

УДК 631.6:626.8

ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЦЕПТУРИ РЕМОНТНИХ ПОЛІМЕРЦЕМЕНТНИХ СУХИХ БУДІВЕЛЬНИХ СУМІШЕЙ

А.О. АГЕСЬВ, наук. спів.,
О.В. КОВАЛЕНКО, канд. техн. наук,
О.О. ДЕХТЯР, канд. техн. наук,
Н.Д. БРЮЗГІНА, канд. техн. наук
ІНСТИТУТ ВОДНИХ ПРОБЛЕМ І МЕЛІОРАЦІЇ НААН

Проведено оптимізацію рецептури ремонтної полімерцементної сухої будівельної суміші для конструкційного ремонту залізобетонних гідротехнічних споруд меліоративних систем. Отримано експериментально-статистичні моделі, які характеризують вплив модифікуючих добавок на технологічні та фізико-механічні властивості полімерцементних сухих будівельних сумішей.

Ключові слова: модифікуючі добавки, залізобетонні гідротехнічні споруди, цементно-піщаний розчин, фізико-механічні властивості, рухомість

Актуальність теми. Ефективна та надійна експлуатація меліоративних систем залежить від технічного стану їх складових. Бетонні та залізобетонні (ЗБ) гідротехнічні споруди (ГТС) є основним елементом в меліоративній системі. Для підтримки належного технічного стану ЗБ ГТС необхідно регулярно проводити ремонтно-відновлювальні роботи (РВР) [1]. Традиційні матеріали для ремонту ЗБ ГТС мають недостатні фізико-механічні та експлуатаційні показники. Для підвищення якості РВР на сучасному етапі все частіше застосовують модифіковані полімерцементні розчини [2]. При дрібному конструкційному ремонті ЗБ ГТС меліоративних систем важливими умовами проведення РВР є стабільність рецептури, високі фізико-механічні властивості ремонтного композиту та простота виконання робіт, якими володіють сухі будівельні суміші (СБС) [3]. Для надання спеціальних властивостей розчиновим сумішам та розчинам на основі СБС застосовують модифікуючі добавки, основними з яких є суперпластифікатори, мікронаповнювачі та армуючі волокна.

Результати досліджень показали збільшення міцнісних показників цементно-піщаних розчинів, модифікованих порошковим суперпластифікатором полікарбоксилатного типу Сіка ВіскоКрет 225. Принцип дії даного суперпластифікатора (СП) базується на зменшенні поверхневого натягу рідини на межі поділу фаз, що забезпечує високий водоредукуєчий ефект. Для підвищення щільності, технологічності та міцнісних показників цементно-піщаних розчинів актуальним є застосування активної мінеральної добавки – аморфного мікрокремнезему (МК), який вступає в процес структуроутворення цементної матриці вже на ранніх стадіях і дозволяє підвищити ступінь та рівномірність гідратації цементу. Комплексне застосування СП та МК підсилює ефект кожної окремої модифікуючої добавки та дозволяє отримати композиційний матеріал із високими міцнісними та експлуатаційними показниками ($R_{зг} = 12,5$ МПа, $R_{ст} = 65$ МПа, $W_M = 2,0\%$) [4-6]. Додавання армуючих волокон (фібри) дозволяє збільшити міцність на згин та тріщиностійкість цементно-піщаного розчину і є актуальним

напрямком модифікації цементно-піщаних розчинів для ремонту ЗБ ГТС меліоративних систем [7]. Поєднання суперпластифікатора, мікрокремнезему та фібри дає складну багатокомпонентну систему на основі полімерцементної сухої будівельної суміші (ПСБС), але процес структуроутворення цементного композиту та результат взаємодії цих добавок не вивчено в повній мірі.

Матеріали та методики проведення досліджень. Для визначення оптимального вмісту компонентів та їх впливу на фізико-механічні та технологічні показники модифікованого цементно-піщаного розчину найефективнішими є методи математичного моделювання, які базуються на побудові експериментально-статистичних моделей типу «рецептура-властивості» [8]. У дослідженнях застосовували портландцемент (Ц) ПЦ 1-500 ПАТ«Волинь-цемент», пісок річковий Дніпровський з модулем крупності $M_{кр} = 1,2$ (П), суперпластифікатор порошковий (СП) Сіка ВіскоКрет 225, аморфний мікрокремнезем (МК) Мікросіліка (Elkem Microsilica) та поліпропіленову фібру (Ф) (ТУ У 24.7-32781078-001:2006). Вода для всіх дослідів відповідає вимогам ДСТУ Б В.2.7-273:2011. Вода для бетонів і розчинів.

