

УДК 693.55 Мостовий С.М., sermost@i.ua, orcid 0000-0002-2684-5453,
д.т.н., професор Барабаш І.В. dekansti@ukr.net, orcid 0000-0003-0241-4728,
к.т.н., доцент Ксьоншкевич Л.М. wlksms@gmail.com,
orcid 0000-0001-9619-4855,
Одеська державна академія будівництва та архітектури

ЛИТИЙ БЕТОН НА МЕХАНОАКТИВОВАНОМУ ЦЕМЕНТОЗОЛЬНОМУ В'ЯЖУЧОМУ ДЛЯ СУЧАСНОГО МІСТОБУДУВАННЯ

Розглянуті питання впливу витрати золи-виносу в портландцементі в присутності суперпластифікатора С-3 та базальтової фібри на міцність литого бетону. Встановлено факт зниження міцності бетону в середньому на 2,5-4,5% на кожні 10% введення золи-виносу. Механоактивація цементозольного вяжучого підвищує міцність литого бетону в порівнянні з контролем в середньому на 30-35%, що дозволяє підвищити витрати золи-виносу в бетоні на 15-20%. Виявлено, що наявність 80% золи-виносу в в'язучому, при умові його механоактивації в присутності суперпластифікатора С-3, дозволяє одержати литі бетони з міцністю 15-22 МПа. Відзначено незначний вплив витрати базальтового волокна на підвищення міцності (до 10%) литого бетону.

Ключові слова: механоактивація, базальтова фібра, суперпластифікатор, зола-виносу, литий бетон.

Постановка проблеми. Використання мінеральних добавок до портландцементу, а саме золи-виносу, разом з наданням бетону підвищеної стійкості до лужної корозії та сульфатної агресії, забезпечує покращення екологічної безпеки довкілля [1, 2]. Добавка золи-виносу, крім того, підвищує пластифікуючу здатність портландцементу, знижує усадочні деформації цементного каменю та не вимагає помелу [3-5].

Нарівні з позитивним впливом золи, наявність її в складі портландцементу приводить до зниження міцності бетону [6]. Компенсувати зниження міцності можливо за рахунок механоактивації в'язучого, використання водоредукуючих добавок та фібри [7, 8].

Постійне підвищення цін на портландцемент та його різновиди, подорожчання природнього газу надають особливу актуальність дослідженням, що направлені на вирішення задач зниження затрат в технології бетонних та залізобетонних виробів. Комплексний підхід вирішення поставлених задач вимагає, як додаткових наукових розробок, так і впровадження

ресурсозберігаючих технологій з широким використанням паливних продуктів промисловості.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Роботою [4] встановлено, що використання активних мінеральних добавок, дає реальну можливість отримання бетонів з необхідними фізико-механічними характеристиками при значній економії портландцементу. В той же час слід відмітити, що часткова заміна портландцементу мінеральними добавками приводить до зниження міцності бетону, що потребує як інтенсивних технологічних впливів на бетонну суміш (механоактивація), так і використання модифікуючих добавок до портландцементу (суперпластифікатор, фібра), які здатні компенсувати її зниження [8].

Мета статті. Виявити вплив рецептурно-технологічних факторів (механоактивації, кількості золи-виносу, водоредукуючої добавки та фібри) на міцність при стиску литого бетону.

