

ДАШКОВА Т.С., ГЛУХОВСЬКИЙ В.В., к.т.н., ГЛУХОВСЬКИЙ І.В., к.т.н.

Національний технічний університет України «КПІ», м. Київ

## ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ КЛІНКЕРНОЇ СКЛАДОВОЇ У ПОРТЛАНДЦЕМЕНТАХ З АКТИВНИМИ МІНЕРАЛЬНИМИ ДОБАВКАМИ

Встановлено вплив активних мінеральних добавок на водопотребу цементного тіста. Розрахунковим методом визначено витрату цементу та клінкерної складової у складі цементу з активними мінеральними добавками в залежності від марки цементу та бетону на його основі.

Установлено влияние активных минеральных добавок на водопотребность цементного теста. Расчетным методом определен расход цемента и клинкерной составляющей в составе цемента с активными минеральными добавками в зависимости от марки цемента и бетона на его основе.

The influence of active mineral additives on the water demand of the cement paste. Calculation method to determine the costs of cement and clinker in the cement composition component with active mineral additives, depending on the type of cement and concrete based on it.

**Ключові слова:** цементі загальнобудівельного призначення, активні мінеральні добавки, водопотреба цементного тіста, бетонні суміші, жорсткість, рухливість.

Зниження енергоємності та матеріалоємності національного продукту є першочерговою задачею розвитку промислового комплексу України. У галузі будівельного виробництва ця задача може бути вирішена шляхом зменшення витрат основного мінерального в'язучого – портландцементу, загальна енергоємність якого дорівнює 7500 МДж на тону, та за рахунок залучення до складу портландцементу активних мінеральних добавок. Одним з основних напрямів скорочення енергоємності будівельного виробництва, який відповідає існуючим світовим тенденціям, є зменшення кількості клінкерної складової у складі будівельних виробів, шляхом введення до складу цементів загальнобудівельного призначення активних мінеральних компонентів, що знайшло відображення у діючих в Україні нормативних документах [1].

Згідно [1] передбачається можливість використання ряду активних мінеральних добавок, які можна використовувати при виробництві цементу. Але в Україні з них в наявності є тільки золи-виносу і пуцолани природного походження (трепел, опока, діатоміт). В твердіючому цементі вони здатні проявляти пуцоланову активність – зв'язувати вапно в низькоосновні гідросилікати при твердненні у нормальних умовах. Наряду з цим, оскільки дисперсність добавки співрозмірна з розмірами зерен цементу, водопотреба в'язучого зростає зі збільшенням кількості введеної добавки, що, у

відповідності до закону водоцементного відношення [2, 3, 4], впливає на кінцеву міцність композицій.

Метою досліджень було встановлення витрати клінкерної складової в залежності від легкоукладальності бетонних сумішей та марки бетону, що проектується, при використанні у якості в'язучого цементів з активними мінеральними добавками.

За результатами дослідження було визначено вплив активних мінеральних добавок на водопотребу цементного тіста та розрахунковими методами встановлено витрату цементу та витрату клінкерної складової в залежності від марки бетону за легкоукладальністю, активністю цементу та марки бетону, що проектується у порівнянні з цементом без добавок.

Для визначення впливу якісного та кількісного складу портландцементу на його реологічні характеристики, були виготовлені композиції на основі цементу типу ПЦ-І з добавками золи виносу Ладжінської ТЕС та трепелу Коноплянського родовища (Кіровоградської області) склади яких наведені у таблиці 1.

Таблиця 1 – Склади композицій, що досліджувались

№ складу	Клінкер, мас. %	Вид добавки	Кількість добавки, мас. %	Тип цементу
1	100	-	0	ПЦ І
2	94	трепел	6	ПЦ П-П
3	80	трепел	20	ПЦ П-П
4	94	зола-виносу	6	ПЦ П-З
5	80	зола-виносу	20	ПЦ П-З
6	79	трепел + зола-виносу	21	ПЦЦ ІV/А
7	65	трепел + зола-виносу	35	ПЦЦ ІV/А
8	64	трепел + зола-виносу	36	ПЦЦ ІV/Б
9	45	трепел + зола-виносу	55	ПЦЦ ІV/Б

Результати дослідження залежності водопотреби цементу з активними мінеральними добавками, яка визначалася за В/Ц тіста нормальної густини наведені на рисунку 1.