Для виявлення впливу факторів рецептури на основі властивості полімерцементних розчинів було реалізовано трьохфакторний некомпозиційний план типу Бокса-Бенкіна $ВВ_3$ з 13 точками експерименту. У результаті проведеної пошуково-оціночної серії однофакторних експериментів визначено фактори та рівні варіювання для оптимізації ПСБС (табл.1).

Розчинові суміші готували з використанням ручного низькообертового електроміксера: спочатку перемішували сухі компоненти протягом 5 хв, а потім цю суміш перемішували з водою протягом 5хв. Цементно-піщане відношення (Ц:П) для всіх зразків складало 1:3. Дозування модифікуючих добавок розраховували по відношенню до маси цементу. Цементно-піщане відношення (Ц:П) в усіх точках матриці експерименту складало 1:3. Рухомість рівнорухомих розчинів була прийнята постійною і складала 2,5-3,0 см.

1. Умови планування експерименту при дослідженні ПСБС

Фактори складу	Рівні варіювання			Інтервал варіювання
	-1	0	+1	
X_1 , вміст суперпластифікатору, % від маси цементу	0,1	0,3	0,5	0,2
X_2 , вміст мікрокремнезему, % від маси цементу	5	15	25	10
X_3 , вміст фібри, % від маси цементу	0	0,3	0,6	0,3

Для одержаних сумішей визначали рухомість (Р) за ДСТУ Б В. 2.7-239:2010 «Будівельні матеріали. Розчини будівельні. Методи випробувань», а для затверділого бетону - міцність на згин ($R_{зг}$) та на стиск ($R_{ст}$) за ДСТУ Б В. 2.7-224:2009 «Будівельні матеріали. Бетони. Правила контролю міцності». Зразки-балочки розміром 4x4x16см витримували в нормально-вологих умовах протягом 8 діб. Водопоглинання виробів на цементному в'язучому визначали згідно з ДСТУ Б В.2.7-170 «Бетони. Методи визначення середньої густини, вологості, водопоглинання, пористості і водонепроникності».

Результати досліджень. На підставі одержаних експериментальних даних отримані рівняння регресії, адекватні при 95-відсотковій довірчій ймовірності. Враховані тільки значимі коефіцієнти регресії. На основі одержаних моделей побудовані діаграми (геометричні образи моделей), які відображають вплив компонентів ПСБС для конструкційного ремонту на її властивості в локальних точках експерименту ($X_3=-1$; $X_3=0$; $X_3=+1$).

Вплив суперпластифікатора, мікрокремнезему та фібри на міцність на згин модифікованого цементно-піщаного розчину описує модель (1):

$$R_{зг} = 12,16 + 1,93x_1 + 0,53x_2 + 0,41x_3 - 1,22x_1^2 - 0,02x_2^2 - 0,02x_3^2 + 0,18x_1x_2 + 0,15x_1x_3 + 0,015x_2x_3 \quad (1)$$

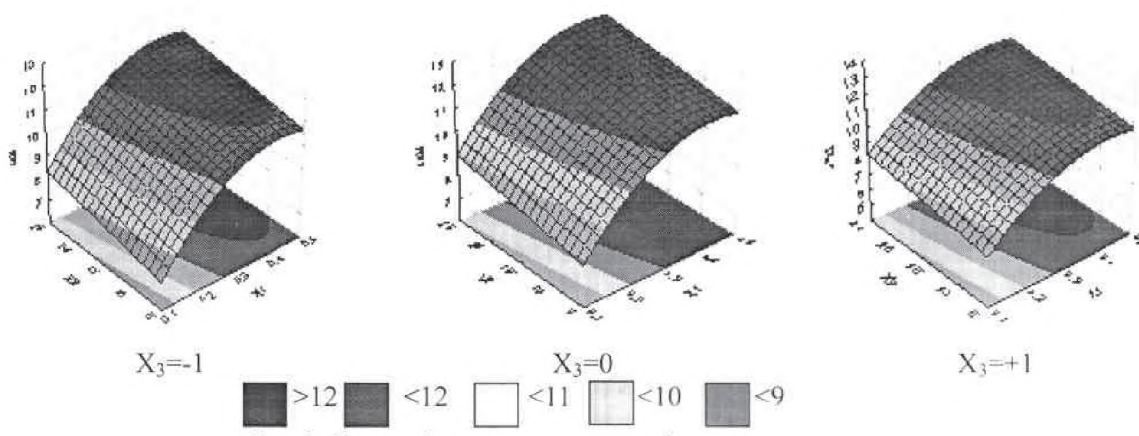


Рис.1 Вплив факторів оптимізації на міцність на згин

Для забезпечення $R_{зг} > 10,0 \text{ МПа}$ вміст суперпластифікатора має бути в межах СП=0,2...0,5%, а МК=5...25%, а для отримання міцності на згин більшою за 12МПа дозування мікрокремнезему та суперпластифікатора необхідно збільшити до СП>0,28...0,5% і МК=8...25%.

