

Для прямокутної пластинки роботу внутрішніх сил можна записати у вигляді

$$V = \iint_{\Omega} \left\{ \left( \frac{\partial^2 \omega}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \omega}{\partial y^2} \right)^2 - 2(1-\varepsilon) \left[ \frac{\partial^2 \omega}{\partial x^2} \cdot \frac{\partial^2 \omega}{\partial y^2} - \left( \frac{\partial^2 \omega}{\partial x \partial y} \right)^2 \right] \right\} dx dy, \quad (6)$$

де  $\Omega$  – область інтегрування (прямокутник із сторонами  $a$  і  $b$ ).

Робота зовнішніх сил за дії трьох чинників дорівнює

$$T = \iint_{\Omega} t \left[ \frac{\sigma}{2} \left( 1 - \frac{\alpha y}{b} \right) \left( \frac{\partial \omega}{\partial x} \right)^2 + \frac{p(x, y)}{2} \left( \frac{\partial \omega}{\partial x} \right)^2 + \tau \frac{\partial \omega}{\partial x} \cdot \frac{\partial \omega}{\partial y} \right] dx dy. \quad (7)$$

Для сталезалізобетонних конструкцій загалом та із зовнішнім листовим армуванням зокрема проблема місцевої стійкості сталевих стінок є доволі актуальною. Методики щодо її розрахунку в нашій країні не існує, тому були розглянуті існуючі методики розрахунку сталевих стінок загалом. У розрахунках на стійкість сталевих листів прийнято представляти його як пластинку, що розташована між поясами і сусідніми поперечними основними ребрами жорсткості.

1. Броуде Б.М. Устойчивость пластинок в элементах стальных конструкций. – М.: Издательство и типография Машиностроиздата в Ленинграде, 1949. – 240 с. 2. Клименко Ф.Е. Сталебетонные конструкции с внешним полосовым армированием. – К.: Будівельник, 1984. – 88 с. 3. Сколибод О.В. Сталезалізобетонні балки із зовнішнім листовим армуванням // Металлические конструкции: взгляд в прошлое и будущее: Сборник докладов VIII Украинской научно-технической конференции. – Часть 2. – К.: Изд-во „Сталь”, 2004. – С. 21–28. 4. Залізобетонні конструкції в незнімній опалубці: Монографія / Л.І. Стороженко, О.І. Лапенко. – Полтава: ПолтНТУ, 2008. – 312 с. 5. Стороженко Л.І., Лапенко О.І. Проектування й будівництво сталезалізобетонних конструкцій в незнімній опалубці // Міжвідомчий науково-технічний збірник «Науково-технічні проблеми сучасного залізобетону». – К.: НДІБК, 2007. – Вип. 67. – С. 750–758.

УДК 666.972

Б.В. Федунь, Н.І. Топилко, О.Р. Позняк, Я.В. Топилко\*

Національний університет “Львівська політехніка”,  
кафедра автомобільних шляхів,

\*ВАТ “Львівський завод залізобетонних виробів №2”,  
відділ технічного контролю

## ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ХІМІЧНИХ ДОДАТКІВ-МОДИФІКАТОРІВ ПІД ЧАС ВИГОТОВЛЕННЯ ТОНКОСТІННИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ВИРОБІВ

© Федунь Б.В., Топилко Н. І., Позняк О.Р., Топилко Я.В., 2009

**Встановлено кількісний технологічний і економічний позитивний ефект від використання комплексного додатка-модифікатора у промисловому виробництві тонкостінних залізобетонних виробів.**

**The quantitative technological and economic positive effect from making use of the complex modifying admixture in the industrial manufacture of thin ferroconcrete products is determined.**

**Вступ.** У сучасних умовах виникає гостра необхідність у раціональному використанні компонентів бетонної суміші, особливо в'язучої речовини – портландцементу. Ефективним методом економії цементу, покращання властивостей бетонної суміші та бетону є застосування хімічних додатків. Сьогодні у багатьох промислово розвинених країнах частка бетону, який укладається із застосуванням хімічних додатків, досягає 90–100 % [1].

