

УДК : 622'17:502.174.1:631.879.3](477.6)
<https://doi.org/10.31474/1999-981X-2024-2-48-58>

В.К. Костенко
О.П. Богомаз
С.О. Сідней
О.І. Кутняшенко
М.І. Таврель
С.О. Вірич

ВИКОРИСТАННЯ ВІДХОДІВ ГІРНИЦТВА ДЛЯ ЗБЕРЕЖЕННЯ ВОЛОГОСТІ РІЛЛІ

Мета. Обґрунтування ефективності запропонованого способу утримання поливної вологи у ріллі за рахунок утворення фільтруючих включень.

Методика досліджень. Комп'ютерне моделювання фільтраційних потоків зрошувальної води від поверхні до шарів ґрунту, що її підстиляють.

Результати. У даній статті авторами запропоновано спосіб попередження втрат зрошувальної води на сільськогосподарських полях за рахунок створення канавок на ріллі, які мають невелику площину відкритої поверхні. Для запобігання обвалювання стінок канавки розглянута можливість заповнення їх порожнини дрібними твердими перегорілими відходами гірництва, які мають високі фільтраційні властивості. При цьому заповнювання порожнечі канавки сумішшю, виготовленої на основі перегорілої відвальної маси із додаванням піднятих з водою донних осадів буде виступати також засобом підвищення врожайності. Обґрунтовано схему реалізації способу розташування у ріллі заповнених перегорілою породою зрошувальних канавок, а також вихідні та початкові умови її функціонування. За результатами комп'ютерного та математичного моделювання, з використанням програми ANSYS WB, у нестационарній постановці, отримано якісні показники механізму розподілення води у дослідному фрагменті ґрунту. Встановлено хвильовий характер міграції води під впливом гравітаційних і капілярних сил. Проведені дослідження показали, що зрошувальна вода концентрується у системі «канавка з породою – зволожений масив ґрунту», яка має вигляд овалу з обмеженою площиною контакту з поверхнею. Це визначає малу інтенсивність випаровування, і, відповідно, ефективність запропонованого способу утримання води у ріллі за допомогою додавання твердих перегорілих відходів гірництва.

Наукова новизна. Запропоновано використання перегорілих дрібних твердих відходів гірництва для створення на ріллях зрошувальних канавок та отримано якісні показники механізму розподілення води у дослідному фрагменті ґрунту.

Практична значимість. Використання дрібних перегорілих твердих відходів гірництва, які мають високі фільтраційні властивості, для заповнення порожнини зрошувальних канавок на ріллі дозволять скоротити втрати води на випаровування та поліпшити фізико-механічні властивості суглинкових ґрунтів.

Ключові слова: тверді відходи гірництва, поливна вода, канавка, рілля, суглинковий ґрунт.

Вступ.

Донбас, який розташований у південно-східній частині України, забезпечений водними ресурсами у п'ятеро менше решти території держави [1]. Це пов'язано з особливостями його рельєфу, що має вигляд склепіння, хребет якого розташований у районі міста Донецьк, звідки річки несуть свої води до басейнів Азовського та Чорного морів. Природних поверхневих припливів до Донбасу немає, наявне лише штучне джерело – канал Сіверський Донець – Донбас, який має доволі обмежений ресурс води, що за багатьма хімічними показниками, особливо влітку, під

час періоду активного цвітіння води [2, 3], не відповідає встановленим нормативам якості [4, 5].

Основними постачальниками води у регіоні є атмосферні опади [6], а також скиди комунальних і промислових підприємств, у тому числі шахтних вод [7]. Останні характеризуються значним вмістом завислих та розчинених речовин [8-10] і без належного очищення є непридатними для питного, сільськогосподарського та промислового використання. Значний дефіцит опадів і поливної води визначає Донеччину як зону ризикованого землеробства. У таких умовах постає актуальне питання максимально

раціонального використання води в аграрному секторі економіки.

Економне використання поливної води у Донбасі гальмується особливостями складу поверхневих шарів місцевих ґрунтів. Їх гранулометричний склад представлений переважно дрібними частками – мулистими та глинистими. Вони мають доволі високі показники вбирання води та набухання, це призводить до того, що за короткий проміжок часу на їх поверхні утворюється майже герметична перепона, яка гальмує надходження води до нижніх шарів ґрунту, а саме до кореневої системи рослин. Це визначає такі особливості, як: повільна фільтрація вологи у нижні шари ріллі та швидкість виносу вологи з її поверхні. Таким чином, існує необхідність створення умов зберігання води, що подається для поливу, не на поверхні, а на глибині розташування коріння рослин.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Вода – основний чинник, що обмежує ведення сільськогосподарського виробництва. Близько 70% загального забору прісної води на планеті використовується в іригаційних системах, що створює значне навантаження на попит на воду в інших секторах економіки [11]. У країнах, що розвивається, цей показник, взагалі, може дорівнювати 95% [12]. Враховуючи кліматичні зміни, які нерідко супроводжуються тривалими посухами, відмовитися від зрошення у сільському господарстві наразі не уявляється можливим. Окрім цього за даними Світового банку, зрошуване землеробство в середньому як мінімум вдвічі більш продуктивне на одиницю землі, ніж незрошуване землеробство, що дозволяє досягти більшої інтенсифікації виробництва та збільшення врожаю [13].

Дефіцит ресурсу прісної води в агропромислових країнах, який щороку збільшується, вимагає застосування раціонального підходу щодо його економного використання. Тому, все частіше, аграрії відмовляються від традиційного поливу рослин, під яким розуміють зрошення ґрунтів, що оточують рослину, на користь сучасних іригаційних технологій, якими, наприклад, є системи крапельного поливу, лункова система або

ін'єкційне зрошення. Сучасні системи зрошення здебільшого є автоматизованими й направлені на мінімізацію втрат води та рівномірний її розподіл по зрошуваній ділянці.