Виклад основного матеріалу. В якості базового складу був прийнятий бетон з витратою портландцементу ПЦ I-500 в кількості 400 кг/м³. Витрати кварцевого піску та гранітного щебеню склали 670 та 1156 кг/м³ відповідно. Витрата води для одержання литої бетонної суміші (ОК = 20 см) складала 208 л/м³. Виконувались дві паралельні серії експериментів. Перша (контрольна) – за традиційною технологією. Друга – за роздільною технологією, з застосуванням швидкісного трибозмішувача з кількістю обертів робочого органу 2800 об/хв. В трибозмішувачі здійснювалась активація цементозольного в'язучого протягом 120 сек, після чого активована суспензія подавалась в тихохідний бетонозмішувач з дозованими компонентами бетонної суміші – мілкою та крупною заповнювачів. Для виготовлення бетонної суміші використовувався кварцевий пісок з $M_k = 2,5$ та гранітний щебінь фракцій 5-10 та 10-20 мм (співвідношення між фракціями 1 : 1 по масі). В якості водоредукуючої добавки до бетонної суміші використовувався суперпластифікатор С-3, концентрація якого в експерименті варіювалась від 0 до 1% маси в'язучого. Для армування використовувалось базальтове волокно довжиною 6-12 мм та діаметром 13-17 мкм. Міцність бетону при стиску визначалась шляхом випробування зразків-кубів з ребром 10 см у 7-и та 28-и денному віці.

Для з'ясування впливу вищеперерахованих факторів, а саме – золи-виносу, базальтової фібри та суперпластифікатору С-3 на міцність бетону був поставлений 3-х факторний експеримент. Варіювалися наступні фактори складу бетонів:

X_1 – вміст золи-виносу в портландцементі, 40±40 %;

X_2 – концентрація базальтового волокна, 0,5±0,5% від маси в'язучого;

X_3 – концентрація суперпластифікатору С-3, 0,5±0,5% від маси в'язучого.

В табл. 1 наведені рівні незалежних факторів, витрати компонентів бетонної суміші, та міцність бетонних зразків в 7-и та 28-и денному віці.

Таблиця 1.

План експерименту та витрати компонентів бетонної суміші

№	Рівні факторів			Витрати компонентів бетонної суміші, кг/м ³					f ^к _{cm}		f ^м _{cm}	
	Зола-виносу, X ₁	Фібра, X ₂	С-3, X ₃	Портланд-цемент	Зола-виносу	Вода замішування	Базальтове волокно	Суперпласти-фікатор С-3	7 днів	28 днів	7 днів	28 днів
1	-1	-1	-1	400	0	208	0,0	0,0	24	37	44	51
2	-1	-1	1	400	0	143	0,0	4,0	29	44	52	61
3	-1	1	-1	400	0	212	4,0	0,0	26	39	46	53
4	1	-1	-1	80	320	192	0,0	0,0	8	11	13	15
5	-1	1	1	400	0	147	4,0	4,0	30	46	55	63
6	1	-1	1	80	320	117	0	4,0	12	20	24	28
7	1	1	-1	80	320	198	4,0	0,0	9	13	16	18
8	1	1	1	80	320	123	4,0	4,0	14	22	27	30
9	1	0	0	80	320	131	2,0	2,0	10	15	18	21
10	-1	0	0	400	0	152	2,0	2,0	28	42	51	58
11	0	1	0	240	160	146	4,0	2,0	21	31	38	43
12	0	-1	0	240	160	141	0,0	2,0	18	29	35	40
13	0	0	1	240	160	129	2,0	4,0	22	34	41	47
14	0	0	-1	240	160	200	2,0	0,0	16	26	31	36
15	0	0	0	240	160	131	2,0	2,0	20	30	37	41

В результаті статистичної обробки експериментальних даних отримані поліноміальні моделі (1-4) залежності міцності бетону при стиску від досліджувальних незалежних факторів (X₁, X₂, X₃) на механоактивованому в'язучому (f^м_{cm}) та на в'язучому, яке механоактивації не підлягало (f^к_{cm}).

