

УДК 691.542

ВПЛИВ КОМПЛЕКСНОЇ ПОЛІФУНКЦІОНАЛЬНОЇ ДОБАВКИ НА ВЛАСТИВОСТІ ТАМПОНАЖНОГО ЦЕМЕНТУ

INFLUENCE OF A COMPLEX POLYFUNCTIONAL ADDITIVE ON THE PROPERTIES OF OIL-WELL CEMENT

Кротюк О. І. аспірант, ORCID: 0009-0007-2712-8644, (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)

Krotiuk O. I. PhD student, ORCID: 0009-0007-2712-8644, (National University of Water and Environmental Engineering, Rivne)

В статті викладені результати досліджень ефективності вводу поліфункціональної добавки полікарбоксилатного суперпластифікатора та ефіру целюлози під час помелу тампонажного цементу. Отримані поліноміальні моделі які дозволяють визначити вплив добавок складу цементу на водовідділення, розтікання а також відповідний час загуснення та міцність. Показано комбінації впливу вводу полікарбоксилатного суперпластифікатора та ефіру целюлози на основні нормовані параметри. Отримано результати які дозволяють зменшити водовідділення при цьому не впливаючи на розтікання, час загуснення та міцність. При введенні 0,05% полікарбоксилатного суперпластифікатора та 0,02 % ефіру целюлози під час помелу тампонажного цементу спостерігається зниження водовідділення з 8,5 мл до 0,2 мл з дотриманням необхідної пластичності цементного тіста з розтіканням 250 мм.

The article describes studies of effectiveness adding polyfunctional additive of polycarboxylate superplasticizer and cellulose ethers during grinding process of oil-well cement. Were obtained polynomial models that allow determining the influence of cement composition additives on water separation, spreading, as well as the corresponding thickening time and strength. Were shown the influence of introduction combinations of a polycarboxylate superplasticizer and cellulose ether on the main normalized parameters. Were obtained results that allow reducing water separation without affecting spreading, thickening time and strength. With adding 0.05% of a polycarboxylate superplasticizer and 0.02% of cellulose ether during grinding of oil-well cement is observed a decrease in water separation from 8.5 ml to 0.2 ml while maintaining the required plasticity of the cement paste with a spreading of 250 mm. In addition, another parameter like thickening time and flexural strength are at the

sufficient level, not less than 3,5 MPa. But during adding polycarboxylate superplasticizer and cellulose ether as in composition and as separately observing decrease in flexural and compressive strength for about 1-1,5 MPa. Increased specific surface area and superplasticizer has a positive effect on the strength index and increases it by 3 MPa. Also the combination of cellulose ether content and superplasticizer has a negative effect on the compressive strength at the age of 28 days and decreases it by 3.5 MPa. Superplasticizer has a significant positive effect for spreading and for water consumption. Any dosage of superplasticizer and cellulose ether does not reduce the thickening time of cement paste to the critical value of 90 min. This study opens up a possible way to control the sedimentation process and allow to get oil-well cement paste without any free water separation and in compliance with all other regulatory requirements.

Ключові слова: тампонажний цемент, тонина помелу, полікарбоксилатний суперпластифікатор, ефір целюлози, водовідділення, розтікання, час загуснення до консистенції 30 Вс
oil-well cement, finesses of cement, polycarboxylate superplasticizer, cellulose ether, free water separation, spreading, thickening time to a consistency 30 Вс.

Вступ та аналіз останніх досліджень. Під час закачування тампонажного тіста в свердловину важливо мати достатнє розтікання (не менше 200 мм) цементного тіста та найменше водовідділення (щоб наближалось до 0 мл). Ці параметри дозволяють отримати якісне цементне тісто, що напряду впливає на структуру бетонної обсадної колони в свердловині. В минулому нашому дослідженні [1] ефір целюлози додавався під час помелу тампонажного цементу та було отримано результати, що мали показники водовідділення 5,5 мл. та розтікання 220 мм, які допустимі та відповідають діючим вимогам. Дані показники можна покращити, що і було виконано в нашому дослідженні.