Одним з прикладів сучасного способу зрошення є ін'єкційне зрошення, яке полягає у тому, що поливна вода подається безпосередньо до ксилеми рослин, а тому витрачається лише на транспірацію. Застосування ін'єкційного зрошення дозволяє на 80-86% зменшити втрати води у порівнянні з традиційним зрошенням, це пояснюється тим, що при традиційному зрошенні поливна вода, крім транспірації, витрачається ще й на фізичне випаровування та інфільтрацію [14]. Застосування ін'єкційного зрошення на невеликих сільськогосподарських ділянках не вимагає будівництва дорогих елементів іригаційної системи – насосних станцій, каналів, гідротехнічних споруд, що також розглядається, як перевага.

Ще однією сучасною іригаційною технологією, яка набула широкої популярності, є крапельне зрошення, яке, в залежності від способу надходження води, поділяється на підмембранне, підземне та аераційне [15, 16, 17, 18]. На відміну від традиційних методів зрошення, які можуть призвести до марнотратного використання води, за рахунок випаровування та просочування [19, 20], ерозії ґрунту та втрати поживних речовин, крапельне зрошення організовано доставляє воду безпосередньо до кореня рослини, що знижує споживання води та покращує якість ґрунту, запобігаючи утворенню корки на її поверхні. Доведено, що крапельне зрошення істотно підвищує врожайність сільськогосподарських культур, а саме на 28,92%, 14,55%, 8,03%, 2,32% і 5,17% відносно заливного традиційного зрошення, приграничного зрошення, борозного зрошення, дощування, і мікродошового зрошення відповідно [21]. Окрім цього застосування крапельного поливу дозволяє зменшувати витрати на електроенергію та трудові ресурси.

Однак застосування іригаційної технології у вигляді крапельного поливу вимагає комплексного підходу, який полягає у ретельному вивченні фізико-механічних властивостей ґрунту, які суттєво впливають на характер розподілу води. Наприклад, на грубих текстурованих ґрунтах зона

змочування та швидкість просочування є меншою, на відміну від м'яких ґрунтів, це призводить до поганої аерації ґрунту, а також зменшення якості та врожайності сільськогосподарських культур. Також на характер перерозподілу води у ґрунтах впливає надлишок добрив та інших хімічних агентів. У такому випадку тиск води в області навколо розпилувача води може перевищувати атмосферний тиск, таким чином змінюючи напрям потоку води у напрямку поверхні ґрунту [22].

Однак не дивлячись на економне використання водних ресурсів, що зменшує вплив на довкілля, крапельне зрошення пов'язано з утворенням великої кількості пластикових та гумових відходів. Це пов'язано з тим, що система крапельного поливу виготовляється з тонких гумових труб, які мають обмежений термін використання. Основною проблемою крапельного поливу є засмічення отворів, через які вода надходить до рослин, різного роду дрібнодисперсним сміттям та кореневою системою рослин, це визначає необхідність своєчасного та регулярного технічного обслуговування та ремонту [23, 24].

Аналіз сучасних іригаційних технологій, які застосовуються в агропромисловому секторі, показав, що здебільшого вони направлені на раціональне використання води та рівномірний її розподіл по зрошуваній ділянці й не розв'язують питання накопичення води у ріллі. Тому слід розглянути можливість штучної зміни фільтрувальних властивостей ґрунту задля стимулювання утримання поливної вологи у ріллі. Змінити фільтрувальні властивості ґрунту можна за рахунок внесення до його складу речовин, що збільшують його проникливі властивості. Такими речовинами можуть бути, наприклад, тверді відходи гірництва.

Мета статті.

Обґрунтування ефективності запропонованого способу утримання поливної вологи у ріллі за рахунок утворення фільтруючих включень.

Для досягнення мети поставлені наступні задачі.

1. Обґрунтувати вихідні та початкові умови способу накопичення поливної вологи у ґрунті.

2. Створити фізико-механічний опис фрагмента ґрунту підготованого для накопичення води, та побудувати, кінцеву-елементну сітку, відбиваючу такий, що моделюють фрагмент ґрунту.

3. Провести, обчислювальні експерименти у нестационарній постановці щодо розподілення води у фрагменті ґрунті.

4. Надати оцінку ефективності запропонованого способу утримання води.

Методи дослідження.

Комп'ютерне моделювання фільтраційних потоків зрошувальної води від поверхні до шарів ґрунту, що її підстилають.

Виклад основного матеріалу.

Запропонований спосіб утримання вологи пояснюється наступним.

Орні землі на Донбасі представлені переважно суглинковими типами, які характеризуються схильністю до набухання, що призводить до ущільнення оброблених водою часток з утворенням майже непроникливого середовища. При надходженні до ріллі поливної води або атмосферних опадів основна маса зрошення залишається на поверхні та доволі швидко виноситься з неї шляхом випаровування, яке прискорюється вітровим примусовим конвекційним виносом пари. До нижніх шарів, де розташована коренева система рослин, надходить лише невелика частка зрошувальної води.

Переходячи до створення моделі перенесення вологи були прийняті наступні вихідні умови та припущення. Взагалі, швидкість випаровування залежить від температури води, площі її поверхні, руху повітря, типу розчину (якщо з водою подають добрива). Орієнтовно, швидкість випаровування води V пропонується обчислювати за такою залежністю:

$$V = k \frac{E_s - e}{p} \theta(v) \quad (1)$$

де E_s – парціальний тиск насиченої водяної пари при температурі поверхні, що випаровує;

e – парціальний тиск водяної пари, яка міститься у повітрі над даною поверхнею;

p – атмосферний тиск;

$\theta(v)$ – функція швидкості вітру;

k – коефіцієнт пропорційності.

Перелік чинників, які впливають на швидкість випаровування в реальному природному середовищі, цим не вичерпується. Так, на швидкість випаровування з поверхні впливає шорсткість діяльної поверхні й характер ґрунту, особливості розподілу температури повітря з висотою (стратифікація приземного шару атмосфери), розмір поверхні, що випарує, характер рослинного покриву тощо. Так, випаровування зростає на шорстких поверхнях, темних і вологих ґрунтах, при малій глибині залягання ґрунтових вод, над випуклими формами рельєфу, а також у густому травостої та багатоярусному лісі.

Узагальнюючи сказане можна зробити висновок, що для попередження втрат зрошувальної води, у першу чергу, необхідно забезпечувати скорочення площини випаровування, температури води, а також обмежувати вітровий вплив на поверхню випаровування.