$$\begin{aligned}
 (f^m_{cm}) = & 36,4 - 15,0 x_1 - 1,8 x_1^2 + 0,1 x_1 x_2 + 0,6 x_1 x_3 \\
 & + 1,4 x_2 + 0,2 x_2^2 + 0,1 x_2 x_3 \\
 & + 4,9 x_3 - 0,3 x_3^2
 \end{aligned} \quad (1)$$

$$(f_{cm}^M) = 41,2 - 17,4 x_1 - 1,8 x_1^2 + 0,1 x_1 x_2 + 0,6 x_1 x_3 + 1,2 x_2 + 0,2 x_2^2 - 0,1 x_2 x_3 + 5,6 x_3 + 0,2 x_3^2 \quad (2)$$

$$(f_{cm}^K) = 25,8 - 10,7 x_1 - 1,3 x_1^2 + 0,5 x_1 x_3 + 1,0 x_2 + 0,2 x_2^2 + 3,5 x_3 - 0,3 x_3^2 \quad (3)$$

$$(f_{cm}^K) = 30,0 - 12,7 x_1 - 1,3 x_1^2 + 0,5 x_1 x_3 + 1,0 x_2 + 4,0 x_3 + 0,2 x_3^2 \quad (4)$$

де: (1), (2) – міцність бетону при стиску на механоактивованому в'язучому в 7-и та 28-и денному віці відповідно;

(3), (4) – міцність контрольних зразків бетону в 7-и та 28-и денному віці відповідно.

На рис. 1 та рис. 2 наведені графічні залежності міцності бетону при стиску від витрати золи-виносу в 7-и та 28-и денному віці при концентраціях суперпластифікатору С-3 в в'язучому від 0 до 1%. Міцність розраховувалась за умови відсутності базальтової фібри у складі бетону.

Аналіз математичних моделей та графічних залежностей свідчить про те, що введення в портландцемент золи-виносу викликає зниження міцності бетону при стиску в середньому на 2,5-4,5 МПа на кожні 10% вмісту золи. Як видно із одержаних результатів механоактивація цементозольного в'язучого викликає приріст міцності бетону при стиску. Особливо це відчутно в ранньому 7-и денному віці – приріст міцності досягає 30-35%. В 28-и денному віці приріст міцності бетонних зразків дещо знижується, але не опускається нижче 25-30%. Це дозволяє підвищувати вміст золи-виносу в в'язучому на 15-20%, не викликаючи при цьому зниження міцності бетонних зразків в порівнянні з контролем.

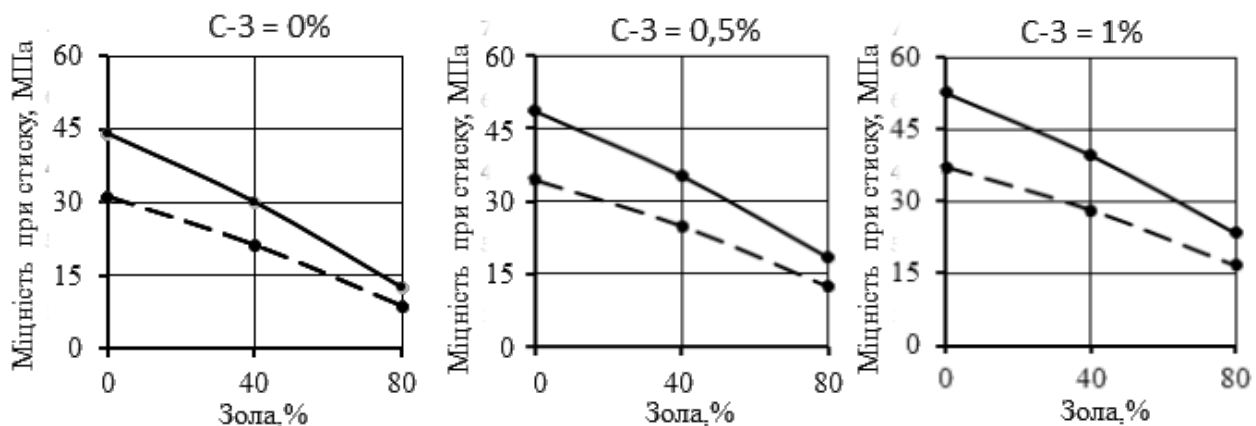


Рис. 1. Розрахункові залежності міцності бетону при стиску від витрати золи-виносу в 7-и денному віці