Вплив суперпластифікатора, мікрокремнезему та фібри на міцність на стиск модифікованого цементно-піщаного розчину описує модель (2):

$$R_{cm} = 76,04 + 13,96x_1 + 6,33x_2 + 1,26x_3 - 8,56x_1^2 + 4,19x_2^2 - 5,86x_3^2 + 4,37x_1x_2 - 0,76x_1x_3 + 0,53x_2x_3 \quad (2)$$

Аналіз моделі дає можливість стверджувати про позитивний вплив суперпластифікатора та мікрокремнезему на міцність на стиск. Найбільшим зміцнюючим ефектом володіє суперпластифікатор (коефіцієнт при x_1 $b_1=13,96$). Поліпропіленова фібра має найменший вплив на міцність на стиск (коефіцієнт при x_3 становить 1,26), а її одночасна дія з суперпластифікатором та мікрокремнеземом не суттєво впливає на міцнісні показники модифікованого розчину. Мікрокремнезем має чітко виражений позитивний вплив на міцність на стиск модифікованого розчину.

Для забезпечення показників міцності на стиск $R_{ст} \geq 80,0 \text{ МПа}$, дозування СП та МК повинно бути в межах СП=0,25...0,5%, МК=12,5...25% в локальній точці $\Phi=0\%$ та СП=0,26...0,5%, МК=14...25% при $\Phi=0,3\%$. Для локальної точки $X_3=+1$ ($\Phi=0,6\%$) вміст СП для отримання міцності на стиск не менше ніж 80,0МПа знижується і становить 0,22%, а МК=8...25%. Графічно дана модель в локальних точках X_3 показана на рис.2.

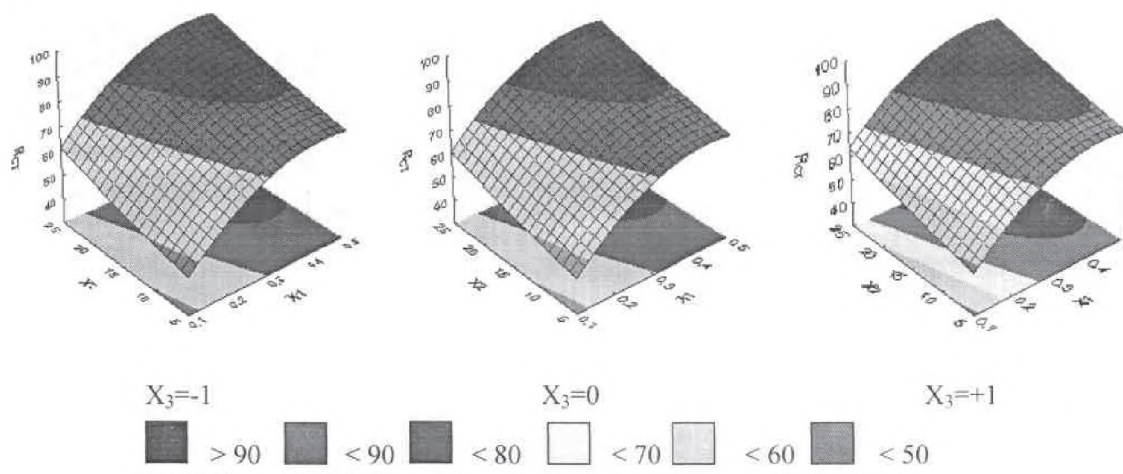


Рис.2. Вплив СП, МК та Φ на міцність на стиск модифікованого розчину

Одночасно з міцнісними показниками модифікованого розчину було досліджено вплив зазначених факторів на водопоглинання W_M зразків. Дану залежність описує математична модель (3):

$$W_M = 1,67 - 2,02x_1 - 0,46x_2 + 0,44x_3 + 1,13x_1^2 + 0,67x_2^2 - 0,19x_3^2 - 0,04x_1x_2 - 0,21x_1x_3 - 0,22x_2x_3 \quad (3)$$