Для виконання таких вимог воду доцільно розміщувати у створених на полі канавках. Вони мають невелику площу відкритої поверхні, конвекційний винос пари з якої обмежений, температура води близька до температури ґрунту. Але суттєвим

недоліком такого способу утримання вологи є низька стійкість стінок канавки. Під дією води стінки канавок розмокають і починають обвалюватись, порожнеча канавки заповнюється мулистим ґрунтом, відкрита поверхня значно збільшується, а випаровування зростає.

Для запобігання обвалювання стінок канавки авторами пропонується заповнювати її порожнину дрібними твердими відходами гірництва, які мають високі фільтраційні властивості (рис. 1). За майже два століття надобутку вугілля на Донбасі, у відвалах, накопичено кілька мільярдів тонн перегорілої, під впливом кисню, вологи та бактерій, породи. Ці ресурси доцільно використати, як наповнювач, для покращення властивостей ріллі. За станом перегоріла порода близька до пів кераміки, має пористу структуру, не схильна до розмокання, а отже позитивно впливає на розвиток рослин. Фракції розміром від 0,63 мм до 3 мм мають відносно високий показник фільтрації [25]. Вода, яка затримана у канавці з породою, значно повільніше випарується і, як наслідок, більша її частина мігрує до нижніх шарів ґрунту, де розташовані коріння рослин.

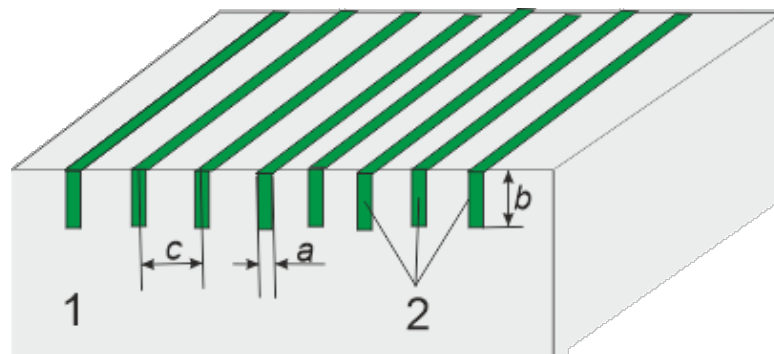


Рис. 1. Схема утримання води у ріллі за допомогою заповнених гірничими відходами канавок: 1 – ґрунт; 2 – заповнена відходами канавка; a, b – ширина і глибина канавки; c – відстань між паралельними канавками

Слід зазначити, що заповнювання порожнечі канавки сумішшю, виготовленої на основі перегорілої відвальної маси із додаванням піднятих з водою донних осадів [26], може служити засобом підвищення врожайності. Крім того, необхідно додати що утворення канавок не ускладнює

землеробства у наступні роки, оскільки розорювання канавок та розсіювання породи у поверхневому шарі ріллі покращує її фільтраційні характеристики.

Створення канавок доцільно виконувати з одночасним їх заповненням відходами, процес цей може бути

механізований. Для цього краще підходять сільськогосподарські агрегати подібні до сівалок, їх робочим органом викопують на задану глибину канавку, одночасно з бункера поступають сипучі перегорілі породи. Відмінність від сівалок полягає в тому, що дисперсна суміш повинна заповнювати усю порожнечу канавки. Конструкція агрегату визначає основні параметри способу затримання вологи, а саме ширину a та глибину b канавки, а також відстань c між сусідніми паралельними канавками.

Для оцінки ефективності запропонованого способу та попередніх параметрів агрегату для його виконання доцільно розкрити механізм розподілення вологи у ґрунті поблизу канавки. Якісну сторону такого механізму пропонується розкрити за допомогою комп'ютерного моделювання. Для цього обраний фрагмент ріллі, що містить канавку (рис. 2 а) виконаний у 2-D форматі за допомогою модулю *DesignModeler ANSYS WB* представлений у вигляді елементної сітки за допомогою тетрадральних кінцевих елементів (рис. 2 б).

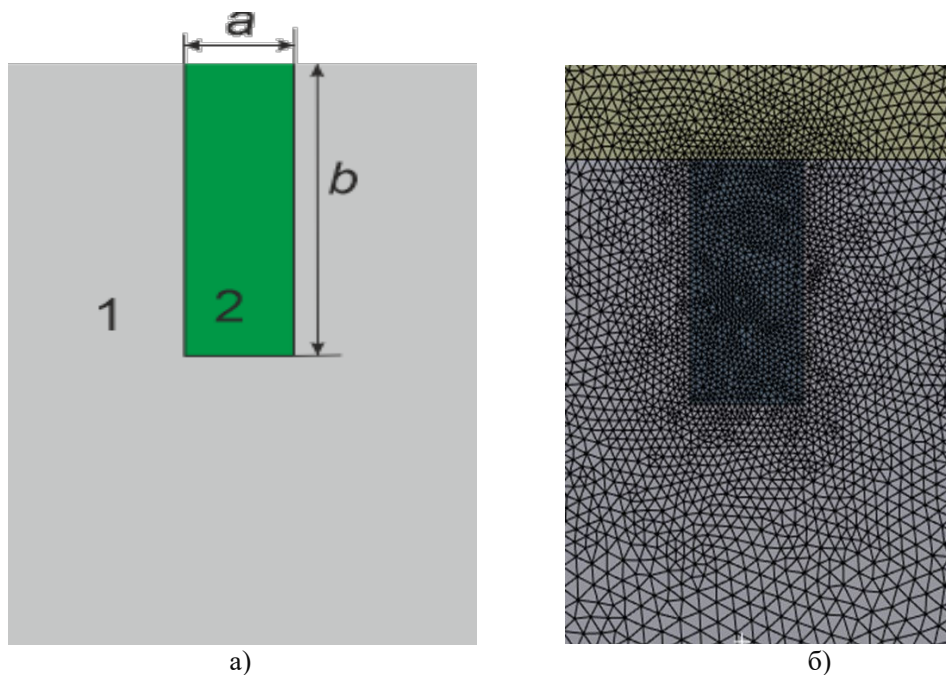


Рис. 2. Схеми обраного для моделювання фрагменту ріллі (а) та його представлення у вигляді сітки скінченних елементів (б). Позначення як на рис. 1

На даному етапі моделювання основні характеристики середовища прийняті орієнтовно, у першому наближенні.