————— - механоактивоване в'язуче ; - - - - - контроль

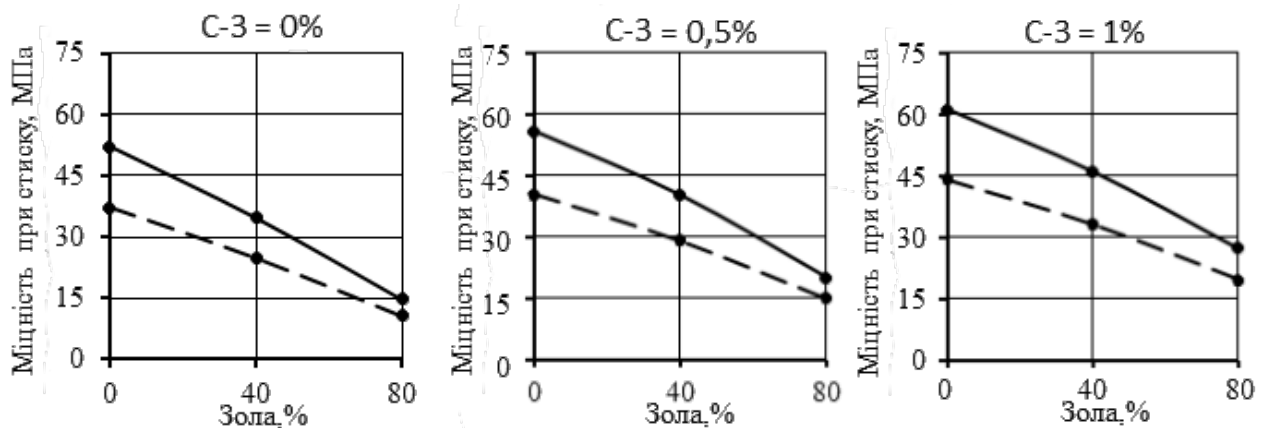


Рис. 2. Розрахункові залежності міцності бетону при стиску від витрати золи-виносу в 28-и денному віці

————— – механоактивоване в'язуче; - - - - - – контроль

Слід відмітити позитивну роль суперпластифікатора С-3 на міцність бетону. Зростання концентрації С-3 від 0 до 1% приводить до підвищення міцності бетону на 15-17%. Особливо ефективно впливає введення С-3 в бетонну суміш разом з механоактивацією цементозольного в'язучого. Приріст міцності при цьому досягає 60-70% (в порівнянні з контролем). Щодо впливу фібри на міцність бетону, то слід відзначити незначне (не більше 7-10%) підвищення міцності при стиску, при введенні в склад бетону 1% базальтового волокна.

Висновки:

1. Механоактивація цементозольного в'язучого (витрата золи від 40 до 80%) в присутності 1% суперпластифікатора дозволяє одержати литі бетони в марочному віці від 20 до 46 МПа.
2. Введення в портландцемент золи-виносу викликає зниження міцності литого бетону при стиску в середньому на 2,5-4,5 МПа на кожні 10% вмісту золи.
3. Вплив базальтової фібри на підвищення міцності литого бетону є незначним і не перевищує 7-10%.
4. Метою подальших досліджень є вивчення довговічності литих бетонів на механоактивованому цементозольному в'язучому з добавкою базальтової фібри.

Література:

1. Волженский А.В. Применение зол и топливных шлаков в производстве строительных материалов / А.В. Волженский, И.А. Иванов, Б.Н. Виноградов. – М.: Стройиздат, 1984. – 250 с.
2. Дворкин Л.И. Эффективные цементно-зольные бетоны / О.Л. Дворкин. – Ровно: Изд. РГТУ, 1998. – 216 с.