Мета, матеріали і методи досліджень. Метою досліджень є оцінити вплив вводу комплексної поліфункціональної добавки полікарбоксилатного суперпластифікатора та ефіру целюлози безпосередньо під час помелу цементу. Для досліджень використовувався клінкер який мав наступний мінералогічний склад: $C_3S - 55,2\%$; $C_2S - 24,9\%$; $C_3A - 1,43\%$; $C_4AF - 12,02\%$. Гіпсовий камінь, що додавався до цементу, мав вміст двоводного гіпсу 94,3%. В якості суперпластифікатора використовувався сухий концентрат суперпластифікатора 3-го покоління, полікарбоксилат «LitoПласт-ПСК/Л» з вмістом основної речовини 97,2 %. В якості ефіру целюлози використовувався метилгідроксиетилцелюлоза (МНЕС) на біологічній основі з вмістом біовуглецю приблизно понад 78%. Згідно попередніх досліджень [1] відсоток вводу ефіру целюлози прийняли 0,02%. Водовідділення та розтікання цементного тіста визначали згідно методик ДСТУ Б В.2.7-86-99 [2]. Поряд з

цим також отримані цементи перевірялись на відповідність іншим вимогам згідно ДСТУ Б В.2.7-88-99 [3], а саме: міцності на згин у віці 1 доба та часу загуснення до консистенції 30 Вс. Згідно ДСТУ для тампонажного цементу типу I міцність на згин у віці 1 доба повинна бути не менше 3,5 МПа, а час загуснення до консистенції 30 Вс не менше 90 хв. Для встановлення взаємозв'язку впливу вмісту суперпластифікатора, питомої поверхні цементу та вмісту ефіру целюлози, було застосовано повнофакторний експеримент (ПФЕ) [4] для трьох факторів. Помел цементу виконували на лабораторному млині зі змішаним кульово-цильпесним завантаженням. При виконанні досліджень вміст SO_3 в цементі був постійним та суттєво не змінювався. Умови планування експериментів при реалізації ПФЕ наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Умови планування експериментів

Фактори		Рівень варіювання	
Натуральний вид	Кодований вид	-1	+1
Вміст суперпластифікатора, %	x_1	0,0	0,05
Питома поверхня, cm^2/g	x_2	3100	3500
Вміст ефіру целюлози, %	x_3	0,0	0,02

Результати досліджень та їх аналіз.

Експериментальні результати що були отримані в результаті дослідів представлені в табл. 2.

Статистична обробка результатів дозволила отримати експериментально-статистичні моделі водовідділення (1), розтікання (2), часу загуснення до консистенції 30 Вс (3), міцності на згин у віці 1 доба (4), міцності на стиск у віці 2 діб (5) та 28 діб (6).

$$y_1 = 5,28 - 0,1x_1 - 1,225x_2 - 2,83x_3 + 0,4x_1x_2 - 0,725x_1x_3 - 0,6x_2x_3 \quad (1)$$

$$y_2 = 238,75 + 27,5x_1 - 7,5x_2 - 7,5x_3 + 1,25x_1x_2 - 6,25x_1x_3 + 1,25x_2x_3 \quad (2)$$

$$y_3 = 222,5 + 47,5x_1 - 13,75x_2 + 2,5x_3 - 21,25x_1x_2 + 20x_1x_3 + 16,25x_2x_3 \quad (3)$$

$$y_4 = 5,2 - 0,47x_1 + 0,25x_2 - 0,25x_3 + 0,12x_1x_2 - 0,08x_1x_3 - 0,226x_2x_3 \quad (4)$$

$$y_5 = 25,29 - 0,313x_1 + 1,51x_2 - 0,406x_3 - 0,58x_1x_2 - 0,843x_1x_3 - 0,216x_2x_3 \quad (5)$$

$$y_6 = 47,87 - 0,1125x_1 + 0,76x_2 - 0,185x_3 + 0,58x_1x_2 - 0,775x_1x_3 - 0,86x_2x_3 \quad (6)$$