Загальна кількість елементів та вузлів складають 28378 та 14365 відповідно. У місцях контакту ґрунту та породного заповнювача кінцево-елементна сітка ще більш подрібнена з метою отримання найбільш вірогідних результатів під час проведення обчислювальних досліджень.

З метою отримання вірогідних даних під час фізичних процесів проникності води у ґрунті дана задача розв'язується у нестационарній постановці зі зміною з часом по положенню. Обчислювальні експерименти проведені у модулі *Fluent ANSYS WB*. Для адекватного моделювання течії води було враховано її гравітаційний та гідростатичний у горизонтальному напрямі тиск. Для врахування змочування частинок ґрунту та породного заповнювача було використано модель Ейлера. Відповідно, розглядаються дві фази – повітря та вода. Мінімальний розмір частинок води прийнято $1 \cdot 10^{-5}$. Коефіцієнт поверхневого натягнення води (Surface Tension Coefficient) складає 0,072 Н/м.

того, у модулі *Fluent ANSYS WB* відсутнє врахування набухання часток ґрунту при намочуванні й динаміки зміни його

проникливості. Отримані в даній роботі результати відбивають, переважно, якісну сторону процесу розповсюдження води у ґрунті. Надалі, для уточнення кількісних показників, передбачено проведення польових досліджень з встановлення характеристик ґрунту та породного заповнювача.

Проникність води через ґрунт та спеціального заповнювача прийнято відповідно до модуля Corey Model. Пористість ґрунту прийнято 0,1, пористість

порідного заповнювача 0,2. Капілярний тиск для породного заповнювача прийнято $1e^{+5}$ для ґрунту та $1e^{+6}$ відповідно. Опір проникненню води скрізь ґрунт (Residual Saturation) прийнято 0,05; для породного заповнювача 0 (табл. 1).

Результати розрахунків проникнення води до ґрунту представлено для початкового періоду зрошування, коли не відбувається суттєвого набухання ґрунтових часток, зміни пористості та гальмування проникнення води (рис. 3).

Таблиця 1. Основні прийняті при моделюванні показники середовищ

№ п/п	Параметр	Матеріал	Значення
1	Пористість	ґрунт	0,1
		заповнювач	0,2
2	Капілярний тиск, Па	ґрунт	$1e^{+6}$
		заповнювач	$1e^{+5}$
3	Опір проникненню води (Residual Saturation)	ґрунт	0,05
		заповнювач	0.0

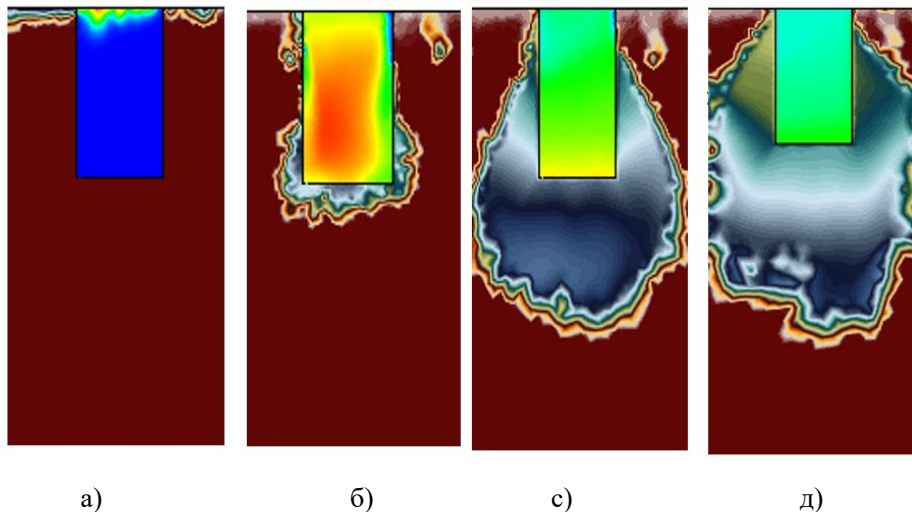


Рис.3. Візуалізація результатів моделювання процесу розповсюдження води з канавки до оточуючого ґрунту: а, б, с, д – тривалість процесу, відповідно, с: 1, 10, 20, 30

Отримані дані показують, що вода утримується не тільки у порожнечі канавки, але й поступово проникає до навколишнього ґрунту. Під впливом гравітаційних і капілярних сил вона рухається вглиб масиву, а також по сторонах канавки. Форма області зволоженого ґрунту близька до овальної. Центр овалу у період 10...20 с від подачі води знаходиться поблизу дна канавки, а далі спускається нижче нього. Горизонтальний

розмір овалу через 30 с складає близько трьох a (ширина канавки).

Глибина проникнення води нижче дна канавки протягом часу збільшується і після 30 с перевищує показник $3a$ (рис. 4). Характер розповсюдження потоку має хвилеподібний вид, у передній частині хвилі вміст води максимальний, а позаду зменшується. Максимальна концентрація вологи W у фронті хвилі з часом поступово

зменшується внаслідок перерозподілу потоку у горизонтальному напрямку.