Використання хімічних додатків-модифікаторів забезпечує ефективне виготовлення тонкостінних густоармованих конструкцій, покращання реологічних властивостей бетонної суміші, дає змогу підвищити оборотність форм, знизити час та температуру тепловологої обробки (ТВО).

**Постановка проблеми.** Виготовлення тонкостінних армованих виробів вимагає використання пластичних бетонних сумішей з підвищеною витратою цементу та високою рухливістю. Відомо, що портландцементи загальнобудівельного призначення у бетонних сумішах з підвищеною рухливістю, характеризуються уповільненим набором міцності бетону у ранній період. Крім того, висока витрата портландцементу у бетонних сумішах сприяє деформації усадження бетону, що призводить до появи тріщин на поверхні затверділого каменю, пошкодження пасивуючого шару і корозії арматури. Під час використання бетонних сумішей зі знизеним водоцементним відношенням (жорстких або з маркою за легкоукладальністю P1, P2) обов'язковою умовою є віброукладання виробів. За недостатньої тривалості вібрування спостерігається недоуцільнення бетонної суміші і зниження міцності бетону, а довготривале вібрування не забезпечує бажаної щільності і міцності бетону, крім того, можливе розшарування бетонної суміші [2, 3].

Відомо, що цемент у шестимісячному віці зв'язує до 10 % води, навіть за повної гідратації цементу кількість зв'язаної води становить всього 20 %. При цьому кількість води, яка необхідна для отримання заданої легкоукладальності бетонної суміші, значно перевищує вищевказані величини. Орієнтовно вміст води має становити 45–65 % від маси цементу залежно від необхідної рухливості бетонної суміші і виду в'язучої речовини та заповнювачів. Отже, в середньому четверта частина води замісу вступає в хімічну реакцію з цементом, стільки ж води (капілярної, плівкової) знаходиться у фізично зв'язаному стані, решта (до 50 %) – забезпечує легкоукладальність суміші. Для збільшення показників міцності і довговічності бетону необхідно зменшити вміст води, а для покращання легкоукладальності, яка забезпечує щільне і однорідне укладання бетонної суміші, – підвищити. Така непослідовність в технології бетону вирішується шляхом розроблення і впровадження заходів, які забезпечують отримання бетонних сумішей необхідної легкоукладальності відповідно до прийнятого способу формування. Як показали багаточисленні дослідження та практичний досвід, найбільш економічним і ефективним способом, який сприяє зменшенню водовмісту бетону, є введення до його складу поверхнево-активних речовин, які завдяки своїм пластифікуючим властивостям підвищують легкоукладальність бетонної суміші без збільшення витрати води [4].

Введення хімічних додатків-модифікаторів до бетонної суміші дає змогу підвищити її марку за легкоукладальністю, що полегшує заповнення армованих форм виробів, із одночасним зниженням водоцементного відношення, що, своєю чергою, забезпечує зменшення пористості та підвищення міцності бетону.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Дослідження бетонів з комплексними хімічними модифікаторами є одним з головних завдань сучасного бетонознавства. Використання модифікаторів забезпечує ефективне вкладання бетонної суміші, збільшує оборотність форм для виготовлення тонкостінних густоармованих конструкцій підвищеної міцності, дає змогу проводити будівельні роботи як у зимових, так і в сухих спекотних умовах [2, 3].

Питанням щодо застосування, встановлення механізму дії, розроблення рекомендації використання хімічних додатків-модифікаторів під час виробництва бетону займалися В.Г. Батраков, П.А. Глубіш, Р.Ф. Рунова, М.А. Саницький, А.В. Ушеров-Маршак та інші [5, 6].

В Україні нагромаджений значний досвід використання хімічних додатків-модифікаторів вітчизняного (Релаксол, Амкірод, Дофен тощо) та іноземного виробництв (Agiplast (Франція), Addiment FM 32-62, Izola Bauchemie (Німеччина), Protard (США)), однак в літературних даних та рекомендаціях щодо застосування цих додатків у неповному обсязі враховані усі чинники виробництва підприємств з виготовлення залізобетонних виробів та конструкцій.