Матриця експериментальних результатів

Точки плану	Фактори			Експериментальні дані					
	X ₁	X ₂	X ₃	Водовідділення, мл	Розтікання, мм	Час загуснення до консистенції 30 Вс, хв	Міцність на згин у віці 1 доба, МПа	Міцність на стиск 2 доби, МПа	Міцність на стиск 28 діб, МПа
1	0,05	3500	0,02	0,2	250	275	4,36	24,16	47,12
2	0,05	3500	0,00	8,5	270	195	5,85	27,65	51,1
3	0,05	3100	0,02	3	255	310	4,35	23,29	46,48
4	0,05	3100	0,00	9	290	300	4,36	24,8	46,34
5	0,00	3500	0,02	1	200	180	5,51	29,06	48,07
6	0,00	3500	0,00	6,5	205	185	6,09	26,33	48,27
7	0,00	3100	0,02	5,5	220	135	5,41	23,02	49,08
8	0,00	3100	0,00	8,5	220	200	5,66	24,00	46,52

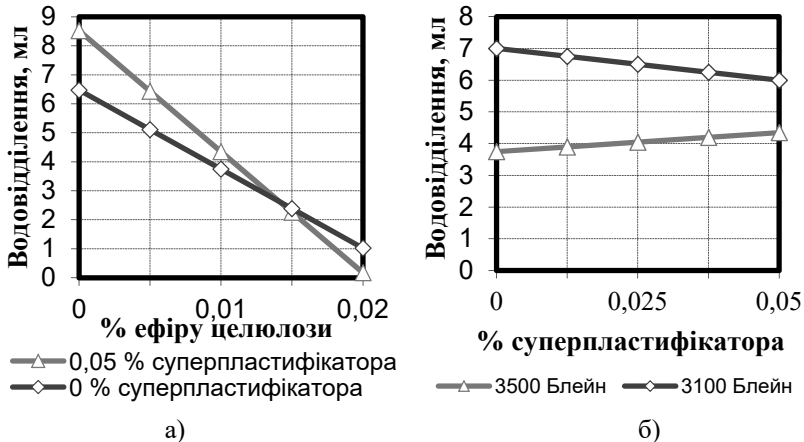


Рис. 1. Залежність водовідділення від вмісту ефіру целюлози та суперпластифікатора (а), від вмісту суперпластифікатора та питомої поверхні цементу (б)

З математичної моделі водовідділення (1) (Рис. 1) видно, що поєднання суперпластифікатор та ефір целюлози суттєво зменшує показник водовідділення, що видно на рис. 1, а. Вища питома поверхня цементу разом з

суперпластифікатором сприяє збільшенню показника водовідділення, що показано на рис. 1, б. Найбільш вагомим показником, що веде до зменшення водовідділення являється додавання ефіру целюлози.

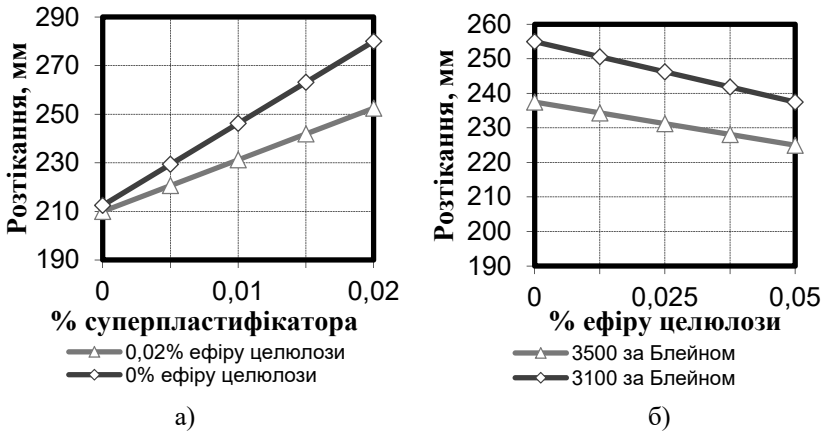


Рис. 2. Залежність розтікання від вмісту суперпластифікатора та ефіру целюлози (а), від питомої поверхні цементу та вмісту ефіру целюлози (б)

Аналізуючи модель розтікання (2) (Рис. 2, а) можна стверджувати, що присутність ефіру целюлози в цементі зменшує розтікання розчину, але в поєднанні з суперпластифікатором воно суттєво зростає. Збільшена питома поверхня цементу в поєднанні з ефіром целюлози призводить до зменшення розтікання (Рис. 2, б).