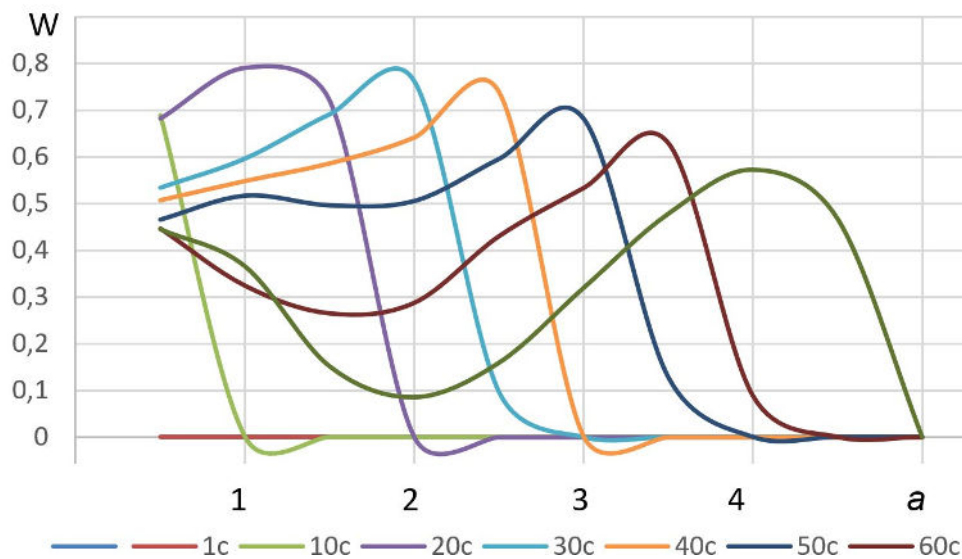


Рис. 4. Динаміка проникнення води до ґрунту в середньому перерізі канавки: W – концентрація води, частки; a – ширина канавки

Отримані дані свідчать про те, що розповсюдження води з канавки до ґрунту має вид свого роду краплі, яка стікає під дією гравітаційних сил. У міру заглиблення відбувається зменшення кількості води у краплі внаслідок розтікання у боки, а також змочування часток ґрунту позаду шляху краплі.

Обговорення результатів.

Раніше проведено дослідження властивостей перегорілих відвальних мас, що містяться у відвалах вугільних шахт, показало, що вони стають подібними до кераміки і не схильні до розмокання при замочуванні, мають пористу структуру і, гранулометрична фракція 0,63...3 мм, має відносно задовільні фільтраційні властивості. Наявність таких показників, широка доступність і незначна вартість перероблювання відкривають можливість використання твердих відходів гірництва у землеробстві для покращення утримання води на суглинкових ґрунтах.

Ідея полягає у переміщенні зрошувальної води до глибоких шарів орної землі через штучно виконані та заповнені дрібними твердими відходами гірництва канавки.

Перевірку ефективності запропонованого способу утримання вологи проведено шляхом математичного моделювання на основі методу скінчено-розносних елементів у модулі *Fluent ANSYS WB*. Недоліком прийнятого способу моделювання є те, що в ньому неможливо врахувати властивість ґрунту до поступового поглинання вологі та набухання. Це суттєво змінює фільтраційні показники середовища, що спотворює результати у яких відбивається переважно якісний характер механізму розповсюдження вологі у ґрунті. У зв'язку з цим, розглянуто тільки обмежений інтервал часу, який не перевищував 30...50 с, коли всмоктування води ґрунтом було несуттєве, і, відповідно, помилка розрахунків була невелика.

Розповсюдження води має характер подібний до хвилі яка іде до низу під дією гравітації. Отримані результати моделювання фрагмента ріллі показали, що рідина міститься не тільки у заповнених пористими відходами порожнечах канавок, але й проникає у навколишній масив нижче дна канавки, а також в її боки. Загальна зволожена частина ґрунту, що включає канавку плюс оточуючу вологу землю, має близьку до овалу форму, його вертикальна та

горизонтальна осі мають після 30 с приблизні розміри 3а*3а. Надалі, зростання овалу може різко загальмуватися через набухання суглинку. Верхня, що контактує з поверхнею, частина овалу приблизно дорівнює ширині канавки. Випаровування може відбуватись тільки через неї, решта вологи буде законсервована в овалі. Це підтверджує справедливість ідеї використання твердих відходів гірництва для утримання води у суглинках.

Висновки.

1. Запропоновано спосіб накопичення поливної вологи у ґрунті з використанням включень з твердих відходів гірництва. Обґрунтовано схему реалізації способу розташування у ріллі заповнених перегорілою породою канавок, а також вихідні та початкові умови її функціонування.

2. Для моделювання процесу накопичення води обрано представницький фрагмент ґрунту, що містить канавку заповнену дрібними відходами гірництва, створено фізико-механічний опис видів середовища та побудовано скінченно-елементну сітку, що відбиває властивості континууму елементів.

3. За результатами проведених обчислювальних експериментів у нестаціонарній постановці отримано якісні показники механізму розподілення води у дослідному фрагменті ґрунту. Встановлено хвильовий характер міграції води під впливом гравітаційних і капілярних сил.

4. Проведені дослідження показали, що зрошувальна вода концентрується у системі «канавка з породою – зволожений масив ґрунту», яка має вигляд овалу з обмеженою площиною контакту з поверхнею. Це визначає малу інтенсивність випаровування, і, відповідно, ефективність запропонованого способу утримання води у ріллі за допомогою додавання твердих відходів гірництва.

Список літератури

1. Stelmakh, V., Melniichuk, M., Melnyk, O. & Tokarchuk, I. Hydro-ecological State of Ukrainian Water Bodies Under the Influence of Military Actions. *Rocznik Ochrona Środowiska*, 2023. №25. P. 174-187. <https://doi.org/10.54740/ros.2023.017>
2. Kostenko, V., Tavrel, M., Bohomaz, O., Zavyalova, O., Kostenko, T., Myhalenko, K. & Kostyrka, O. Experimental Testing of Water Body Aeration Airlift Technology. *Ecological Engineering & Environmental*