Відомими в Україні та країнах СНД є хімічні додатки-модифікатори виробництва ВАТ “Поліпласт-Україна” (м. Харків), які рекомендують застосовувати у виробництві збірного залізобетону густоармованих, тонкостінних та складної конфігурації конструкцій. Використання комп-

лексних додатків ВАТ “Поліпласт-Україна” на основі натрієвих солей поліметиленафталінсульфонокислот дає змогу покращати технологічні властивості бетонної суміші та фізико-механічні показники бетону, проте недостатньо інформації щодо практичного застосування вказаних додатків у виробництві тонкостінних армованих залізобетонних виробів.

Доцільність використання додатків визначається досягненням різноманітних технологічних та економічних показників ефективності під час виробництва і експлуатації залізобетонних виробів і конструкцій та спорудження будівель.

Комплексні добавки на основі натрієвих солей поліметиленафталінсульфонокислот різноманітної молекулярної маси мають відмінні пластифікуючі властивості та ефективну водоредукуючу дію, значно підвищують легкоукладальність бетонної суміші та забезпечують високу динаміку набору механічної міцності бетону протягом усього терміну тверднення, характеризуються стабільним складом, чіткоспрямованою технологічною дією та позитивно зарекомендували себе під час виробництва легких і важких товарних бетонів, збірних конструкцій із високоміцного бетону вище від класу В20, напірних залізобетонних труб, густоармованих конструкцій на стендах (типу ферм, балок, колон, прогінних споруджень мостів), плит та панелей у касетах на поточно-агрегатних і конвеєрних лініях, під час будівництва відповідальних конструкцій монолітних споруд з підвищеним ступенем армування і складною конфігурацією [4].

Під час виробництва попередньо напружених конструкцій розріджувальний ефект комплексних додатків на основі натрієвих солей поліметиленафталінсульфонокислот різноманітної молекулярної маси використовують для полегшення укладання бетонної суміші без зниження механічної міцності протягом усього терміну тверднення, виключення хибного тужавіння цементу, підвищення термінів збереження рухливості бетонної суміші, підвищення механічної міцності на 10–20 %, морозостійкості бетону на 20–25 %, а також водо- та газонепроникності без збільшення витрати цементу, що є важливим під час виробництва високоміцних бетонів та сприяє підвищенню виробництва продукції, економії цементу, зменшенню терміну передачі напруження з арматури на бетон. Розріджувальний ефект таких комплексних додатків доцільно використовувати під час бетонування тонкостінних, густоармованих, складної конфігурації конструкцій, монолітних підлог, доріг [4].

Використовуючи комплексні добавки на основі натрієвих солей поліметиленафталінсульфонокислот, можна отримати високоміцні бетони із високорухливих та литих бетонних сумішей. В технології виготовлення високоміцних бетонів комплексні добавки на основі натрієвих солей поліметиленафталінсульфонокислот дають змогу: отримати бетони марки М600 під час використання портландцементів марки М500 і шлакопортландцементів марки М400; знизити витрату високомарочних цементів (М500, М600) за збереження марки бетону замінити дефіцитний грубий високоміцний заповнювач на менш міцний.

**Мета і завдання досліджень.** Вивчення технологічної та економічної ефективності дії суперпластифікатора “Поліпласт СП-1” на основі суміші натрієвих солей поліметиленафталінсульфонокислот виробництва ВАТ “Поліпласт-Україна” (м. Харків) на властивості бетонів у виробничих умовах під час виготовлення тонкостінних армованих виробів. Встановити можливість економії цементу, зниження температури та тривалості ТВО виробів, збільшення оборотності форм.