Математична модель впливу СП, МК та Φ на водопоглинання зразків, виготовлених з модифікованого цементно-піщаного розчину, вказує, що найбіль-

шим ефектом характеризується суперпластифікатор. СП суттєво зменшує водопоглинання зразків на основі модифікованого розчину ($b_1 = -2,02$), в той час як поліпропіленова фібра збільшує водопоглинання матеріалу - $b_3 = 0,44$. При одночасному використанні мікрокремнезему чи суперпластифікатора з фіброю, їх вплив на водопоглинання також стає позитивним (всі коефіцієнти мають знак мінус). Графічно вплив даних факторів показано на рис.3.

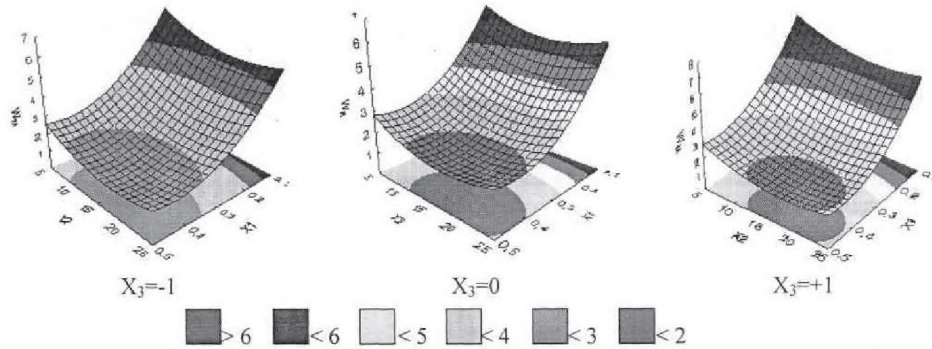


Рис.3. Вплив факторів варіювання на водопоглинання по масі модифікованих зразків в локальній точці

Для забезпечення водопоглинання $W_m \leq 5\%$ при $\Phi = 0\%$ дозування суперпластифікатора повинно становити СП=0,18...0,5%, а МК=5...25%, а найкращі показники водопоглинання можна отримати збільшивши вміст СП до 0,35...0,5%, а мікрокремнезему - до 8...25%. Для локальної точки $X_3 = 0$ ($\Phi = 0,3\%$) зменшення водопоглинання до значення $W_m \leq 5\%$ можливе в діапазоні значень СП=0,2...0,5%, а МК=5...25%. Водопоглинання $W_m \leq 2\%$ мають зразки, в яких концентрація СП та МК становить: СП=0,35...0,5%, МК=10...25%. При $X_3 = +1$ область найменшого водопоглинання зміщується в зону збільшення вмісту МК та СП (СП=0,36...0,5%, а МК=11...24%).

При використанні суперпластифікатора разом з мікрокремнеземом та поліпропіленовою фіброю важливим технологічним показником розчину є його водо-цементне відношення (В/Ц). Для забезпечення сталої рухомості В/Ц модифікованого розчину потрібно змінювати в залежності від концентрації компонентів. Зменшення В/Ц призводить також до ущільнення структури бетону, зменшення його водопоглинання та збільшення міцності. Вплив факторів варіювання на В/Ц рівнорухомих модифікованих розчинів описує модель (4):

$$В/Ц = 0,28 - 0,07x_1 + 0,03x_1^2 + 0,02x_2 + 0,01x_2^2 - 0,02x_1x_2 \quad (4)$$

Як показує аналіз моделі (4), вміст фібри не впливає суттєво на В/Ц модифікованого розчину. Суперпластифікатор зменшує В/Ц рівнорухомих модифікованих розчинів (коефіцієнт $b_1 = -0,07$), а мікрокремнезем навпаки збільшує водопотребу розчину ($b_2 = 0,02$). Графічно дану модель при різних значеннях X_3 зображено на рис.4.