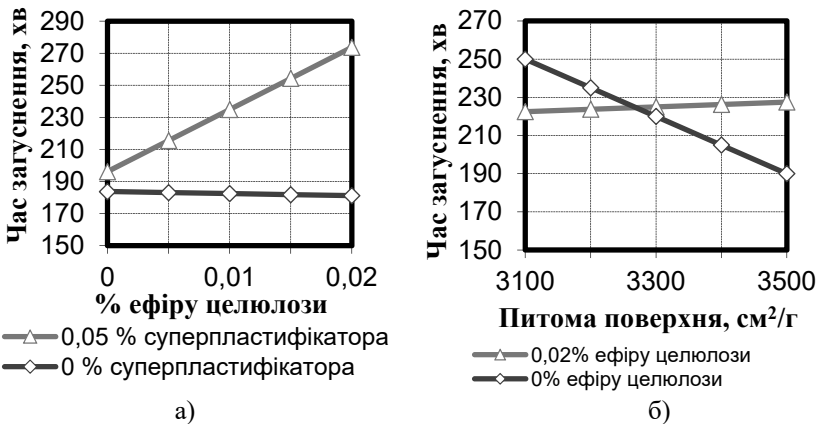


Рис. 3. Залежність часу загуснення до консистенції 30 Вс від вмісту суперпластифікатора та ефіру целюлози (а), від вмісту ефіру целюлози та питомої поверхні цементу (б)

Математична модель часу загуснення до консистенції 30 Вс (3) (Рис. 3, а) показує, що додавання суперпластифікатора разом із ефіром целюлози суттєво підвищує час загуснення цементного тіста. Додавання ефіру целюлози при різних питомих поверхнях суттєво не впливає на час загуснення цементного розчину, що видно на рис. 3, б.

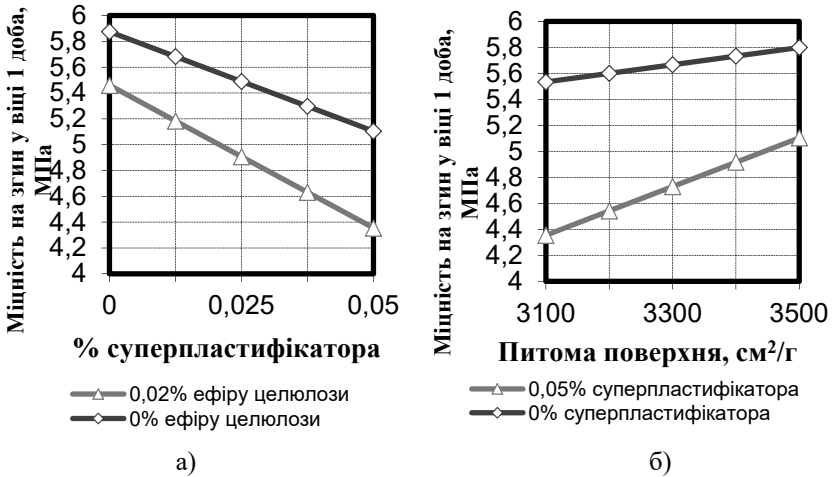


Рис. 4. Залежність міцності на згин у віці 1 доба від вмісту ефіру целюлози та суперпластифікатора (а), від вмісту суперпластифікатора та питомої поверхні цементу (б)

Із математичної моделі міцності на згин у віці 1 доба (4) та рис. 4, (а) видно, що додавання ефіру целюлози в поєднанні з суперпластифікатором негативно впливає на міцність на згин, але не знижується до гранично допустимого 3,5 МПа. Додавання суперпластифікатора знижує показник міцності на згин, але при більших показниках питомої поверхні – зростає, що видно з рис. 4, б.

Аналізуючи математичну модель міцності на стиск у віці 2 доби (5) та (Рис. 5, а) видно, що одночасний вміст суперпластифікатора та ефіру целюлози негативно впливає на міцність цементного каменю, та знижує її на 2 МПа. Поряд з цим, додаючи ефір целюлози та при збільшенні питомої поверхні цементу показник міцності на стиск у віці 2 доби росте, що видно з рис. 5, б.