**Експериментальні дослідження.** При одержанні бетонів класу В15-25 для окремих видів залізобетонних виробів на ВАТ “Львівський завод залізобетонних виробів №2” використовували портландцемент ПЦ ІІ/А-ІІІ-500 (ДСТУ БВ.2.7.46-96) ВАТ „Волиньцемент” з фізико-механічними показниками: питома поверхня –  $S_{\text{пит}}=290 \text{ м}^2/\text{кг}$ , залишок на ситі №008 – 9,2 %, початок тужавіння – 1 год 35 хв, кінець тужавіння – 2 год 45 хв, активність у віці 2; 7; 28 дів відповідно 26,3; 35,6 та 54,8 МПа; дрібний заповнювач – пісок Ясинецького родовища (ДСТУ Б.В. 2.7.-32-95) з модулем крупності  $M_{\text{кр}} = 1,28$ , насипною густиною –  $1390 \text{ кг/м}^3$ , істинною густиною –  $2590 \text{ кг/м}^3$ , порожнистістю – 45,1 %, вмістом пилюватих та глинистих домішок – 1,2 %; грубий заповнювач – гранітний щебінь Томашгородського родовища (ДСТУ Б.В.2.7.-74-98) фракції 5–20 мм, вміст пилюватих та глинистих домішок – 0,6 %, вміст зерен пластинчастої та голчастої форми – 10 %, марка за механічною міцністю – 120 МПа, морозостійкість – 300. Як комплексний пластифікуючий додаток використовували суперпластифікатор “Поліпласт СП-1” на основі суміші натрієвих солей

поліметиленафталінсульфоокислот різноманітної молекулярної маси виробництва ВАТ “Поліпласт-Україна” (м. Харків). Суперпластифікатор “Поліпласт СП-1” вводили у вигляді водного розчину робочої концентрації в кількості 0,3–0,8 мас. % сухої речовини від маси цементу.

Суперпластифікатор “Поліпласт СП-1” рекомендують використовувати у виробництві збірного залізобетону і конструкцій з монолітного важкого бетону класів за міцністю на стиск вище В15; у виробництві конструкцій із дрібнозернистого бетону класів за міцністю вище В10, густоармованих або тонкостінних конструкцій та конструкцій зі складною конфігурацією; за необхідності виробництва бетонних сумішей з використанням нестандартних заповнювачів і дрібних пісків, шлакопортландцементу, пуцоланового і глиноземистого цементів. Максимальна ефективність використання суперпластифікатора “Поліпласт СП-1” досягається під час виготовлення високорухливих сумішей Р4 та Р5 та високоміцних бетонів класу вище В40. Використання суперпластифікатора “Поліпласт СП-1” дає змогу: збільшити рухливість бетонної суміші від Р1 до Р5 без зниження міцності і довговічності бетону (за незмінного вмісту води і цементу); підвищити міцнісні характеристики бетону на 20 % і більше (за рахунок зменшення витрати води за незмінної витрати цементу і рухливості бетонної суміші); отримати бетони з високою водонепроникністю (W8 і більше), морозостійкістю (F300 і більше) і корозійною стійкістю; знизити витрату цементу на 15–20 % в рівнорухливих сумішах; знизити тривалість і енергетичні затрати на віброукладання бетонної суміші (в деяких випадках повністю відмовитись від вібрування) та ТВО бетону [6].

Промисловими випробуваннями досліджено вплив суперпластифікатора “Поліпласт СП-1” на властивості залізобетонних виробів та встановлено, що за мінімального вмісту додатка (0,3 мас.%) і збереження сталої рухливості бетонної суміші знижується водоцементне відношення, що дає змогу одержати бетони вищого класу міцності. Як показали результати випробувань, міцність виробів вже на третю добу сягає відпускну міцності (70 % від марочної міцності), що підвищує оборотність форм залізобетонних виробів. Використання суперпластифікатора “Поліпласт СП-1” уможливило реалізувати основний технологічний ефект: за збереження марки бетонної суміші за рухливістю та витрати цементу – водоцементне відношення знижується на 12–18 %, а механічна міцність зростає у 1,4–1,7 рази (табл. 1).