Аналіз рис.4 показує, що для забезпечення $В/Ц \leq 0,32$ дозування СП та МК повинно бути:

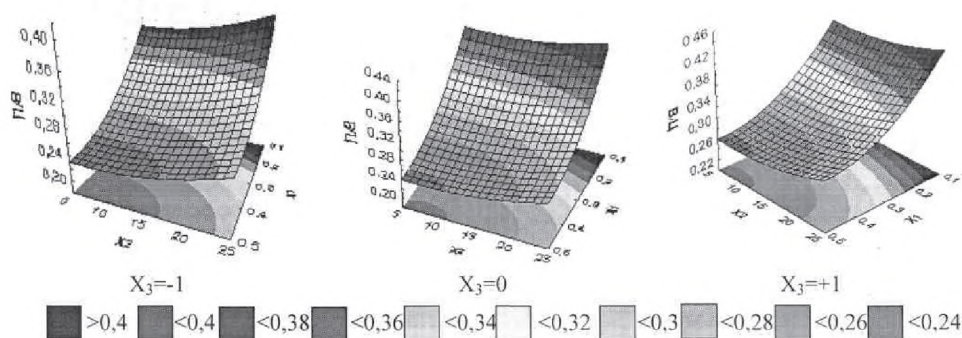


Рис. 4. Вплив мікрокремнезему та суперпластифікатора на В/Ц рівнорухомого розчину

СП=0,17...0,5%, МК=5...25% при $\Phi=0\%$; СП=0,19...0,5%, МК=5...25% при $\Phi=0,3\%$; СП=0,23...0,5%, МК=5...25% при $\Phi=0,6\%$.

Мінімальні значення для кожної локальної точки: СП=0,38...0,5%, МК=5...15% при $\Phi=0\%$ для зменшення В/Ц нижче 0,24; СП=0,45...0,5%, МК=5...10% при $\Phi=0,3\%$ для зменшення В/Ц нижче 0,24; СП=0,45...0,5%, МК=5...12% при $\Phi=0,6\%$ для зменшення В/Ц нижче 0,26. Із наведених даних витікає, що при збільшенні вмісту фібри необхідно збільшувати дозування суперпластифікатора і зменшувати вміст мікрокремнезему для забезпечення найменшого В/Ц.

Висновок. Одержані результати свідчать про високу ефективність комплексного застосування суперпластифікатора, мікрокремнезему та поліпропіленової фібри при розробці композиційного матеріалу для ремонту залізобетонних гідротехнічних споруд меліоративного комплексу на основі ПСБС. У результаті пошукової роботи отримано оптимальні концентрації основних модифікуючих добавок в ремонтній ПСБС: СП=0,23...0,5%(Ц), МК=5...25%(Ц), $\Phi=0...0,6\%$ (Ц) для забезпечення $R_{ct} > 60$ МПа, $R_{sr} > 10$ МПа, водопоглинання $W_m < 5\%$ та В/Ц $< 0,32$.

Бібліографія

1. Коваленко О.В. Развитие научных основ та практичних засад ведення ремонтно-відновлювальних робіт на гідротехнічних спорудах водогосподарсько-меліоративного комплексу / О.В. Коваленко // Будівельні матеріали, виробу та санітарна техніка. - 2011. - №42. - С. 21-25.
2. Резник В.Б. Новые материалы и конструкции на основе полимеров в водохозяйственном строительстве / В.Б. Резник. - К.: Будівельник, 1987. - 176с.
3. Р.Ф. Рунова. Технологія модифікованих будівельних розчинів: Підручник / Р.Ф. Рунова, Ю.Л. Носовський // Видавництво КНУБіА - 2007. - 256с.
4. Коваленко О.В. Сухі будівельні суміші для ремонту та відновлення залізобетонних споруд водогосподарсько-меліоративного комплексу / О.В. Коваленко, А.О. Агеев // Науково-технічний збірник «Будівельні матеріали, виробу та санітарна техніка», №52 - Товариство «Знання» України. 2014. - С. 93-98.
5. Агеев А.О. Закономірності впливу мікрокремнезему Elket Microsilica на технологічні та фізико-механічні властивості цементно-піщаного розчину / А.О. Агеев // Сборник научных трудов SWorld. - Выпуск 1(38). Том 6. - Иваново: Марково АД, 2015. - С. 89-95.
6. Коваленко О.В. Вплив органо-мінеральної добавки на властивості цементно-піщаного розчину / О.В.Коваленко, А.О. Агеев // Меліорація і водне господарство. - Вип. №102. - 2015 - С. 128-131.
7. Коваленко О.В. Модифікуючі добавки - головний фактор підвищення фізико-механічних властивостей ремонтно-захисних сухих будівельних сумішей / О.В.Коваленко // Меліорація і водне господарство. - Вип. №102. - 2015. - С. 131-135.
8. Вознесенский А.В. Современные методы оптимизации композиционных материалов / А.В. Вознесенский. - К.: Будівельник, 1983. - 114 с.

А.А. Агеев, А.В. Коваленко, О.О. Дехтяр, Н.Д. Брюзгина.