При аналізі математичної моделі міцності на стиск у віці 28 діб (6) та (Рис. 6, а) видно, що при підвищеній питомій поверхні та вмісту суперпластифікатора позитивно впливає на показник міцності та збільшує його на 3 МПа. Також з рис. 6, б видно що поєднання вмісту ефіру целюлози та суперпластифікатора негативно впливає на міцність у віці 28 діб та зменшується на 3,5 МПа. Цей негативний ефект можна знівелювати за рахунок

зменшення водоцементного відношення, так як суперпластифікатор має свій водоредуційний ефект і при цьому буде збережено нормовані параметри.

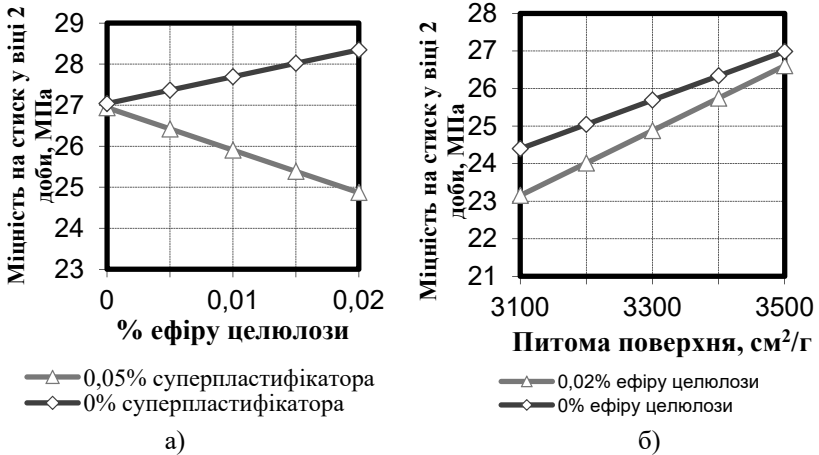


Рис. 5. Залежність міцності на стиск у віці 2 доби від вмісту суперпластифікатора та ефіру целюлози (а), від вмісту ефіру целюлози та питомої поверхні цементу (б)

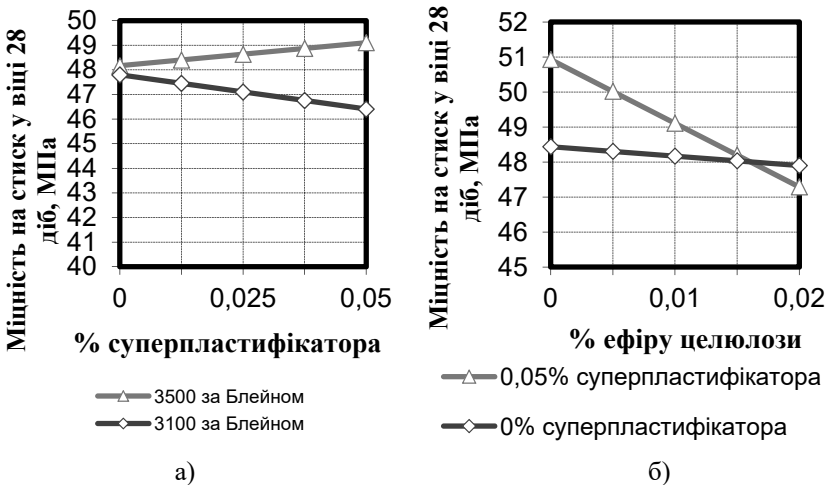


Рис. 6. Залежність міцності на стиск у віці 28 діб від питомої поверхні цементу та вмісту суперпластифікатора (а), від вмісту суперпластифікатора та ефіру целюлози (б)

Висновки та рекомендації. Проведений цикл досліджень дозволив отримати кількісні залежності вмісту суперпластифікатора, ефіру целюлози та питомої поверхні цементу.