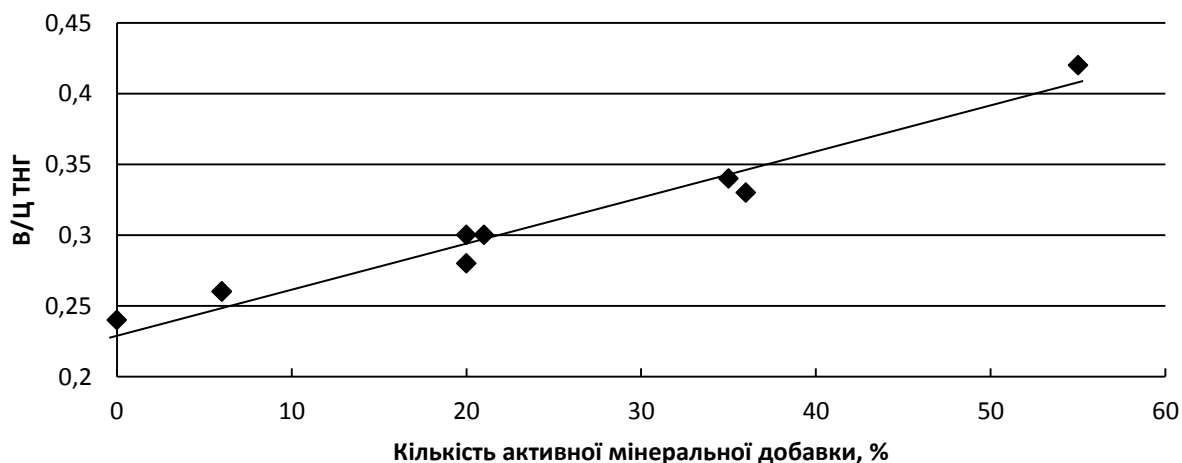


Рис. 1. Залежність В/Ц тіста нормальної густини від кількості активної мінеральної добавки у складі портландцементу.

При визначенні впливу виду та кількості активної мінеральної добавки на реологічні характеристики тіста нормальної густини (рис. 1) встановлено, що із збільшенням кількості добавки у складі портландцементу з добавкою пуцолани (ПЦ П-П), водопотреба тіста нормальної густини збільшується, що супроводжується збільшенням  $V/C_{\text{ТНГ}}$  з 0,26 (при кількості добавки трепелу 6 мас. %) до 0,30 (при кількості добавки трепелу 20 мас. %). Аналогічно, при збільшенні кількості добавки у складі портландцементу з добавкою золи-виносу (ПЦ П-З), водопотреба тіста нормальної густини збільшується та супроводжується збільшенням  $V/C_{\text{ТНГ}}$  з 0,26 (при кількості добавки золи-виносу 6 мас. %) до 0,28 (при кількості добавки золи-виносу 20 мас. %).

При збільшенні кількості комбінованої добавки (трепелу та золи-виносу) у складі пуцоланового цементу (ПЦЦ IV/А), водопотреба тіста нормальної густини збільшується та супроводжується збільшенням  $V/C_{\text{ТНГ}}$  з 0,30 (при кількості добавки 21 мас. %) до 0,34 (при кількості добавки 35 мас. %). Аналогічно, при збільшенні кількості комбінованої добавки (трепелу та золи-виносу) у складі пуцоланового цементу (ПЦЦ IV/Б), водопотреба тіста нормальної густини збільшується та супроводжується збільшенням  $V/C_{\text{ТНГ}}$  з 0,33 (при кількості добавки 36 мас. %) до 0,42 (при кількості добавки 55 мас. %).

