

УДК 666.972.162

ПРОЕКТУВАННЯ СКЛАДІВ КОМПЛЕКСНИХ ПЛАСТИФІКУЮЧИХ ДОБАВОК ТА БЕТОНІВ З ЇХ ЗАСТОСУВАННЯМ

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СКЛАДОВ КОМПЛЕКСНЫХ ПЛАСТИФИЦИРУЮЩИХ ДОБАВОК К БЕТОНУ С ИХ ПРИМЕНЕНИЕМ

PROJECTION PART OF COMPLEX PLASTICIZING ADDITIVES TO CONCRETE THEIR APPLICATION

Дворкін Л.Й., д.т.н, проф, Житковський В.В., к.т.н, доц, Скрипник М.М., асп. (Національний університет водного господарства та природокористування)

Дворкин Л.И., д.т.н., проф, Житковський В.В., к.т.н., доц, Скрипник Н.М., асп. (Национальный университет водного хозяйства и природопользования)

Dvorkin L.J, Zhytkovskyy V.V, Skrypnyk M.M.,(The National University of Water and Environmental Engineering)

У статті наведені дослідження можливості раціонального поєднання суперпластифікаторів полікарбоксилатного типу з пластифікуючими добавками інших видів і створення ефективних комплексних добавок, що характеризуються високими пластифікуючим та водоредуруючим ефектами. Наведено приклад оптимізації складів комплексних добавок та розроблена методика проектування складу бетону з використанням комплексної добавки.

В статье приведены исследования возможности рационального сочетания суперпластификаторов поликарбоксилатного типа с пластифицирующими добавками других видов и создания эффективных комплексных добавок, характеризующихся высокими пластифицирующим и водоредуцирующим эффектами. Приведен пример оптимизации составов комплексных добавок и разработана методика проектирования состава бетона с использованием комплексной добавки.

The article deals with the problem of rational combination of polycarboxylates type superplasticizers with other species of plasticizers additives. It also represents the creation of effective integrated additives that are characterized by high plasticizing and water reducing effects. The

example of optimizing the composition of complex additives has been given and developed a method designing of concrete using complex additives.

Введення хімічних добавок і перш за все суперпластифікаторів, є одним з найбільш ефективних шляхів регулювання властивостей бетону і зниження витрати цементу [1]. Останнім часом найбільшої популярності набувають вискоефективні пластифікуючі добавки на основі ефірів полікарбоксилату. Вони відрізняються від відомих пластифікаторів більш високим водоредуруючим ефектом, який дає змогу суттєво підвищити щільність і покращити міцнісні та інші характеристики бетону. Суттєвим недоліком даних пластифікаторів є відносно висока їх вартість. Для зниження вартості і забезпечення поліфункціонального ефекту в технології бетону широко використовують комплексні добавки, які складаються з кількох компонентів, що коригують, доповнюють, а в багатьох випадках посилюють дію кожного з них.

Метою даної роботи було розробити склад комплексних добавок на основі ефірів полікарбоксилату та пластифікаторів інших типів, та розробити методику проектування складу бетону з використанням комплексної добавки.

Дослідження проводились на дрібнозернистому бетоні із застосуванням в якості заповнювача суміші митих гранітних відсівів фракції 0...5 мм з кварцовим піском $M_k = 1,9$ у співвідношенні 1:0,4. Для проведення експериментальних досліджень було використано портландцемент ПАТ «Волинь-цемент» ПЦ І-500Н. Як пластифікуючі добавки використовували суперпластифікатор полікарбоксилатного типу Melflux 2651f BASF, Німеччина), суперпластифікатор нафталін-сульфонатного типу С-3 (Владимирский ЖБК, РФ) та пластифікатор лігносульфонатного типу ЛСТМ (Камский ЦБК, РФ). Випробування проводились на зразках-кубах 7x7 см.

Дослідження були виконані із застосуванням математичного планування експерименту. Для цього були реалізовані алгоритмізовані експерименти за планом «склад-технологія-властивості» [2,3]. У даному плані поєднуються симплекс-планування взаємозалежних факторів суміші компонентів та варіювання незалежних технологічних факторів.