Для отримання цементу з низькими показниками водовідділення (рівними нулю), високими показниками розтікання (близько 250 мм), високим часом загуснення та з відповідними показниками міцності необхідно додавати під час помелу цементу 0,05% від маси цементу сухого концентрату полікарбоксилатного суперпластифікатора, 0,02% від маси цементу метилгідроксietилцелюлозу (МНЕС) та тримати показник питомої поверхні цементу на рівні 3500 см²/г.

Результати даного дослідження дають можливість керувати процесом помелу цементу та прогнозувати параметри отриманого цементу.

1. О. І. Кротюк, Л.Й. Дворкін № 48 (2025). Ефективність введення при помелі тампонажного цементу ефіру целюлози. Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. Рівне, Україна. <https://doi.org/10.31713/budres.v0i48.08>

О. І. Krotiuk, L.Y. Dvorkin № 48 (2025). Efektyvnist' vvedennya pry pomeli tamponazhnoho tsementu efiru tselyulozy. Resursoekonomichni materialy, konstruktsiyi, budivnytstva ta sporudy. Rivne, Ukrayina. <https://doi.org/10.31713/budres.v0i48.08>

2. ДЕРЖАВНИЙ СТАНДАРТ УКРАЇНИ. Будівельні матеріали. ПОРТЛАДЦЕМЕНТИ ТАМПОНАЖНІ. МЕТОДИ ВИПРОБУВАНЬ. ДСТУ Б В.2.7-86-99. Державний комітет будівництва, архітектури та житлової політики України. - Київ, 1999.

DERZHAVNYI STANDART UKRAYINY. Budiveln'i materialy. PORTLADTSEMENTY TAMPONAZHNI. METODY VYPROBUVAN'. DSTU B V.2.7-86-99. Derzhavnyy komitet budivnytstva, arkhitektury ta zhytlovoi polityky Ukrayiny. - Kyiv, 1999.

3. ДЕРЖАВНИЙ СТАНДАРТ УКРАЇНИ. Будівельні матеріали. ПОРТЛАДЦЕМЕНТИ ТАМПОНАЖНІ. Технічні умови. ДСТУ Б В.2.7-88-99. Державний комітет будівництва, архітектури та житлової політики України. - Київ, 1999.

DERZHAVNYI STANDART UKRAYINY. Budiveln'i materialy. PORTLADTSEMENTY TAMPONAZHNI. Tekhnichni umovy. DSTU B V.2.7-88-99. Derzhavnyy komitet budivnytstva, arkhitektury ta zhytlovoi polityky Ukrayiny. - Kyiv, 1999.

4. Дворкін Л. Й. Експериментально-статистичне моделювання при проектуванні складів бетонів : навчальний посібник / Л. Й. Дворкін. – К.: Видавничий дім «Кондор», 2020. – 205 с.

Dvorkin L. Y. Eksperymental'no-statystychne modelyuvannya pry proektuvanni skladiv betoniv : navchal'nyy posibnyk / L. Y. Dvorkin. – K.: Vydavnychyu dim «Kondor», 2020. – 205 s.

Відомості про статтю:		Article information	
Отримано	28.01.2026	Received	28.01.2026
Отримано у доопрацьованому вигляді	04.03.2026	Received in revised form	04.03.2026
Прийнято	15.04.2026	Accepted	15.04.2026
Опубліковано	31.05.2026	Published	31.05.2026

Політика відкритого доступу

Політика відкритого доступу збірника передбачає безкоштовний та безперешкодний доступ до наукових матеріалів. Усі дані доступні в цифровій або графічній формі в основному тексті статті.

Open access policy

The open access policy of the collection provides free and unhindered access to scientific materials. All data is available in digital or graphical form in the main text of the article.

Конфлікти інтересів

Автори заявляють, що у них немає конфлікту інтересів щодо поточного дослідження, включаючи фінансовий, особистий, авторський чи будь-який інший, який міг би вплинути на дослідження, а також на результати, наведені в цьому документі.

Conflicts of Interest

The authors declare that they have no conflict of interest regarding the current study, including financial, personal, authorial or any other that could be included in the study, as well as the results presented in this document.

Використання штучного інтелекту

Автори підтверджують, що при створенні поточної роботи вони не використовували технології штучного інтелекту.

Use of Artificial Intelligence

The authors confirm that they did not use artificial intelligence technologies in the creation of the current work.