

**УДК 691.545:666.321**

**ДОСВІД ВИВЧЕННЯ ВПЛИВУ МЕТАКАОЛІНУ НА ВЛАСТИВОСТІ ЦЕМЕНТНИХ І БЕЗЦЕМЕНТНИХ БЕТОНІВ І РОЗЧИНІВ**

**ОПЫТ ИЗУЧЕНИЯ ВЛИЯНИЯ МЕТАКАОЛИНА НА СВОЙСТВА ЦЕМЕНТНЫХ И БЕСЦЕМЕНТНЫЕ БЕТОНОВ И РАСТВОРОВ**

**THE EXPERIENCE TO THE STUDY OF METAKAOLIN ON THE PROPERTIES OF CEMENT AND CEMENTLESS CONCRETE AND MORTAR**

**Лушнікова Н.В., к.т.н., доцент, Дворкін Л.Й., д.т.н., професор**  
(Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)

**Лушникова Н.В., к.т.н., доцент, Дворкин Л.И., д.т.н., профессор**  
(Национальный университет водного хозяйства и природопользования, г. Ровно)

**Lushnikova N. V., candidate of technical sciences, associate professor Dvorkin L. J., doctor of technical sciences, professor** (National university of water management and nature resources use, Rivne)

**В статті розглянуто основні напрямки досліджень впливу метакеолину на властивості цементних та безцементних бетонів і розчинів, виконаних авторами.**

**В статье рассмотрены основные направления исследования влияния метакеолина на свойства цементных и бесцементных бетонов и растворов, выполненных авторами.**

**In the article are presented the main research areas of influence metakaolin on the properties of cement and screwed cement-free concrete and mortar made by the authors.**

**Ключові слова:**

Метакеолин, суперпластифікатор, бетон, фібра, розчин.

Метакеолин, суперпластификатор, бетон, фибра, раствор.

Metakaolin, superplasticizer, concrete, fiber, solution.

## Вступ

Метакаолін є однією з основних мінеральних добавок для виробництва багатокомпонентних в'язучих, сухих будівельних сумішей та бетонів. За запасами каолінових глин - основної сировини для його виробництва - Україна поступається лише США, Великобританії і Китаю. При цьому за якістю каоліни двох останніх країн суттєво поступаються українським. Водночас за умови відсутності в Україні джерел мікрокремнезему, метакаоліне чи неєдиною високоактивною мінеральною добавкою до цементів, бетонів і розчинів. А часткова заміна цементу на метакаолін дозволяє знизити енерговитрати на виробництво бетону.

Використання метакаоліну якості пуцоланової добавки відоме ще з 1962р., коли його вперше було використано при будівництві ГЕС ім. Соуза Діаса в Бразилії на р. Парана.

Від середини 1990-х рр. метакаолін активно застосовується в якості добавки у бетони і розчини. Сфера його використання доволі широка: це бетони різних видів (важкі, легкі, ніздрюваті) та призначення (високоміцні бетони, бетони на основі сумішей, що самоущільнюються), спеціальні бетони (архітектурні, дорожні), багатокомпонентні сухі будівельні суміші (наприклад, для наливних підлог).

На кафедрі технології будівельних виробів і матеріалознавства НУВГП протягом останніх десяти років виконується ряд досліджень впливу метакаоліну на властивості як цементних, так і безцементних систем [1-4]. Тому метою даної статті є ознайомлення з основними напрямками досліджень та їх результатами.

### Характеристика метакаоліну

Основні властивості метакаоліну представлено в табл. 1-3.

Таблиця 1

Хімічний склад метакаоліну, %, мас.

SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	MnO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	В.П.П.
52,5	42,20	0,34	0,70	0,30	0,25	0,01	0,10	0,90	0,50

Таблиця 2

Фізико-хімічні властивості метакаоліну

Питома поверхня за Блейном, см <sup>2</sup> /г	Густина, г/см <sup>3</sup>	Насипна густина кг/м <sup>3</sup>	Водопотреба (нормальна густина), %
18000	2,50	410	46

Таблиця 3

## Гранулометричний склад метаклаолінів

<63мкм	<30мкм	<15мкм	<5мкм	<2мкм	d <sub>50</sub> , мкм	d <sub>90</sub> , мкм
100	97,02	85,45	64,64	48,30	2,18	18,97

Примітка. d<sub>50</sub> та d<sub>90</sub> – діаметр умовного вічка, крізь яке проходить відповідно 50% та 90% (об'єм.) проби метаклаоліну

**Результати досліджень**

*Метаклаолін як пуццоланова добавка високоміцних бетонів з сумішей, що самоущільнюються*

Основним напрямком досліджень стало визначення впливу метаклаоліну на властивості високоміцних цементних бетонів на основі самоущільнюваних бетонних сумішей [1].

Для компенсації високої водопотреби (табл.2) метаклаолінів водився до складу бетонних сумішей разом із суперпластифікаторами різних типів. Використовувалися цемент СЕМ ІІ R42.5, пісок кварцовий з модулем крупності 2, гранітний щебінь - суміш фракцій 5...10 та 10..20 мм у співвідношенні 30 на 70%, суперпластифікатори С-3 нафталінформальдегідного типу та Melflux2651F полікарбоксилатного типу.

Введення комплексних добавок на основі супералстифікатору та метаклаоліну дозволило отримати суміші марки за рухливістю Р5. Показник зберезуваності рухливості, що представляв собою час зміни рухливості з марки Р5 на Р4, збільшився в середньому на 0,5 год (при введенні С-3) та на 0,8 год (при введенні Melflux 2651F) порівняно із сумішами без метаклаоліну (табл.4). При цьому суміші не мали ознак водовідділення та розчинувідділення.

Таблиця 4

## Властивості бетонних сумішей

№	Цемент, кг/м <sup>3</sup>	В/Ц	Мета- клаолін, кг/м <sup>3</sup>	Суперпласти- фікатор		Рухливість (осадка конуса), см		Час зміни рухливо- сті, год
				тип	витрата, % В'яж	початкова	кінцева	
1	450	0,4	-	С-3	0,5	22	18	0,8
2	405	0,4	45	С-3	0,75	22	18	1,8
3	405	0,4	45	Melflux 2651F	0,2	22	18	2,6

Зауважимо, що технологічні фактори, зокрема витрата в'язучого, якість і вид заповнювачів умови виготовлення та використання бетону суттєво впливають на оптимальну витрату метакаоліну з точки зору досягнення максимальної міцності.

В досліді використувалися методи математичного планування експериментів, що дозволило знайти оптимальні склади бетонів.

На рис. 1 представлено графіки впливу витрати в'язучого (суми мас цементу та метакаоліну) та частки метакаоліну в ньому на вміст суперпластифікатору, необхідний для досягнення марки за рухливістю P5. Як видно з наведених даних, вміст суперпластифікатору Melflux є в 3..4 рази меншим, ніж С-3 за решти сталих умов. При цьому міцність на стиск є більшою саме при використанні Melflux(рис.2).

В цілому встановлено, що оптимальний вміст метакаоліну у бетоні з точки зору досягнення максимальної міцності бетону на стиск складає 10...13% від маси в'язучого. Це значення збільшується із зростанням загальної кількості в'язучого у бетоні та із зростанням водов'язучого відношення.

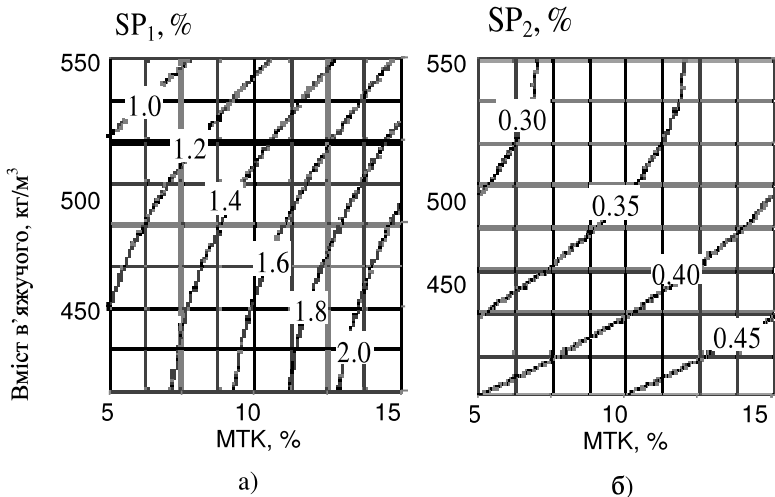


Рис. 1. Залежність вмісту суперпластифікатору С-3 (а) і Melflux (б) від вмісту в'язучого та вмісту метакаоліну