Фактори, що варіювались згідно експериментального плану:

- V_1 - вміст пластифікатора ЛСТМ (0...0,5%);
- V_2 - вміст суперпластифікатора С-3 (0...0,5%);
- V_3 - вміст суперпластифікатора Melflux (0...0,5%);
- X_1 – рухомість суміші (ОК = 3...14 см);
- X_2 – цементно-водне відношення (2,9...2,4)

Після проведення статистичного аналізу експериментальних даних отримані математичні моделі водопотреби бетонної суміші та міцнісних параметрів бетону у вигляді поліноміальних рівнянь регресії типу:

$$y = A_1V_1 + A_2V_2 + A_3V_3 + A_{12}V_1V_2 + A_{13}V_1V_3 + A_{23}V_2V_3 + (Ab)_{11}V_1V_1 + (Ab)_{12}V_1V_2 + (Ab)_{21}V_2V_1 + (Ab)_{22}V_2x_2 + (Ab)_{31}V_3x_1 + (Ab)_{32}V_3x_2 + b_{12}x_1x_2 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 \quad (1)$$

Моделі виду (1) дозволяють виконувати комплекс розрахунків, пов'язаних з прогнозуванням досліджених вихідних параметрів, що характеризують бетонні суміші і бетони при введенні обраних добавок як окремо, так і в різних композиціях.

Позитивний вплив комплексних добавок на міцність бетону, суттєво збільшується при врахуванні їх водоредукуючого ефекту. Останній можна розрахувати за формулою:

$$ВРЕ = \frac{B - B_0}{B_0} \cdot 100\%, \quad (1)$$

де B – витрата води при додаванні пластифікуючої добавки; B_0 – витрата води для бетонної суміші без вмісту пластифікатора.

В табл. 1 наведені коефіцієнти отриманих математичних моделей адекватних в області варіювання досліджених факторів

Таблиця 1

Коефіцієнти математичних моделей

Коеф.	Вихідні параметри				Коеф.	Вихідні параметри			
	ВРЕ, %	Водопотреб, л/м ³	Міцність бетону на стиск (f_{cm}), МПа у віці			ВРЕ, %	Водопотреба, л/м ³	Міцність бетону на стиск (f_{cm}), МПа у віці	
			1 доба	28 діб				1 доба	28 діб
A_1	22	204,5	3,6	34	$(Ab)_{21}$	-11	27,68	-0,12	-3,41
A_2	20	183,5	13,5	35,4	$(Ab)_{22}$	7	0,18	-4,36	-2,80
A_3	32	175,7	13,7	46,8	$(Ab)_{31}$	-7	16,88	-1,18	-5,22
A_{12}	16	-41,34	6,6	49,6	$(Ab)_{32}$	6	4,81	-3,33	-1,00
A_{13}	20	-52,69	4,9	33,1	b_{12}	1	1,20	-0,04	10,64
A_{23}	5	-13,72	-4,9	22,7	b_{11}	2	-5,81	0,67	0,43
$(Ab)_{11}$	-8	21,27	-1,09	2,46	b_{22}	-3	3,57	0,30	-3,41
$(Ab)_{12}$	4	5,56	0,00	-4,83					

Водоредукуючий ефект (ВРЕ) досліджених добавок змінювався в межах 13...28%. На величину водоредукуючого ефекту найбільший вплив становить тип пластифікуючої добавки. Найкращий водоредукуючий ефект (рис. 1) показала добавка на основі полікарбоксилатного ефіру (25...30%) нижчий ВРЕ - добавки на основі лігносульфонату і нафталінформальдегіду (10...15%). При оцінці спільного впливу добавок різного типу найкращий ВРЕ спостерігається при поєднанні суперпластифікатора Melflux і пластифікатора ЛСТМ в однакових співвідношеннях. В даному випадку ВРЕ знаходиться в межах 24...28%, що

наближається до ефекту отриманого при окремому введенні добавки Melflux. Дещо нижчий ВРЕ показали комплексна добавка Melflux і С-3, а також добавка із трьох компонентів Melflux, С-3, ЛСТМ. Аналізуючи спільний вплив добавок за потрібною діаграмою можна встановити, межі добавок, що забезпечують в складі комплексної добавки максимальний водоредукуючий ефект: Melflux – 50...55%, С-3 – 10...15%, ЛСТМ – 30...35%. (рис.1)

