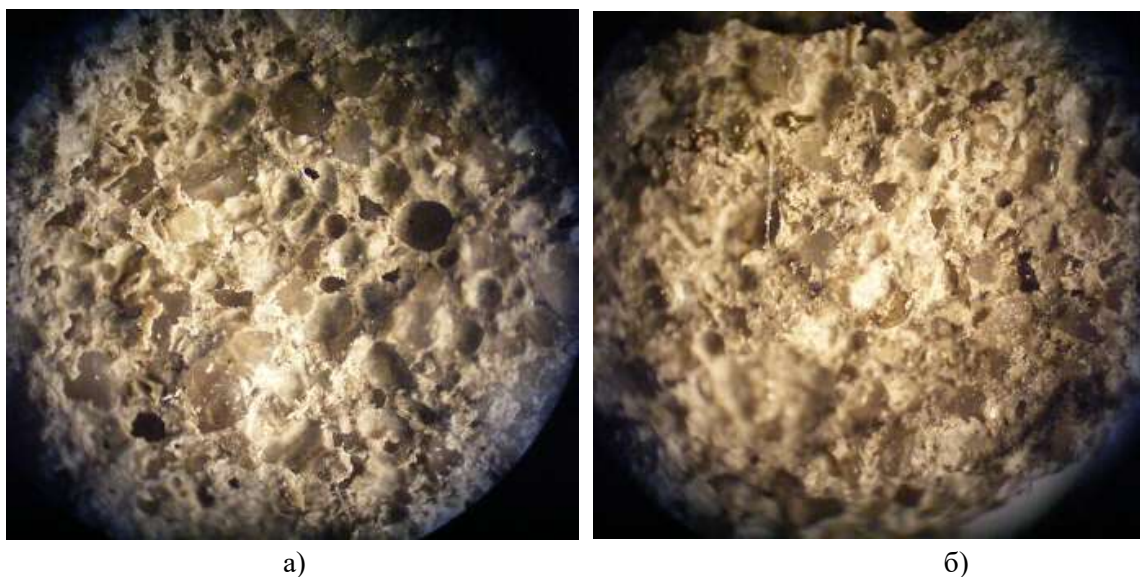
**Table 2** – Performance indicators of concretes with an organo-mineral complex

Вид та кількість добавок, % від $m_c$	Міцність, МПа	Середня щільність, г/м <sup>3</sup>	Стіраність, гр/см <sup>2</sup>	Водопоглинання, % за масою
Sika 2508HE 0,8%	45,1	2415	0,23	2,1
Sika 2508HE 0,8% + Sika Mix Plus 0,1%	38,2	2370	0,26	2,3
Sika 2508HE 0,8% + Sika Mix Plus 0,1% + Універсал ВМ 5%	54,0	2420	0,18	1,5

Але при введенні до складу бетону разом з суперпластифікатором повітровтягувальної добавки міцність бетону знижується на 15 %, до 38.2 МПа. Введення повітровтягуючої добавки призводить не тільки до збільшення вмісту залученого повітря, але і до зниження середньої щільності бетону. Одночасно на 10...13% підвищується стіраність та водопоглинання бетонів.

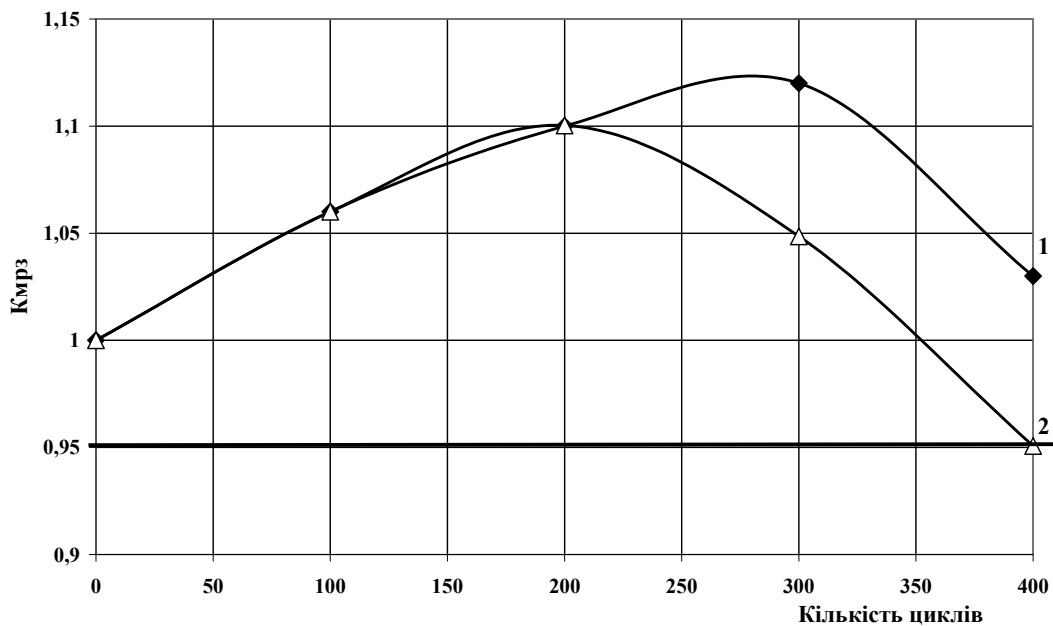
Застосування мікронаповнювача Універсал ВМ у складі потрійного органо-мінерального комплексу призводить до значного підвищення міцності бетонів. Міцність бетонів зростає на 25% у порівнянні з бетонами без мікронаповнювача. При цьому незважаючи на те, що середня щільність бетонів не змінилася, стіраність бетонів зменшилася на 28% і на 40% знизилася водопоглинання