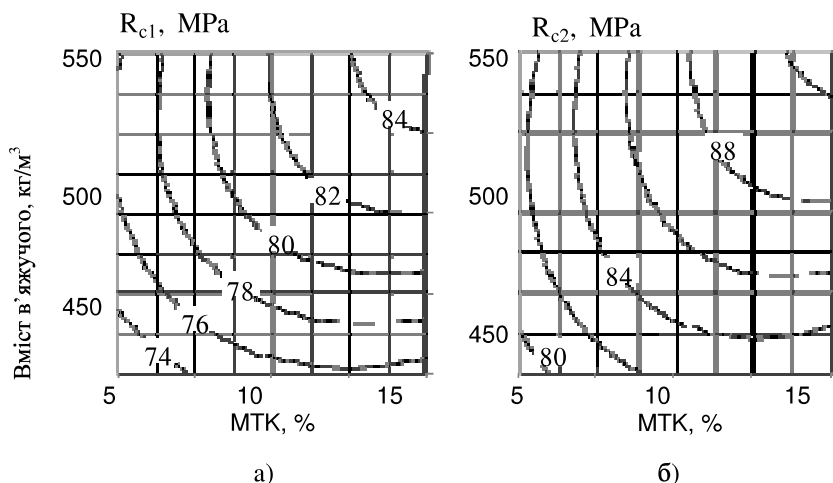


Рис. 2. Залежність міцності на стиск у віці 28 діб при введенні С-3 (а) і Melflux (б) від вмісту в'язучого та вмісту метаксаоліну

В межах експерименту вирішувалася задача оптимізації складу бетону, яка полягала у досягненні заданих властивостей за умови забезпечення мінімальної вартості бетону. Виявилось, що при використанні високоефективного суперпластифікатора полікарбоксілатного типу вартість бетону є нижчою, оскільки задана міцність досягається при нижчих витратах метаксаоліну та суперпластифікатора (табл. 5). Також відпрацьована методика визначення ефективності використання метаксаоліну, яка дозволяє порівнювати його з іншими мінеральними добавками. [2]

Таблиця 5

Оптимальні склади бетону класу В70 з сумішшю Р5 та їх вартість

Тип суперклас-тифікатора	В/В'яз	Склад бетону, кг/м <sup>3</sup>						Вар-тість бетону у.о./м <sup>3</sup>
		Вода	Це-мент	Пі-сок	Ще-бінь	Мета-каолін	Супер-пласти-фікатор	
С-3	0.34	181	490	589	1156	42	6.1	84,09
Melflux 2651F	0.34	157	440	669	1203	23	1.1	81,24

На підставі ряду вищеописаних досліджень розроблено методику розрахунку складів економічно ефективних високоміцних бетонів, що містять мінеральні добавки.

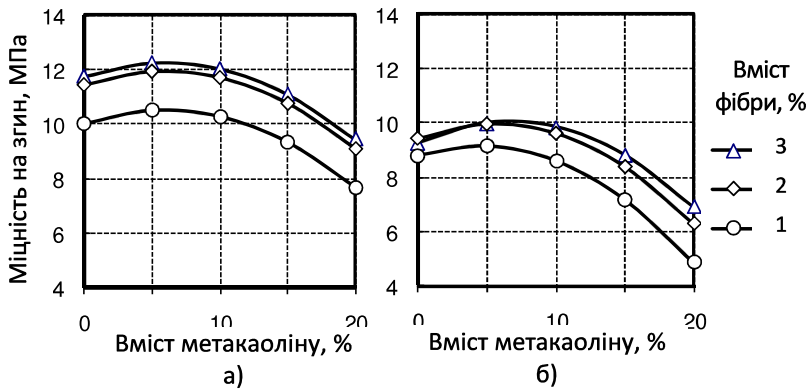


Рис. 3. Залежність міцності на згин зразків фібро бетону на основі поліпропіленової (а) та базальтової фібри (б) від вмісту фібри та вмісту метаксаоліну