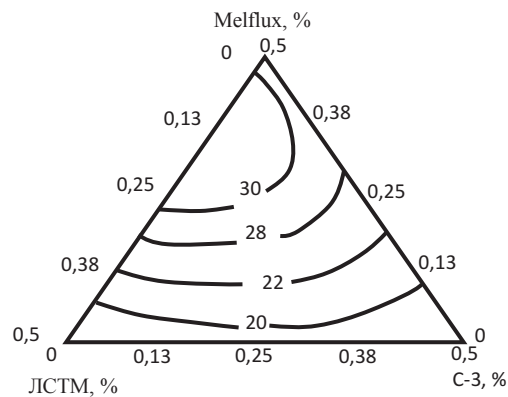


Рис. 1. Спільний вплив добавок на ВРЕ

На рис. 2 наведений за рахунками по моделі міцності бетону вплив добавок при їх загальному вмісті 0,5% від маси цементу на міцність бетону при стиску у віці 28 діб при зміні В/Ц з врахуванням ВРЕ

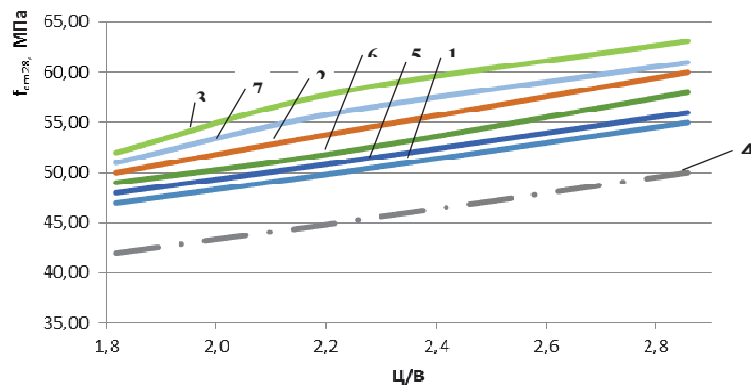


Рис. 2. Вплив добавок при їх загальному вмісті 0,5% від маси цементу на міцність при стиску (f_{cm28}) у віці 28 діб. (з врахуванням водоредукуючого ефекту) 1 – ЛСТМ, 2 – С-3, 3 – Melflux, 4 – бетон без добавок, 5 – ЛСТМ+С-3, 6 – ЛСТМ+Melflux, 7 – С-3+ Melflux, (в комплексних добавках компоненти прийняті в рівних масових співвідношеннях)

Пряма залежність між підвищенням міцності і ВРЕ спостерігається при зміні вмісту в бетоні лише для конкретної добавки. Загальна залежність між приростом міцності в однодобовому віці (Δf_{cm1}), та і у віці 28 діб (Δf_{cm28}) і ВРЕ не є однозначною для бетонів з добавками різних видів (рис. 3).

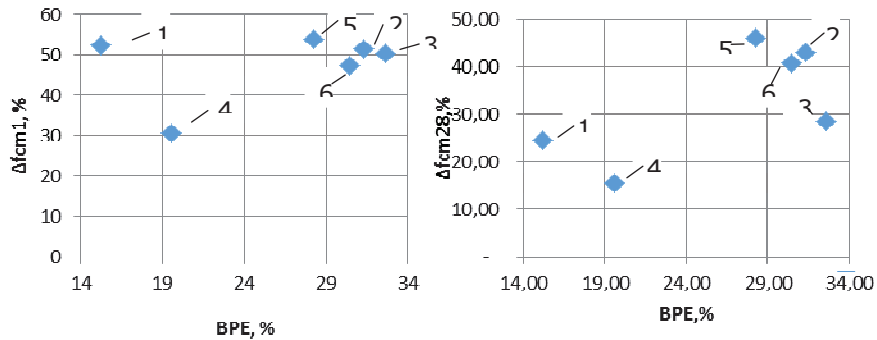


Рис. 3. Залежності зміни міцності (Δf_{cm}) від ВРЕ, %
 1 – С-3; 2 – Melflux; 3 - ЛСТМ+Melflux; 4 - ЛСТМ+С-3; 5 - С-3+Melflux; 6 - ЛСТМ+С-3+Melflux. Загальний вміст добавок 0,5% від маси цементу. (в комплексних добавках компоненти прийняті в рівних масових співвідношеннях)

Приріст міцності подвійних комплексних добавок С-3 і Melflux, а також потрійних в системі ЛСТМ, С-3, Melflux наближається до приросту міцності отриманого при окремому введенні добавки Melflux. Найкращі добавки, що забезпечують максимальний приріст міцності за рахунок врахування їх водоредуруючого ефекту, наведені в табл. 2.