3. Kostenko, V., Tavrel, M., Bohomaz, O., Kostenko, T., Kostyrka, O. & Zemlianskyi, O. Studying the Effect of Mineral Fertilizers on the Development of the Eutrophication Process in the Water Bodies. *Ecological Engineering & Environmental Technology*. 2023. №24(4). P. 79-87. <https://doi.org/10.12912/27197050/161950>
4. Yakovliev Ye. O., Splodytel A.O. & Chumachenko S.M. Evaluation of the ecological and geochemical state of surface water in Donbas. *Ukrainian hydrometeorological journal*. 2021. №28. P. 129-137. <https://doi.org/10.31481/uhmj.28.2021.12>
5. Ratslav V.V. Study of the chemical state of water quality in the Siverskyi Donets river basin through the definition of PS WFD. *Prospects and priorities of research in science and technology : Collective monograph. Riga, Latvia: "Baltija Publishing"*. 2020. P. 219-239. <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-008-7.2-12>
6. Богомаз, О., Костенко, В., Таврель, М., Главатських, К. Аналіз потенціалу міста Покровськ щодо накопичення та використання атмосферних опадів. *Екологічна безпека та природокористування*. 2023. №48(4). С. 48–61. <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2023.4.48-61>
7. Environmental Assessment and Recovery Priorities for Eastern Ukraine. Kyiv: VAITE. 2017. 88 p.
8. Kostenko, V., Zavalova, O., Chepak, O. & Pokalyuk, V. Mitigating the adverse environmental impact resulting from closing down of mining enterprises. *Mining of Mineral Deposits*, 2018. №12(3). P. 105–112. <https://doi.org/10.15407/mining12.03.105>
9. Улицький О.А., Д'яченко Н.О., Бойко К.Е., Орловський А.В., Артеменко І.О., Зосима В.Г. Оцінювання екологічної небезпеки впливу шахтних вод ставка-накопичувача Б. Таранова на водне середовище Західного Донбасу. *Екологічні науки*, 2021. №1(34). С. 31-35. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2021.eco.7-34.6>
10. Gavrishin, A.I. Mine Waters of the Eastern Donbass and Their Effect on the Chemistry of Groundwater and Surface Water in the Region. *Water Resour.* 2018. №45. P. 785–794. <https://doi.org/10.1134/S0097807818050081>
11. FAO. World Food and Agriculture—Statistical Yearbook 2021. FAO
12. Mansingh, B., Banik, R., Bag, S., Sunaratiya, A. & Das, T. Drip Irrigation System: An Effective Approach for Increasing Water Use Efficiency. *Green Technologies for Sustainable Agriculture – India: BIOTECH BOO*. 2023. P. 247-262. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7985739>
13. World Bank. «Water in Agriculture». Last modified October 5, 2022. <https://www.worldbank.org/en/topic/water-in-agriculture>.
14. Zubairov, O. Z., Nusipbekov, M. Z., Anuarbekov K. K., Nabiollina M. S & Makhambetova R. K. Injection Irrigation Method And Its Use For Watering. *Biosci Biotechnol Res Asia*. 2015. №12(3). P. 2657-2664. <http://dx.doi.org/10.13005/bbra/1946>
15. Arshad, I. Importance of Drip Irrigation System Installation and Management - A Review . *PSM Biological Research*, 2020. №5(1). P. 22-29.

16. Moursy, M.A.M., Elfetyany, M., Meleha, A.M.I. & El-Bialy, M.A. Productivity and profitability of modern irrigation methods through the application of on-farm drip irrigation on some crops in the Northern Nile Delta of Egypt. *Alexandria Engineering Journal*. 2023. №62. P. 349–356. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2022.06.063>
17. Cui, B., Niu, W., Du, Y. & Zhang, Q. (2020). Effects of nitrogen application and aerated irrigation on soil environment and yield in cucumber root area. *Water Saving Irrigation*. 2020. №4. P. 27–32.
18. Zang, M., Lei, H., Bhattarai, S. P., Balsys, R., & Xu, J. Effects of oxygation techniques on growth and physiology of vegetable under subsurface drip irrigation. *Paiguan Jixie Gongcheng Xuebao/Journal of Drainage and Irrigation Machinery Engineering*. 2020. №38(3). P. 310-317. <https://doi.org/10.3969/j.issn.1674-8530.18.0206>
19. Flores, J.H.N., Faria, L.C., Neto, O.R., Diotto, A.V. & Colombo, A. Methodology for determining the emitter local head loss in drip irrigation systems. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. 2021. №147. P.15-16. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)IR.1943-4774.0001516](https://doi.org/10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0001516)
20. Fukai, S. & Mitchell, J. Factors determining water use efficiency in aerobic rice. *Crop. Environ. Crop and Environment*. 2022. №1. P.24–40. <https://doi.org/10.1016/j.crope.2022.03.008>
21. Yang, P., Wu L., Cheng M., Fan J., Li S., Wang H. & Qian L. Review on Drip Irrigation: Impact on Crop Yield, Quality, and Water Productivity in China. *Water*. 2023. №15(9). P.1733. <https://doi.org/10.3390/w15091733>
22. Bajpai, A. & Kaushal, A. Soil moisture distribution under trickle irrigation: A review. *Water Supply*. 2020. №20. P. 761–772. <https://doi.org/10.2166/ws.2020.005>
23. Saxena N.N. A Literature Review on Drip Irrigation System. *International Journal of Modern Agriculture*. 2021. №10 (1). P. 690-696
24. Bhagya J., Kunal D., Ark R., Ritu R. & Rahul K.M. A review of the drip irrigation system. *Journal of Engineering Research and Application*. 2022. №1. <http://dx.doi.org/10.55953/JERA.1103>
25. Kostenko, V., Bohomaz, O., Hlushko, I., Liashok, N. & Kostenko, T. Use of solid mining waste to improve water retention capacity of loamy soils. *Mining of Mineral Deposits*. 2023. №17(4). P.29-34. <https://doi.org/10.33271/mining17.04.029>
26. Костенко В.К., Ляшок Я.О., Глушко І.О., Богомаз О.П., Зав'ялова О.Л., Когтева О.П., Картавцева О.Д. Спосіб виробництва органо-мінерального добрива. Пат. на корисну модель № 151740, Україна, МПК C05F 7/00 (2022.01); заявник і власник ДонНТУ. – № у 2021 07341; заявл. 16.12.2021; опубл. 07.09.2022. Бюл. № 26.
3. Kostenko, V., Tavrel, M., Bohomaz, O., Kostenko, T., Kostyrka, O. & Zemlianskiy, O. (2023). Studying the Effect of Mineral Fertilizers on the Development of the Eutrophication Process in the Water Bodies. *Ecological Engineering & Environmental Technology*, 24(4), 79–87. <https://doi.org/10.12912/27197050/161950>
4. Yakovliev Ye. O., Splodytel A.O. & Chumachenko S.M. (2021). Evaluation of the ecological and geochemical state of surface water in Donbas. *Ukrainian hydrometeorological journal*, 28, 129-137. <https://doi.org/10.31481/uhmj.28.2021.12>
5. Ratslav V.V. (2020). Study of the chemical state of water quality in the Siverskyi Donets river basin through the definition of PS WFD. *Prospects and priorities of research in science and technology : Collective monograph*. Riga, Latvia: "Baltija Publishing", 219-239. <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-008-7.2-12>
6. Bohomaz, O., Kostenko, V., Tavrel, M. & Hlavatskykh, K. (2023). Analiz potentsialu mista Pokrovs'k shchodo nakopychennya ta vykorystannya atmosferykh opadiv. *Ekolohichna bezpeka ta pryrodokorystuvannya*, 48(4), 48-61. <https://doi.org/10.32347/2411-4049.2023.4.48-61>
7. Environmental Assessment and Recovery Priorities for Eastern Ukraine. – Kyiv: VAITE, 2017. – 88 p.
8. Kostenko, V., Zavalova, O., Chepak, O. & Pokalyuk, V. (2018). Mitigating the adverse environmental impact resulting from closing down of mining enterprises. *Mining of Mineral Deposits*, 12(3), 105–112. <https://doi.org/10.15407/mining12.03.105>
9. Ulyts'kyi O.A., D'yachenko N.O., Boyko K.E., Orlovs'kyi A.V., Artemenko I.O. & Zosyma V.H. (2021). Otsynuyvannya ekolohichnoyi nebezpeky vplyvu shakhtnykh vod stavka-nakopychuvacha B. Taranova na vodne seredovyshe Zakhidnoho Donbasu. *Ekolohichni nauky*, 1(34), 31-35. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2021.eco.7-34.6>
10. Gavrishin, A.I. (2018). Mine Waters of the Eastern Donbass and Their Effect on the Chemistry of Groundwater and Surface Water in the Region. *Water Resour* 45, 785–794. <https://doi.org/10.1134/S0097807818050081>
11. FAO. 2021. World Food and Agriculture—Statistical Yearbook 2021. FAO
12. Mansingh, B., Banik, R., Bag, S., Sunaratiya, A. & Das, T. (2023). Drip Irrigation System: An Effective Approach for Increasing Water Use Efficiency. *Green Technologies for Sustainable Agriculture – India: BIOTECH BOO*, 247-262. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7985739>
13. World Bank. 2022. «Water in Agriculture». Last modified October 5, 2022. <https://www.worldbank.org/en/topic/water-in-agriculture>.
14. Zubairov, O. Z, Nusipbekov, M. Z, Anuarbekov K. K, Nabiollina M. S & Makhambetova R. K. (2015). Injection Irrigation Method And Its Use For Watering. *Biosci Biotechnol Res Asia*, 12(3), 2657-2664. <http://dx.doi.org/10.13005/bbra/1946>
15. Arshad, I. (2020). Importance of Drip Irrigation System Installation and Management - A Review . *PSM Biological Research*, 5(1): 22-29.
16. Moursy, M.A.M., Elfetyany, M., Meleha, A.M.I. & El-Bialy, M.A. (2023). Productivity and profitability of modern irrigation methods through the application of on-farm drip irrigation on some crops in the Northern