Таблиця 6

Склад та властивості композиційних гіпсових в'язучих

№ з/п	Показники	Одиниці виміру	Значення для	
			шпаклювальних сумішей	сумішей для реставраційних робіт
	Склад			
1	Будівельний гіпс	% за об'ємом	0,12	0,11
2	Гашене вапно	% за об'ємом	0,30	0,36
3	Метаксаолін	% за об'ємом	0,58	0,53
4	Суперпластифікатор Melflux 2651F	% від маси сухої суміші	0,25	0,25
5	Лимонна кислота	% від маси сухої суміші	0,02	0,02
6	Водотверде відношення	-	0,46	0,48
	Властивості			
7	Рухливість	см	7±2	7±0.5
8	Час використання	хв	30	35
9	Міцність на стиск	МПа	10.6	8.7
10	Міцність на згин	МПа	4.6	4.1
11	Усадка	мм/м	0.18	0.12
12	Водостійкість		0,65	0,61

*Метакаолін як добавка до фібробетонів, армованих базальтовою та поліпропіленою фіброю.* Вивчалися також особливості впливу добавки метаколіну на властивості фібробетонів з базальтовою та поліпропіленою фіброю. Спостерігалось додаткове підвищення міцності на згин на 10...20% при введенні метаколіну у кількості 5...7% від маси цементу за решти сталих умов (рис. 3). Сумісне введення фібри та метаколіну призводить до збільшення однорідності пор бетону, що особливо помітно при високих дозуваннях метаколіну[3].

*Метакаолін у складі композиційних гіпсових в'язучих*

Було досліджено властивості композиційного гіпсового в'язучого системи «гіпс-вапно-метакаолін». Додатково застосовувалися суперпластифікатор полікарбоксилатного типу Melflux 2651F та сповільнювач тужавлення- лимонна кислота. На основі будівельного гіпсу марки Г-5 було отримано розчинові суміші та розчини з низькою усадкою та доволі високою водостійкістю, використання яких можливе при виготовленні шпаклювальних сумішей та сумішей для реставраційних робіт (табл.6) [4]

### **Висновки**

Метакаолін є ефективною мінеральною добавкою для будівельних розчинів і бетонів як на основі цементних так і на основі інших в'язучих. Завдяки широкому розповсюдженню в Україні родовищ каоліну - основної природної сировини для її виготовлення, - виробництво метаколіну є доволі перспективним напрямом промисловості будівельних матеріалів. Пріоритетними напрямками використання цієї добавки є високофункціональні цементні бетони, в тому числі високоміцні, з самоущільнюваних сумішей, фібробетони, бетони архітектурного призначення, багатокomпонентні сухі будівельні суміші.

1. Дворкін Л. Й., Лушнікова Н. В. Рунова Р. Ф., Троян В.В. Метакаолін в будівельних розчинах і бетонах: Монографія. - Київ: Вид-во КНУБіА, 2007.-214 с. 2. Dvorkin, Lushnikova, Ribakov Using mathematical modeling for design of self compacting highstrength concrete with metakaolin and mixture. - Constructional Building Materials. - Vol. 37, Dec 2012. - P. 851-864. 3. Nwaubani S.O., Dvorkin L., Lushnikova N. Influence of Metakaolin Admixture on Mechanical Properties and Porosity Parameters of Fiber Reinforced Concrete. - Proceedings of 31st Cement and Concrete Science Conference Novel Development and Innovation in Cementitious Materials, Imperial College London, United Kingdom 12-13 September 2011. - pp. 257-262. 4. Dvorkin L.Y. Properties of Gypsum Binders Modified with Complex Admixtures. - Ibausil - Internationale Baustofftagung, Tagungsbericht.- Weimar: Institut für Baustoffkunde, 2009. - Band 2. - S.1-0701 - 1-0707. 5. Каолины Украины: справочник. // Под общ. ред. Ф.Д. Овчарено- К: Наук. думка, 1982. - 368 с.