Узагальнюючи результати, що отримані при визначенні водопотреби цементного тіста, можливо зробити висновок, що введення до складу портландцементів загальнобудівельного призначення активних мінеральних добавок призводить до збільшення водопотреби цементу, що супроводжується підвищенням значення  $V/C_{\text{ТНГ}}$ .

Розрахунок витрати цементу та клінкерної складової у складі важкого бетону виконувався у відповідності з загальноприйнятою методикою для бетонів рядових складів [2, 3, 4], що відповідає умові:

$$R_b \leq 2AR_c \quad (1),$$

де:  $R_b$  – марка бетону, що проектується;  $R_c$  – активність цементу;  $A$  – коефіцієнт, який характеризує якість заповнювачів ( $A = 0,6$ ).

У цьому випадку міцність бетону розраховується за формулою:

$$R_b = A R_c \left( \frac{C}{B} - 0,5 \right) \quad (2),$$

Значення водоцементного відношення визначається за формулою:

$$\frac{B}{C} = \frac{AR_c}{(R_b + 0,5AR_c)} \quad (3).$$

Розрахунок витрати клінкерної складової здійснювався з урахуванням табличного значення витрати води, необхідної для отримання бетонної суміші з заданою маркою за легкоукладальністю. Розрахунок здійснювався для цементу з нормальною водопотребою ( $V/C_{\text{ТНГ}}=0,24$ ) та для випадків, коли водопотреба цементу збільшувалася за рахунок введення активної мінеральної добавки, що представлено у таблиці 2.

Таблиця 2 – Водоцементне відношення тіста нормальної густини для складів цементів з активною мінеральною добавкою.

№ складу	Тип цементу	Кількість добавки, мас. %	В/Ц тнг
1	ПЦ I	0	0,24
2	ПЦ II-П	6	0,26
3	ПЦ II-П	20	0,30
4	ПЦЦ IV/A	21	0,30
5	ПЦЦ IV/A	35	0,34
6	ПЦЦ IV/Б	36	0,33
7	ПЦЦ IV/Б	55	0,42

Розрахунок витрати клінкерної складової здійснювався за формулою:

$$Ц = \frac{В}{В/Ц} \quad (4),$$

де: В – витрата води, що визначається водопотребою цементу за В/Ц<sub>тнг</sub>; В/Ц – водоцементне відношення, що визначається за формулою (3).

Розрахунок витрати клінкерної складової для бетонів рядових складів виконувався для випадків, що наведені в таблиці 3.

Таблиця 3 – Перелік марок бетонів, що проектується в залежності від марки цементу, що використовується.

Марка цементу	Марка бетону, що проектується					
	600	500	400	300	200	100
500	600	500	400	300	200	100
400	500	400	300	200	100	-
300	400	300	200	100	-	-

Для усіх перелічених випадків були розраховані витрати цементу для важких бетонів з легкоукладальністю Ж4 та П4. На основі отриманих результатів було розраховано витрату клінкерної складової та значення показника економії клікера, який визначався як різниця між витратою клінкеру у складі бетонів на основі цементу без добавок та аналогічним показником у складі бетонів, що проектувалися на основі цементів з активними мінеральними добавками.

Показник економії клінкерної складової (рис. 2) розраховувався як різниця між значенням витрати клінкерної складової у складі бетонів на основі цементу без добавок та значення витрати клінкерної складової для відповідних складів бетонів на основі цементів з активною мінеральною добавкою. Від’ємне значення вказаного показника свідчить про те, що у складі бетонної суміші на основі цементу з добавкою, витрата клінкерної складової перевищує аналогічний показник для складів бетону на основі цементу без добавки.

На основі наведених результатів видно, що максимальне значення економії клінкеру для жорстких сумішей (рис. 2а, 2б, 2в) характерно для складів бетону, що виготовлені з використанням цементу М500 який вміщує 55 мас. % активної мінеральної добавки. При цьому, економія клінкеру при виготовленні бетону марки 600 складає 85 кг/м<sup>3</sup> та поступово зменшується до значення 28 кг/м<sup>3</sup> для бетонів марки 100.