Таблиця 2

Значення приросту міцності у Δf_{cm1} з врахуванням ВРЕ*

Добавки	Співвідношення добавок за масою	ВРЕ, %	Δf_{cm1} , %	Δf_{cm28} , %
С-3	-	15,22	52,49	24,55
Melflux	-	31,30	51,72	43,18
ЛСТМ+С-3	1:1	19,57	30,78	15,60
ЛСТМ+Melflux	1:1	32,61	50,44	28,57
С-3+Melflux	1:1	28,26	53,87	46,08
ЛСТМ+С-3+Melflux	1:1:1	30,43	47,50	40,86

* - загальний вміст добавки 0,5% від маси цементу

Визначення оптимальних складів комплексної добавки залежить від конкретних умов оптимізації. Такими умовами можуть бути: наприклад, забезпечення максимальної міцності бетону в 1 добу при постійній рухомості бетонної суміші або забезпечення максимальної рухомості бетонної суміші без зниження ранньої міцності, та інші.

На рис. 4 показано приклад графо-аналітичного вибору області оптимальних складів комплексної добавки за умови досягнення бетоном міцності на стиск на 1 добу не менше 12 МПа, у 28 діб не менше 60 МПа із забезпеченням водоредукуючого ефекту не менше 20%.

Область складів комплексних добавок, що забезпечують необхідні рівні заданих параметрів, розраховували за математичними моделями, коефіцієнти яких наведені в табл. 1. З рис. 4 випливає, що така область становить: Melflux - 25...35%, С-3 - 40...50%, ЛСТМ - 25...35%.

Отримані математичні моделі міцності бетону з врахуванням ефекту впливу пластифікуючих добавок, дозволяють запропонувати розрахункові формули для вибору Ц/В при проектуванні складів бетонної суміші з добавками. Як показує аналіз (рис. 2) при введенні добавок зберігається практично лінійна залежність міцності бетону від Ц/В. При апроксимації експериментальних даних, розрахункову формулу міцності бетону можна представити у вигляді загальної залежності виду (2), що узгоджується з відомими рекомендаціями [4]:

$$f_{cm} = kAR_{\Sigma} \left(\frac{C}{B} + \alpha \right), \quad (2)$$

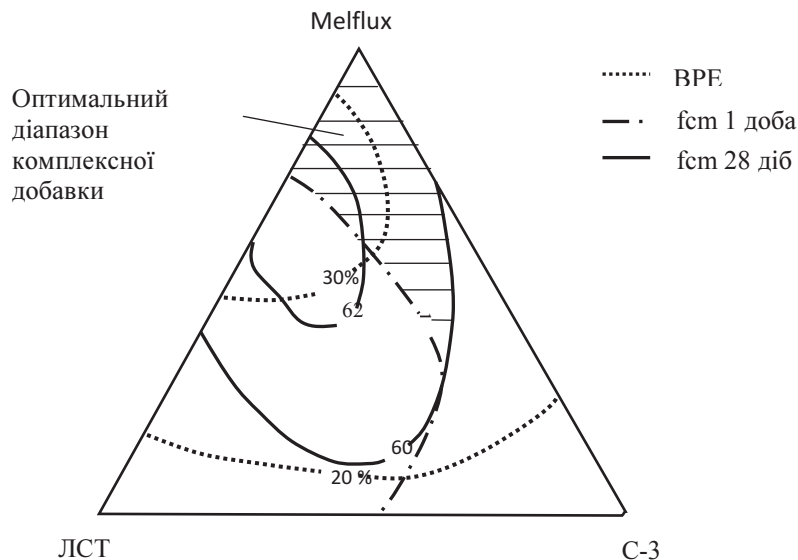


Рис. 4. Приклад вибору області оптимальних складів комплексної пластифікуючої добавки