References

1. Stelmakh, V., Melniichuk, M., Melnyk, O. & Tokarchuk, I. (2023). Hydro-ecological State of Ukrainian Water Bodies Under the Influence of Military Actions. *Rocznik Ochrona Środowiska*, 25, 174-187. <https://doi.org/10.54740/ros.2023.017>
2. Kostenko, V., Tavrel, M., Bohomaz, O., Zavyalova, O., Kostenko, T., Myhalenko, K. & Kostyrka, O. (2022). Experimental Testing of Water Body Aeration Airlift Technology. *Ecological Engineering & Environmental Technology*, 23(3), 184–192. <https://doi.org/10.12912/27197050/147635>

- Nile Delta of Egypt. *Alexandria Engineering Journal*, 62, 349–356. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2022.06.063>
17. Cui, B., Niu, W., Du, Y. & Zhang, Q. (2020). Effects of nitrogen application and aerated irrigation on soil environment and yield in cucumber root area. *Water Saving Irrigation*, 4, 27–32.
 18. Zang, M., Lei, H., Bhattarai, S. P., Balsys, R., & Xu, J. (2020). Effects of oxygation techniques on growth and physiology of vegetable under subsurface drip irrigation. *Paiguan Jixie Gongcheng Xuebao/Journal of Drainage and Irrigation Machinery Engineering*, 38(3), 310-317. <https://doi.org/10.3969/j.issn.1674-8530.18.0206>
 19. Flores, J.H.N., Faria, L.C., Neto, O.R., Diotto, A.V. & Colombo, A. (2021). Methodology for determining the emitter local head loss in drip irrigation systems. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 147, 15-16. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)IR.1943-4774.0001516](https://doi.org/10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0001516)
 20. Fukai, S. & Mitchell, J. (2022). Factors determining water use efficiency in aerobic rice. *Crop. Environ. Crop and Environment*, 1, 24–40. <https://doi.org/10.1016/j.crope.2022.03.008>
 21. Yang, P., Wu L., Cheng M., Fan J., Li S., Wang H. & Qian L. (2023). Review on Drip Irrigation: Impact on Crop Yield, Quality, and Water Productivity in China. *Water*, 15(9), 1733. <https://doi.org/10.3390/w15091733>
 22. Bajpai, A. & Kaushal, A. (2020). Soil moisture distribution under trickle irrigation: A review. *Water Supply*, 20, 761–772. <https://doi.org/10.2166/ws.2020.005>
 23. Saxena N.N. (2021). A Literature Review on Drip Irrigation System. *International Journal of Modern Agriculture*, 10 (1), 690-696
 24. Bhagya J., Kunal D., Ark R., Ritu R. & Rahul K.M. (2022). A review of the drip irrigation system. *Journal of Engineering Research and Application*, 1. <http://dx.doi.org/10.55953/JERA.1103>
 25. Kostenko, V., Bohomaz, O., Hlushko, I., Liashok, N. & Kostenko, T. (2023). Use of solid mining waste to improve water retention capacity of loamy soils. *Mining of Mineral Deposits*, 17(4), 29-34. <https://doi.org/10.33271/mining17.04.029>
 26. Kostenko, V.K., Lyashok, YA.O., Hlushko, I.O., Bohomaz, O.P., Zavyalova, O.L., Kohtyeva, O.P. & Kartavtseva O.D. (2022). Sposib vyrobnytstva orhano-mineral'noho dobryva. Patent for utility model 151740, Ukraine.