Оптико-мікроскопічні дослідження зразків бетону показали, що застосування мікронаповнювача у складі потрійного органо-мінерального комплексу призводить до значною мірою зміни якості мезоструктури бетону (рис.1). Істотно зменшується загальна кількість пір і знижується їхній радіус. Це підвищує однорідність структури бетону та зменшує кількість її дефектів, що призводить до зростання щільності, міцності та зниження водопоглинання та стіраності бетону.



а) склад з СП + ПВ; б) склад з СП + ПВ + МКН  
**Рисунок 1** – Оптико-мікроскопічне зображення структури бетону з різними добавками (збільшення  $\times 32$ )

**Figure 1** – Optical microscopic image of the structure of concrete with various additives (magnification  $\times 32$ )



1 - склад з Sika 2508HE 0,8% + Sika Mix Plus 0,1% + Універсал ВМ 5%;  
 2 - склад з Sika 2508HE 0,8% + Sika Mix Plus 0,1%

**Рисунок 1** – Морозостійкість бетонів з різними добавками  
**Figure 1** – Frost resistance of concrete with various additives

Підвищення однорідності бетонів з потрійним органомінеральним комплексом призводить не тільки до поліпшення міцності та щільності бетонів, зниження їх водопоглинання та стирання, але й забезпечує підвищення їх морозостійкості (рис.2). Про це свідчить зсув максимуму коефіцієнта морозостійкості у бік збільшення (з 200 циклів випробування до 300 циклів) при випробуванні бетонів на морозостійкість.

#### **Висновки**

1. Встановлено, що введення мікронаповнювача до складу органо-мінерального комплексу призводить до зменшення кількості залученого повітря у складі бетонної суміші.
2. Показано, що застосування мікронаповнювача у складі бетону спільно з суперпластифікатором і повітровтягувальною добавкою призводить до зростання його міцності, зниження стираності та водопоглинання.
3. Застосування мікронаповнювача Універсал ВМ у складі потрійного органомінерального комплексу призводить до принципової зміни якості мезоструктури бетону : підвищення щільності, зниження радіусу і кількості пор.
4. Встановлено, що морозостійкість бетонів з потрійним органомінеральним комплексом підвищується

#### **Перелік посилань**

1. Грушко І.М. Довговічність бетону при спільній дії середовища та механічного навантаження / І.М. Грушко, Є.Б. Кіреєва // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво, 1978. – № 23. – С. 64 – 68.
2. Гоц В.І. Бетони і будівельні розчини / В.І. Гоц. – К.: ТОВ УВПК “ЕксОб”, К.: КНУБА, 2003. – 472 с.
3. Mario Collepardi Admixtures-enhancing concrete performance / Mario Collepardi // 6-th International Congress, Global Construction, Ultimate Concrete Opportunities, Dundee, U.K. – 5 – 7 July 2005. – 15 p.
4. P.-C.Aïtcin High-Performance Concrete // P.-C.Aïtcin . - published in the Taylor & Francis e-Library, 2004.- 569 p.
5. Шейніч Л.О., Іонов Д.С., Сопов В.П. Особливості процесів структуроутворення цементного каменю, модифікованого комплексною органо-мінеральною добавкою. Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури, Вип. 52, 2013. – С. 308 – 314.
6. Rixom, M. R., Chemical Admixtures for Concrete, // Rixom, M. R. - London: E. & F. N. Spon Ltd.; New York: John Wiley & Sons, Inc., 1978. – 343 p.
7. Sinajko N.P. The mechanism of action of the additives against a frost / N.P. Sinajko, A.P. Likhopud, V.P. Sopov, S.N. Tolmachev// Montazhnye i Spetsial'nie Raboty v Stroitel'stve. – Issue 4. – 2004. – P. 12 – 16.
8. Tolmachov S.N. Research of Road Concrete Stability under Frosty-salt Influence / S.N. Tolmachov // 19 Internationale Baustofftagung, 16-18 September 2015, Bundesrepublik Deutschland: Tagungsbericht. - Weimar, 2015. - Band 2. - P. 2-1159 – 2-1165.
9. Chegyi H. Influence of silica fume on the microstructural development in cement mortars / H. Chegyi, R.F. Feldman // Cement and Concrete Research, 1985. – V. 15. – P. 285 – 294.
10. Метакаолін в будівельних розчинах і бетонах / Л.Й. Дворкін, Н.В. Лушкінова, Р.Ф. Рунова, В.В. Троян]. – К.: Вид-во КНУБіА, 2007. – 216 с.