Таблиця 1

**Результати випробувань залізобетонних виробів  
з додатком-суперпластифікатором “Поліпласт СП-1”**

Назва продукції	Клас бетону	ОК, (см) Ж, (сек.)	Тип тверднення бетону	Кількість додатка (мас.%)	В/Ц	Границя міцності за стиску, (МПа), міцність бетону від проектної марки (%) у віці, (дів)				
						1*	3	7	14	28
Кільця каналізаційні	15	20 сек	природне	б/д	0,30	-	11,6 (58%)	13,2 (66%)	14,2 (71%)	18,4 (92%)
				0,3	0,25	-	15,0 (75%)	17,9 (89%)	18,9 (95%)	19,7 (99%)
Перемички	15	4 см	3,5 год перед ТВО +2,5 год ТВО за 85 °С	б/д	0,42	12,0 (60%)	13,6 (68%)	16,0 (80%)	18,2 (91,%)	19,6 (98%)
				0,3	0,35	14,1 (70%)	15,2 (76,%)	21,5 (107%)	22,3 (112%)	25,8 (120%)
Лотковий елемент	20	4 см	4 год перед ТВО +2 год ТВО за 85 °С	б/д	0,44	15,0 (60%)	18,0 (72%)	21,0 (84%)	23,5 (94%)	24,5 (98%)
				0,3	0,36	15,7 (64%)	20,6 (82%)	24,4 (97%)	25,9 (104%)	26,0 (104%)
Паркани (П5-в)	20	3 см	4 год перед ТВО +2,5 год. ТВО за 85 °С	б/д	0,41	16,2 (54%)	20,4 (68%)	22,8 (76%)	24,6 (82%)	28,5 (95%)
				0,3	0,36	16,9 (59%)	23,0 (76%)	24,6 (82%)	27,7 (92%)	28,9 (97%)

Примітка: 1\* – міцність бетону після ТВО.

Технологічну та економічну ефективність використання суперпластифікатора “Поліпласт СП-1” в бетонних сумішах під час виготовлення тонкостінної залізобетонної продукції наведено в табл. 2 та 3 відповідно.

Згідно з результатами виробничих досліджень технологічна ефективність використання суперпластифікатора “Поліпласт СП-1” у бетонних сумішах під час виготовлення тонкостінної залізобетонної продукції полягає у гомогенізації та зниженні розшаровуваності бетонної суміші, підвищенні щільності, непроникності, міцності та якості бетону. Використання цього суперпластифікатора спрощує технологію формування виробів, дає змогу відмовитись від шкідливого та енергомісткого обладнання для віброущільнення бетонних сумішей, що поліпшує умови праці та знижує трудозатрати, сприяє набору відпускної міцності виробів уже на третю добу, що зменшує витрату металу на опалубні форми. Важливим ефектом використання суперпластифікатора “Поліпласт СП-1” є зниження температури ТВО, що позитивно впливає на якість виробів, оскільки основні процеси, які викликають деструктивні явища в бетоні, що пропарюється, значно інтенсифікуються за температур, вищих від 60<sup>0</sup>С. Отже, покращання легкоукладальності бетонних сумішей, зниження температури та тривалості ТВО дає змогу істотно знизити енергозатрати на виробництво залізобетону.

Таблиця 2

**Технологічна ефективність використання суперпластифікатора  
“Поліпласт СП-1” (0,3–0,8 мас.%)**

Технологічний показник	Зміна технологічного показнику порівняно із складом без додатка	
	за В/Ц=const	за ОК= const
Зменшення тривалості та інтенсивності вібрації, разів	3-5	1,3-1,5
Зменшення тривалості формування виробів та конструкцій, разів	3-10	1,2-1,3
Підвищення механічної міцності бетону та виробів на його основі, %	5-10	20-40
Підвищення терміну експлуатації форм, разів	1,5-2	1,1-1,3
Покращання якості лицьової поверхні виробів, %	10-30	5-15
Зменшення тривалості ТВО, год	0,5-1	2-6
Зниження температури ТВО, <sup>0</sup> С	10-15	15-25

Під час використання суперпластифікатора “Поліпласт СП-1” (0,3–0,8 мас.% від маси цементу) витрата цементу в середньому зменшується на 6–13 %, при цьому економічна ефективність затрат на матеріали становить 5,3–10,3 грн/м<sup>3</sup>, що дорівнює 2–4 % від загальної вартості матеріалів станом на третій квартал 2008 року.