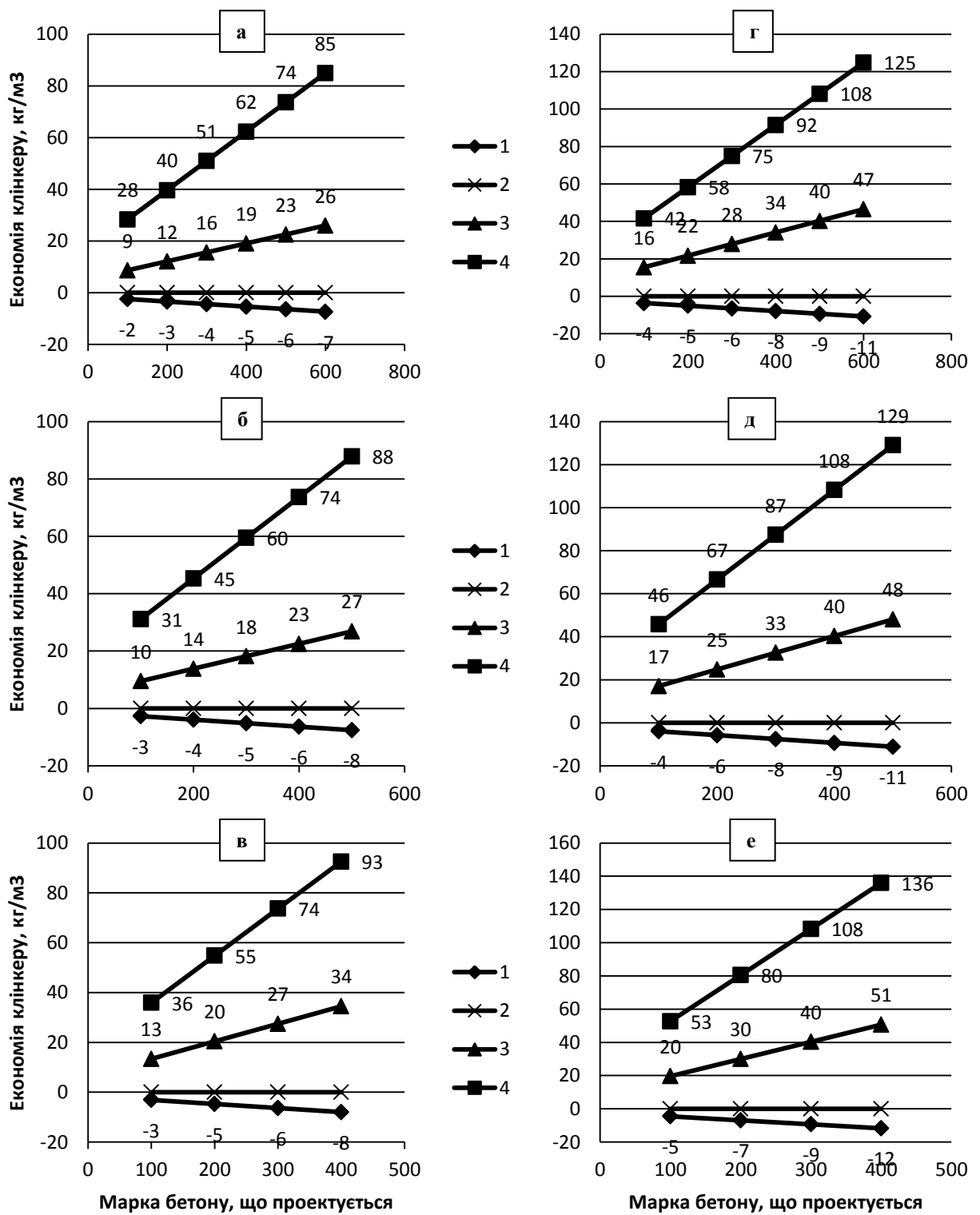


Рис. 2. Економія квінкеру в залежності від марки бетону, що проектується, для жорстких бетонних сумішей (Ж4) при використанні цементу М500 (а), М400 (б), М300 (в) та для литих бетонних сумішей (П4) при використанні цементу М500 (г), М400 (д), М300 (е), в залежності від кількості добавки: 6 мас. % (1), 20 мас. % (2), 35 мас. % (3) та 55 мас. % (4).