Надійшла до редакції 28.10.2024

Рецензент д-р. техн. наук, проф. Олександр НУЯНЗІН

Костенко Віктор Климентович – д.т.н., проф., завідувач кафедри природоохоронної діяльності ДВНЗ «Донецький національний технічний університет» (43003, Україна, Волинська область, м. Луцьк, вул. Потебні, 56). E-mail: vk.kostenko@gmail.com

Богомоз Ольга Петрівна – PhD, доцент, доцент кафедри природоохоронної діяльності ДВНЗ «Донецький національний технічний університет» (43003, Україна, Волинська область, м. Луцьк, вул. Потебні, 56). Доцент кафедри безпеки праці та охорони довкілля ТУ «Метінвест Політехніка», (69008, Україна, Україна, Запорізька обл., м. Запоріжжя, Південне шосе, 80). E-mail: olha.bohomaz@donntu.edu.ua

Сідней Станіслав Олександрович – к.т.н., доцент, доцент кафедри безпеки об'єктів будівництва та охорони праці Черкаського інституту пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля Національного університету цивільного захисту України (18034, Україна, м. Черкаси, вул. Онопрієнко, 8). E-mail: sidney-1980@ukr.net

Кутняшенко Олексій Ігорович – к.т.н., доцент, доцент кафедри природоохоронної діяльності ДВНЗ «Донецький національний технічний університет» (43003, Україна, Волинська область, м. Луцьк, вул. Потебні, 56). E-mail: oleksii.kutniashenko@donntu.edu.ua

Таврель Марина Ігорівна – старший викладач кафедри безпеки праці та охорони довкілля ТУ «Метінвест Політехніка», (69008, Україна, Україна, Запорізька обл., м. Запоріжжя, Південне шосе, 80). E-mail: maryna.tavrel@mipolytech.education

Вірич Світлана Олександрівна – к.т.н., доцент, завідувачка кафедри прикладної механіки ДВНЗ «Донецький національний технічний університет» (43003, Україна, Волинська область, м. Луцьк, вул. Потебні, 56). E-mail: svitlana.virych@donntu.edu.ua

USE OF MINING WASTE TO PRESERVE FIELD MOISTURE

Purpose. Justification of the effectiveness of the proposed method of retaining irrigation moisture in arable land due to the formation of filter inclusions.

Research methodology. Computer modeling of filtration flows of irrigation water from the surface to the underlying soil layers.

Results. In this article, the authors proposed a method to prevent irrigation water loss in agricultural fields by creating grooves on arable land that have a small open surface area. In order to prevent the walls of the groove from collapsing, the possibility of filling their cavity with small solid burnt mining wastes, which have high filtration properties, was considered. At the same time, filling the void of the groove with a mixture made on the basis of burned waste mass with the addition of bottom sediments raised from reservoirs will also act as a means of increasing productivity. The implementation scheme for arranging irrigation ditches filled with burnt rock in the field, as well as the initial and operational conditions, are substantiated. According to the results of computer and mathematical modeling, using the ANSYS WB program, in a non-stationary setting, qualitative indicators of the water distribution mechanism in the experimental soil fragment were obtained. The wave nature of water migration under the influence of gravitational and capillary forces has been established. The studies show that irrigation water is concentrated in the "groove with rock - moistened soil massif" system, which has the

shape of an oval with a limited contact plane with the surface. This determines the low intensity of evaporation, and, accordingly, the effectiveness of the proposed method of retaining water in the arable land by adding solid burnt mining waste.

Scientific novelty. The use of small solid mining waste to create irrigation ditches on arable land is proposed, and qualitative indicators of the water distribution mechanism in the experimental soil fragment are obtained.

Practical significance. The use of small solid mining wastes, which have high filtration properties, to fill the cavity of irrigation ditches on arable land will allow reducing the loss of water to evaporation and improve the physical and mechanical properties of loamy soils.

Key words: mining solid waste, irrigation water, ditch, arable land, loamy soil.

Viktor Kostenko – Dr, Prof., Head of the Department of Environmental Protection (56, Potebni Str., Lutsk, Volyn region, 43003, Ukraine)

E-mail: vk.kostenko@gmail.com

Olha Bohomaz - PhD, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Environmental Protection (56, Potebni Str., Lutsk, Volyn region, 43003, Ukraine). Associate Professor of the Department of Occupational Safety and Environmental Protection of TU "Metinvest Polytechnic", (69008, Ukraine, Zaporizhia region, Zaporizhia city, 80 Southern Highway).

E-mail: olha.bohomaz@donntu.edu.ua

Stanislav Sidnei – PhD, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Safety of Construction and Occupational Safety Cherkasy Institute of Fire Safety named after Chernobyl Heroes

National University of Civil Protection of Ukraine (18034, Ukraine, Cherkasy, Onoprienko str., 8).

E-mail: sidney-1980@ukr.net

Oleksii Kutniashenko – PhD, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Environmental Protection (56, Potebni Str., Lutsk, Volyn region, 43003, Ukraine).

E-mail: oleksii.kutniashenko@donntu.edu.ua

Maryna Tavrel – Senior lecturer of the Department of Occupational Safety and Environmental Protection of TU "Metinvest Polytechnic", (69008, Ukraine, Zaporizhia region, Zaporizhia city, 80 Southern Highway). E-mail:

maryna.tavrel@mipolytech.education

Svitlana Virych – PhD, Associate Professor, Head of the Department of Applied Mechanics (56, Potebni Str., Lutsk, Volyn region, 43003, Ukraine).

E-mail: svitlana.virych@donntu.edu.ua