#### **EFFECTIVENESS OF USE OF TRIPLE ORGANOMINERAL COMPLEXES IN ROAD CEMENT CONCRETE**

**Sergey Tolmachov**, Sc.D, professor, professor at the Department of Road Building Materials Technology and Chemistry in Kharkiv National Automobile and Highway University, [tolmachov.serg@gmail.com](mailto:tolmachov.serg@gmail.com), +38(057) 707-37-42, <https://orcid.org/0000-0003-1011-3861>

**Abstract.** Improving the performance characteristics of road and airfield pavements made of cement concrete largely depends from the chemical additives that are used. In addition to these additives, mineral additives are widely used in monolithic concrete for industrial and residential construction. These additives are called microfillers. In Ukraine, these additives are not used for transport concrete. This is probably due to the requirements for the composition and operating characteristics of road concrete. However, the positive experience of using mineral additives in monolithic concrete for road construction in different countries, as well as for industrial construction in our country, leads to the need to conduct appropriate research. The composition of concrete for road and airfield construction must necessarily include superplasticizers and air-entraining additives. The article examines the influence of mineral additives that can be included in road concrete along with chemical additives on the properties of road concrete. The results of the effectiveness of their use in this direction are presented.

**Keywords:** superplasticizer, air-entraining additive, microfiller, road concrete, structure, strength, water absorption, abrasion, frost resistance.

#### References

1. Hrushko I.M. Dovichnist' betonu pry spil'niy diyi seregovyshcha ta mekhanichnoho navantazhennya / I.M. Hrushko, YE.B. Kiryeva // Avtomobil'ni dorohy i dorozhnye budivnytstvo, 1978. – № 23. – S. 64 – 68.
2. Hots V.I. Betony i budivel'ni rozchyny / V.I. Hots. – K.: TOV UVPK “EksOb”, K.: KNUBA, 2003. – 472 s.
3. Mario Collepardi Admixtures-enhancing concrete performance / Mario Collepardi // 6-th International Congress, Global Construction, Ultimate Concrete Opportunities, Dundee, U.K. – 5 – 7 July 2005. – 15 p.
4. P.-C.Aïtcin High-Performance Concrete // P.-C.Aïtcin . - published in the Taylor & Francis e-Library, 2004.- 569 p.
5. Sheynich L.O., Ionov D.S., Sopov V.P. Osoblyvosti protsesiv strukturoutvorenniya tsementnoho kamenyu, modyfikovanoho kompleksnoyu orhano-mineral'noyu dobavkoyu. Visnyk Odes'koyi derzhavnoyi akademiyi budivnytstva ta arkhitektury, Vyp. 52, 2013. – S. 308 – 314.
6. Rixom, M. R., Chemical Admixtures for Concrete, // Rixom, M. R. - London: E. & F. N. Spon Ltd.; New York: John Wiley & Sons, Inc., 1978. – 343 p.
7. Sinajko N.P. The mechanism of action of the additives against a frost / N.P. Sinajko, A.P. Likhopud, V.P. Sopov, S.N. Tolmachev// Montazhnye i Spetsial'nie Raboty v Stroitel'stve. – Issue 4. – 2004. – P.12 – 16.
8. Tolmachov S.N. Research of Road Concrete Stability under Frosty-salt Influence / S.N. Tolmachov // 19 Internationale Baustofftagung, 16-18 September 2015, Bundesrepublik Deutschland: Tagungsbericht. - Weimar, 2015. - Band 2. - P. 2-1159 – 2-1165.
9. Chegyi H. Influence of silica fume on the microstructural development in cement mortars / H. Chegyi, R.F. Feldman // Cement and Concrete Research, 1985. – V. 15. – P. 285 – 294.
10. Metakaolin v budivel'nykh rozchynakh i betonakh / L.Y. Dvorkin, N.V. Lushkinova, R.F. Runova, V.V. Troyan]. – K.: Vyd-vo KNUBiA, 2007. – 216 s.