Із зменшенням кількості добавки у складі цементу до 35 мас. % економія квінкеру зменшується, а для цементу, що включає 20 мас.% добавки, витрата квінкеру для бетонів усіх складів дорівнює тому ж показнику, що й для бетонів, виготовлених на основі цементу без добавки. Тобто в цьому

випадку економія клінкеру дорівнює нулю. У разі використання цементу з добавкою 6 мас. % витрата клінкеру незначно перевищує аналогічний показник для бетонів, що виготовлені з цементу без активної мінеральної добавки.

Для литих бетонних сумішей (рис. 2г, 2д, 2е) максимальне значення економії клінкеру також характерно для складів бетону, що виготовлені з використанням цементу М500 який вміщує 55 мас.% активної мінеральної добавки. При цьому, економія клінкеру при виготовленні бетону марки 600 складає  $125 \text{ кг/м}^3$  та поступово зменшується до значення  $42 \text{ кг/м}^3$  для бетонів марки 100.

Із зменшенням кількості добавки у складі цементу до 35 мас.% економія клінкеру зменшується, а для цементу, що включає 20 мас.% добавки, витрата клінкеру для бетонів усіх складів дорівнює тому ж показнику, що й для бетонів, виготовлених на основі цементу без добавки. Тобто в цьому випадку економія клінкеру рівна нулю. У разі використання цементу з добавкою 6 мас.% витрата клінкеру незначно перевищує аналогічний показник для бетонів, що виготовлені з цементу без активної мінеральної добавки.

На рисунку 3 показана залежність показника економії клінкеру для жорстких бетонних сумішей (рис. 3а) та для литих бетонних сумішей (рис. 3б) на основі цементу марок 500, 400 та 300, який включає 55 мас.% активної мінеральної добавки.