Оптимизация рецептуры ремонтных полимерцементных сухих строительных смесей

Приведены результаты исследований влияния содержания суперпластификатора, микрокремнезема и полипропиленовой фибры на прочностные и технологические свойства модифицированных цементно-песчаных растворов. Проведена оптимизация рецептуры полимерцементной сухой строительной смеси для ремонта железобетонных конструкций ГТС меліоративных систем.

A.A. Ageev, O.V. Kovalenko, O.O. Dehtyar, N.D. Bruzgina

Optimization of the composition of repair polymer-cement dry composites

The results of the influence the content of superplasticizer, silica fume and polypropylene fibers on the strengths and technological properties of the modified cement-sand mortar were showed. The optimization of the formula of polymer-cement mortar for the repair of reinforced concrete structures of reclamation systems was completed.

ЗМІСТ

*ВОДНІ РЕСУРСИ***Ромащенко М.І., Дехтяр О.О.**

Деякі питання реформування водогосподарської галузі України 3

Вишневецький В.І., Шевчук С.А., Шевченко О.І.

Якість води в річці Рось 9

Хоружий П.Д., Хомутецька Т.П., Кукла І.О.

Шахтний колодязь з горизонтальними дренами для забору і подачі інфільтраційних вод в зонах підтоплення сільських територій 16

Шевченко А.М., Власова О.В.

Удосконалення системи просторового оцінювання водно-екологічних та еколого-меліоративних ситуацій з використанням супутникових даних 21

Кулаківський С.В., Стасюк С.Р., Сілянок Д.О., Хоружий П.Д., Чарний Д.В.

Методологічні основи створення замкнених систем водокористування на підприємствах АПК 26

Рожко В.І., Ковальчук П.І.

Аналіз якості води для питного водопостачання в системі каналу Дніпро-Донбас 32

Харланов Д.І., Хоружий П.Д.

Удосконалення технології забору і очищення води з поверхневих водних об'єктів на групових сільгоспводопроводах 37

*АГРОРЕСУРСИ***Дацько Л.В.**

Сучасне сільськогосподарське використання земель Гумідної зони України 41

Рокочинський А.М., Турченко В.О., Приходько Н.В.

Врахування погодно-кліматичних умов при оцінці ефективності функціонування рисових зрошувальних систем 48

Романенко О.Л., Конова С.Р., Бальошенко С.В., Дацько Л.В.

Вологозабезпеченість посівів озимої пшениці в умовах глобального потепління на півдні Степу України 54

*ЗРОШЕННЯ – ОСУШЕННЯ***Шатковський А.П.**

Параметри режимів краплинного зрошення та продуктивність буряків цукрових у зоні Степу України 59

Яцик М.В., Воропай Г.В., Молеца Н.Б.

Підвищення водозабезпеченості меліоративних систем Гумідної зони 63

Попов В.М., Таргоній М.М.

Обґрунтування технології автоматизованого управління водоподачею на зрошувальних системах 69

Ушкаренко В.О., Лавренко С.О., Максимов М.В.

строки настання основних фаз росту та розвитку сочевиці залежно від умов зволоження 74

Ромащенко М.І., Шатковський А.П., Конаков Б.І., Бабіцький В.В., Васюта В.В.

Дощування та краплинне зрошення: особливості застосування в сучасних умовах 77

*ГІДРОЛОГІЯ – ЕКОЛОГІЯ***Дятел О.О., Цветова О.В., Тураєва О.В.**

Режим підземних вод у районі можливого впливу кар'єру «Хотиславський» на початок розробки мергельно-крейдяних відкладів 84

Бондар А.Є.

Геоінформаційне моделювання басейну річки горинь за даними радарної зйомки SRTM засобами ARCGIS..... 88

*ГІДРОТЕХНІКА***Коваленко О.В., Агєєв А.О., Сакара О.Ю.**

Вплив поліпропіленової фібри на властивості цементно-піщаних ремонтних розчинів 93

Коваленко О.В.

Модифікація цементно-піщаних ремонтних розчинів редиспергуючим полімерним порошком..... 97

Юзюк О.Ю.

Характеристика технічного стану протифільтраційних облицювань каналів Нижньо-Дністровської зрошувальної системи та шляхи його удосконалення..... 102

А.О.Агєєв, О.В.Коваленко, О.О. Дехтяр, Н.Д. Брюзгіна

Оптимізація рецептури ремонтних полімерцементних сухих будівельних сумішей..... 107