де k – коефіцієнт який враховує вид добавки, A , v – коефіцієнти, що враховують якість вихідних параметрів, вік бетону, умови тверднення, R_c – активність цементу, МПа, Ц/В – цементно-водне відношення.
В табл. 3 наведені розрахункові значення коефіцієнтів k і v ($A=0,44$). [1]

Таблиця 3

Значення коефіцієнтів у рівнянні міцності (3)

Вид пластифікуючої добавки	Коефіцієнти рівняння	
	k	v
Melflux (0,5%)	0,48	3,2
C-3 (0,5%)	0,44	3,4
ЛСТМ (0,5%)	0,35	4,3
ЛСТМ(0,166%)+C-3(0,166%)+ Melflux(0,166%)	0,55	1,2

З використанням рівняння (2) отриманого в результаті апроксимації даних міцності та математичної моделі водопотреби бетонної суміші з добавками, можна запропонувати методику розрахунку складу дрібнозернистого бетону з комплексною хімічною добавкою.

Методика полягає в наступному:

1. Вибираємо оптимальний склад комплексної добавки за прийнятими критеріями.
2. При вибраному складі добавки визначаємо Ц/В.
3. За експериментальним графіком наведеним на рис. 6, при заданому значенні рухомості бетонної суміші та визначеному значенні Ц/В, визначаємо початкову витрату води (V_0)

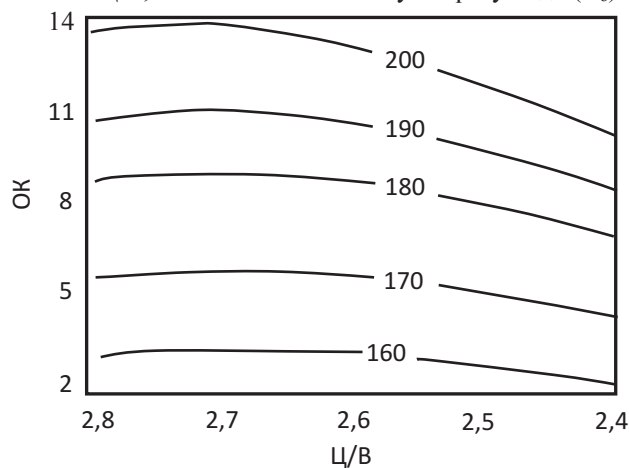


Рис. 6. Графік для вибору початкової витрати води V_0
(графік побудований при наступному вмісті добавок: Melflux - 34%, C-3 – 33%, ЛСТМ – 33%)

4. Задавшись необхідним складом комплексної добавки (рис. 7) визначаємо ΔB з врахуванням вибраного складу добавки.

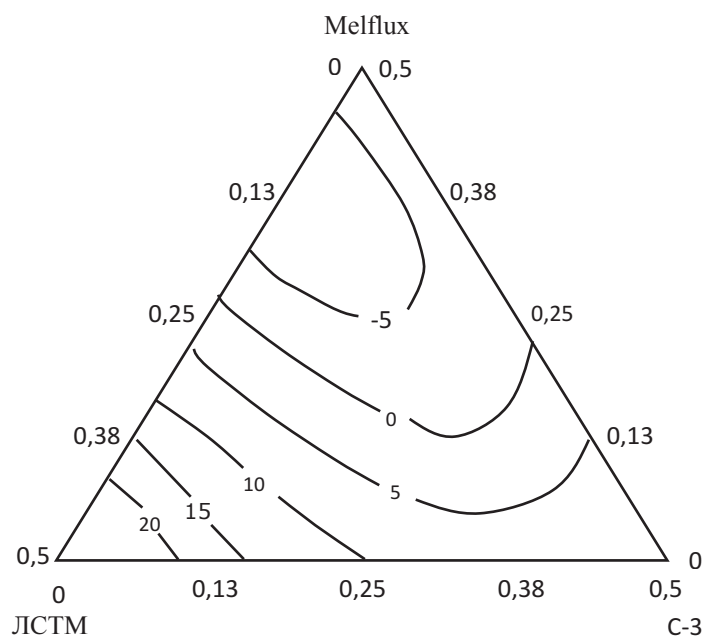


Рис. 7. Графік залежності витрати води від виду добавки.