3. Кривенко П.В. Цементы и бетоны на основе топливных зол и шлаков / Е.К. Пушкарева, В.И. Гоц, Г.Ю. Ковальчук. – Киев: ООО «ИПК Экспресс-Полиграф», 2012. – 258 с.
4. Нетеса Н.И. Легкие бетоны с золой уноса Приднепровской ТЭС – Наука та прогрес транспорту / Н.И. Нетеса. – Вісник ДНУЗТ, 2013. – Вип. 5. – С. 137-145.
5. Волженский А.В. Минеральные вяжущие вещества: (технология и свойства). Учебник для вузов / А.В. Волженский, Ю.С. Буров, В.С. Колокольников. – 3-е изд., пере-раб. и доп. – М.: Стройиздат, 1979. – 476 с.
6. Ксёншкевич Л.Н. Влияние базальтовой фибры на прочность цементного камня / Л.Н. Ксёншкевич, И.В. Барабаш, А.В. Даниленко // Збірник наукових праць «Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди». – Рівне, 2015. – Вип. №31. – С. 163–167.
7. Федоркин С.И. Механоактивация вторичного сырья в производстве строительных материалов. – Симферополь: Таврия, 1997. – 180 с.
8. Барабаш І.В. Механохімічна активація мінеральних в'язучих речовин / І.В. Барабаш. – Навчальний посібник. – Одеса. Астропрінт, 2002. – 100 с.

Мостовой С.Н., д.т.н., профессор Барабаш И.В.,
к.т.н., доцент Ксёншкевич Л.Н.,
Одесская государственная академия строительства та архитектуры

ЛИТОЙ БЕТОН НА МЕХАНОАКТИВИРОВАННОМ ЦЕМЕНТОЗОЛЬНОМ ВЯЖУЩЕМ ДЛЯ СОВРЕМЕННОГО ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВА

В статье рассмотрены вопросы влияния расхода золы-уноса в портландцементе в присутствии суперпластификатора С-3 и базальтовой фибры на прочность литого бетона. Установлен факт снижения прочности бетона, в среднем на 2,5-4,5% на каждые 10% введения золы-уноса. Механоактивация цементозольного вяжущего повышает прочность литого бетона по сравнению с контролем в среднем на 30-35%, что позволяет повысить расходы золы-уноса в бетоне на 15-20%. Выявлено, что наличие 80% золы-уноса в вяжущем, при условии его механоактивации в присутствии суперпластификатора С-3, позволяет получить литые бетоны с прочностью 15-22 МПа. Отмечено незначительное влияние расхода базальтового волокна на повышение прочности (до 10%) литого бетона.

Ключевые слова: механоактивация, базальтовая фибра, суперпластификатор, зола-унос, литой бетон.

Mostovoi S.N., Barabash I.V. D.Sc., Professor,
Ksenshkevich L.N. PhD, Assistant Professor,
Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture

**REINFORCED CAST CONCRETE BASED ON MEHANOACTIVATED
CEMENT-ASH AGGREGATES FOR MODERN PLANNING AND
CONSTRUCTION**

The article deals with the influence of the dosage of fly ash in portland cement in the presence of superplasticizer C-3 and basalt fiber on the strength of cast concrete. The fact that the concrete strength is reduced by an average of 2.5-4.5% for every 10% of the dosage of fly ash. The mechanic activation of cement-ash binder increases the strength of cast concrete compared with the control specimen on average of 30-35%, which allows to increase the dosage of fly ash in concrete by 15-20%. It was found that the presence of 80% of the ash at binder at the term it being mechanically activated in the presence of superplasticizer C-3 allows to obtain cast concretes with strength of 15-22MPa. Insignificant influence of the dosage of basalt fiber on the strength increase (up to 10%) of the cast concrete was stated.

Key words: mechanic activation, basalt fiber, superplasticizer, fly ash, cast concrete.