Таблиця 3

**Економічна ефективність використання  
суперпластифікатора “Поліпласт СП-1” (0,3–0,8 мас.%)**

Назва продукції	Клас бетону	Вміст додатка, мас.%	Бетонна суміш				Зниження витрати цементу (%)
			В/Ц	густина, кг/м <sup>3</sup>	витрата цементу, кг/м <sup>3</sup>	ОК, (см) Ж, (сек)	
Кільця каналізаційні	15	б/д	0,30	2405	250	20 сек	-
		0,3	0,30	2385	235	20 сек	6
		0,8	0,28	2340	227	22 сек	9
Лотковий елемент	15	б/д	0,44	2410	320	4 см	-
		0,3	0,44	2392	307	4 см	4
		0,8	0,44	2381	301	4 см	6,5
Паркани (П5-в)	20	б/д	0,40	2407	360	3 см	-
		0,3	0,38	2345	320	3 см	12
		0,8	0,37	2330	310	3 см	13,8

**Висновок.** Промисловими випробуваннями встановлений позитивний економічний та технологічний ефект від використання комплексного додатка суперпластифікатора “Поліпласт СП-1” виробництва ВАТ “Поліпласт-Україна” на основі суміші натрієвих солей поліметиленафталінусульфоокислот різноманітної молекулярної маси під час виготовлення тонкостінних густоармованих виробів, який полягає у покращанні властивостей бетонних сумішей, зниженні енергетичних затрат на віброукладання бетонної суміші, температури та тривалості ТВО виробів, підвищенні механічної міцності бетону.

1. Саницький М.А., Пристай В.А., Дармограй О.Я. Модифіковані бетони для монолітного будівництва // Вісник Національного університету “Львівська політехніка” “Теорія і практика будівництва”. – 2007. – №600. – С. 264–269. 2. Рунова Р.Ф., Гоц В.І., Саницький М.А. та ін. Конструкційні матеріали нового покоління та технології їх впровадження у будівництво. – К.: УВПК „ЕксОб”, 2008. – 360 с. 3. Химические и минеральные добавки в бетон / Под ред. А.В. Ушерова-Маршака. – Харьков: Колорит. – 2005. – 280 с. 4. Касторных Л.И. Добавки в бетоны и строительные растворы: Учеб.-справ. пособие. – 2-е изд. – Ростов на Дону: Феникс. – 2007. – 221 с. 5. Модифікатори нової генерації для бетонів / М.А. Саницький, О.Р. Позняк, У.Д. Марущак, М.М. Чемерис та ін. // Будівельні матеріали та виробы. – 2006. – №1. – С. 5–7. 6. Саницький М.А., Позняк О.Р., Кіракевич І.І., Русин Б.Г. Високофункціональні бетони на основі модифікаторів нової генерації // Вісник Національного університету “Львівська політехніка” “Теорія і практика будівництва”. – 2008. – №627. – С. 191–197.

УДК 624.012.004.69

Р.Є. Хміль, Р.В. Вашкевич, Я.З. Бліхарський  
Національний університет “Львівська політехніка”,  
кафедра будівельних конструкцій та мостів

## НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН ЗАЛІЗОБЕТОННИХ БАЛОК, ПОШКОДЖЕНИХ АГРЕСИВНИМ СЕРЕДОВИЩЕМ

© Хміль Р.Є., Вашкевич Р.В., Бліхарський Я.З., 2009

Наведено результати експериментальних випробувань залізобетонних балок, що перебували під впливом агресивного середовища та навантаження, і лише агресивного середовища. Виконано порівняння параметрів міцності та деформативності експериментальних балок.

**Strengthening of the reinforced concretes beams by arranging of holder under loading of different intensity is examined in the article. The results of experimental researches of the increased reinforced concretes beams are given.**

**Постановка проблеми.** Більшість залізобетонних конструкцій будівель та споруд експлуатуються в агресивному навколишньому середовищі. Дія агресивного середовища викликає корозію бетону та арматури залізобетонних конструкцій і, як наслідок, зменшує їх несучу здатність та експлуатаційну придатність. Це накладає свій відбиток на вимоги до їх проектування та прогнозування ресурсу безпечної експлуатації. Для адекватної оцінки експлуатаційного терміну різних будівель з корозійними пошкодженнями конструкцій необхідно в кожному конкретному випадку враховувати взаємну дію різних чинників на їх працездатність. Особливістю корозії залізобетонних конструкцій реальних будівель та споруд є те, що процеси руйнування проходять за навантаження, як мінімум, від власної ваги конструкцій, за наявності певного рівня напружень в бетоні та арматурі. Це вносить свої особливості в корозійні процеси. Сьогодні ця проблема недостатньо вивчена і тому є актуальною і потребує дослідження.