5. Остаточну витрату води знаходимо за формулою (3)

$$B = B_0 + \Delta B \quad (3)$$

6. За відомим значенням Ц/В знаходимо витрату цементу.

$$Ц = \frac{Ц}{В} \cdot B \quad (4)$$

7. За методом абсолютних об'ємів знаходимо витрату заповнювача.

$$ЗП = \left(1000 - \frac{Ц}{\rho_c} - B\right) \cdot \rho_{зп} \quad (5)$$

де Ц, ЗП, В – витрати відповідно цементу, заповнювача, води в кг на 1 м³ суміші; $\rho_c, \rho_{зп}$ – істинна густина цементу, заповнювача.

8. Із заданого співвідношення заповнювачів, знаходимо їх вміст.

Приклад розрахунку

Розрахувати склад дрібнозернистого бетону з 28-добовою міцністю на стиск 55 МПа. В якості заповнювача використовувався гранітний відсів кварцовий пісок, співвідношення відсівів до піску становить 1:0,4. Рухомість бетонної суміші рівна 7 см. Комплексна добавка використовується в

наступному складі: Melflux – 0,23%, С-3 – 0,17%, ЛСТМ – 0,1%. Загальний вміст добавки 0,5 % від маси цементу.

1. За графіком наведеним на рис. 2. при заданому значенні міцності ($f_{cm} = 55$ МПа) визначаємо значення Ц/В = 2,7
2. За експериментальним графіком наведеним на рис. 6, при рухомості бетонної суміші (ОК = 7 см) та Ц/В = 2,4 визначаємо початкову витрату води ($V_0 = 179$ л/м³).
3. При вибраному складі комплексної добавки з рис. 7 знаходимо $\Delta V. \Delta V = -5$ л.
4. Розрахункову витрату води знаходимо за формулою (4)

$$V = V_0 + \Delta V = 179 - 5 = 174 \text{ л/м}^3$$

5. За відомим значенням Ц/В знаходимо витрату цементу.

$$Ц = 2.7 \cdot 174 = 470 \text{ кг/м}^3$$

6. За формулою (5) знаходимо витрату заповнювача.

$$ЗП = \left(1000 - \frac{470}{2.4} - 174 \right) \cdot 2.5 = 1698 \text{ кг/м}^3$$

7. З врахуванням заданого співвідношення знаходимо витрату відсівів каменеподрібнення (Вс) і піску (П).

$$Вс = \frac{ЗП \cdot n}{1.4} = \frac{1698 \cdot 1}{1.4} = 1213 \text{ кг/м}^3$$

$$П = \frac{ЗП \cdot n}{1.4} = \frac{1735 \cdot 0.4}{1.4} = 485 \text{ кг/м}^3$$

де n – частка компонента в суміші.

Отриманий за розрахунками бетон має наступний склад: цемент – 470 кг/м³, вода – 174 л/м³, відсів – 1213 кг/м³, пісок – 485 кг/м³. Витрата пластифікуючих добавок: Melflux – 1,1 кг/м³, С-3 – 0,8 кг/м³, ЛСТМ – 0,47 кг/м³.

Висновок:

Виконані дослідження показали можливість раціонального поєднання суперпластифікаторів полікарбоксилатного типу з пластифікуючими добавками інших видів і створення ефективних комплексних добавок, що характеризуються високими пластифікуючим та водоредукуючим ефектами. Аналіз поліноміальних моделей отриманих з допомогою планів «склад-технологія-властивості» дозволяє виконати необхідні розрахунки для оптимізації складів комплексних добавок і знаходження основних параметрів складів бетонних сумішей з їх застосуванням.

1. Дворкін Л.Й., Дворкін О.Л. Основи бетонознавства. Київ.: Основа, 2007 – 616с.
2. Вознесенский В. А. Численные методы решения строительно-технологических задач на ЭВМ. В. А.Вознесенский, Т. В. Лященко, Б. Л. Огарков ; ред. В. А. Вознесенский. - Киев : Вища школа, 1989. - 327 с.
3. Дворкін Л.Й., Дворкін О.Л., Житковський В.В. Розв'язування будівельно-технологічних задач метода математичного планування експерименту: Навч. посібник. Рівне: НУВГП, 2011. – 175 с.
4. Баженов Ю.М. Технология бетона. Учебник. Москва.: Изд-во АСВ, 2002 - 500 с.