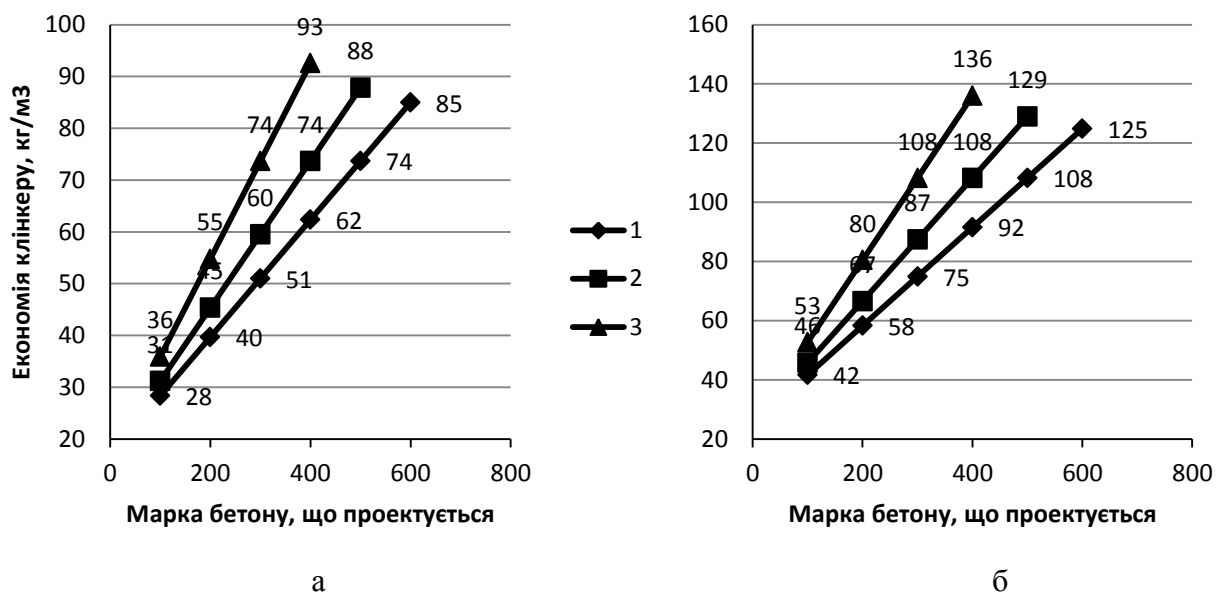


Рис. 3. Значення показника економії клінкеру для жорсткої (а) та литої (б) бетонної суміші на основі цементу марок 500 (1), 400 (2) та 300 (3), який включає 55 мас.% активної мінеральної добавки.

При використанні цементу з максимальною кількістю активної мінеральної добавки (55 мас. %) для жорстких бетонних сумішей максимальної економії клінкеру,  $93 \text{ кг/м}^3$ , вдається досягти при використанні цементу М300 у складі бетону марки 400. При використанні цементу М400

максимальне значення економії клінкеру складає  $88 \text{ кг/м}^3$  у складі бетонній суміші марки 500, а у разі використання аналогічного цементу марки 500, максимальна економія клінкеру,  $85 \text{ кг/м}^3$ , досягається при реалізації бетонної суміші марки 600.

При використанні цементу з максимальною кількістю активної мінеральної добавки (55 мас. %) для литих бетонних сумішей максимальної економії клінкеру,  $136 \text{ кг/м}^3$ , вдається досягти при використанні цементу М300 у складі бетонної суміші марки 400. У разі використання цементу марки 400, максимальне значення економії клінкеру,  $129 \text{ кг/м}^3$ , притаманне бетонній суміші марки 500, а у разі використання аналогічного цементу марки 500, максимальна економія клінкеру,  $125 \text{ кг/м}^3$ , досягається при реалізації бетонної суміші марки 600.

Отже, максимальна ефективність використання клінкеру для виробництва бетонних сумішей досягається у такій відповідності: при виробництві певної марки бетону з використанням цементу марки на сотню нижчої за марку відповідного бетону і максимальної кількості активної мінеральної добавки (55 мас. %). При цьому чим вища марка бетону, тим більше значення показника економії клінкеру.

У разі використання для виробництва бетону цементу з 6 мас. % активної мінеральної добавки витрата клінкеру перевищує аналогічний показник для бетонів, що виготовлені з цементу без активної мінеральної добавки, тоб то спостерігається деяка перевитрата клінкеру. Витрата клінкерної складової при використанні цементу з 20 мас. % активної мінеральної добавки у бетонах різних марок така ж як і при використанні бездобавочних цементів, тоб то економія клінкеру відсутня.

### **Список використаних джерел**

1. ДСТУ Б В.2.7-46:2010 Цементи загальнобудівельного призначення. Технічні умови [Текст]. Чинний 2011-09-01 – К. : Вид-во Мінрегіонбуд України, 2011. – 20 с. – (Національні стандарти України).
2. *Баженов Ю.М.* Технология бетона [Текст] / Ю.М. Баженов. – М. : Изд. АСВ, 2003 – 500 с. - ISBN 5 – 93093 – 138 – 0.
3. *Гоц В.І.* Бетони і будівельні розчини [Текст] : Підручник / В.І. Гоц. – К. : КНУБА, 2003. – 472 с. – ISBN 966 – 7769 – 22 – 4.
4. *Дворкін Л.Й.* Випробування бетонів і будівельних розчинів. Проектування їх складів [Текст] : Навч. посібник / Л.Й. Дворкін, В.І. Гоц, О.Л. Дворкін – К. : Основа, 2014. – 304 с. - ISBN 978 – 966 – 699 - 772 – 5.