ГІДРОТЕХНІЧНЕ БУДІВНИЦТВО, ВОДНА ІНЖЕНЕРІЯ ТА ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 631.4.6 https://doi.org/10.31713/vt320231

Хлапук М. М., д.т.н., професор, Ткачук М. М., д.т.н., професор, Безусяк О. В., к.т.н., доцент, Волк Л. Р., к.т.н., доцент, Дем'янюк А. В., ст. викладач, Шумлянський А. О., аспірант (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне), **Осадчий В. С., к.т.н., доцент** (Одеська державна академія будівництва та архітектури, м. Одеса), **Шумінський В. Д., к.т.н., п.н.с.** (ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій», м. Київ)

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПАРАМЕТРІВ ДРЕНАЖНОЇ СИСТЕМИ НА РОБОТУ ПІДРУСЛОВОГО ДРЕНАЖУ

В статті розглянуто роботу закритої осушувальної дренажної системи, що дозволяє створювати великі площі (100–300 га) між каналами та оперативно управляти водним режимом території, що осушується. Осушення проводиться в сільському і лісовому господарствах, при будівництві доріг, аеродромів, промислових підприємств, добуванні корисних копалин, освоєнні території під міста. Площа боліт і перезволожених земель в Україні складає 4190 тис. га. Значно перезволоженим є Українське Полісся та Вінницька, Івано-Франківська, Тернопільська, Хмельницька, Чернівецька області та інші площі, розміщені в басейнах річок Дніпра, Прип'яті, Десни, Західного Бугу, Дунаю, Дністра, Південного Бугу, Сіверського Дінця тощо. Осушувальні меліорації підвищують ефективність сільськогосподарського виробництва, сприяють зростанню врожайності сільськогосподарської продукції, укріплюють економіку України. В статті розглядається закрита дренажна регулювальна мережа, що забезпечує своєчасне зниження рівня ґрунтових вод до норми осушення. В статті також наведено теоретичні дослідження впливу проєктних параметрів дренажної системи на роботу підруслового дренажу, що ґрунтуються на класичних математичних дослідженнях В. В. Ведернікова. На основі аналізу теорії фільтрації [1] та її застосування до дренажних систем

досліджено вплив геометричних факторів області фільтрації (глибини закладання дрен та відстані між ними) на фільтраційний опір; досліджено залежність параметрів q/k_0 і V/k_0 від глибини закладання дрен та відстані між ними. Наведено графіки залежності тривалості пониження кривої депресії до норми осушення від коефіцієнта фільтрації, глибини закладання дрен та відстані між ними. Наведено графіки залежності тривалості пониження кривої депресії до норми осушення від коефіцієнта фільтрації, глибини закладання дрен та відстані між ними, що дає можливість оцінити доцільність будівництва дренажної система в ґрунтах.

***Ключові слова*: відстань між дренами; глибина закладання дрен; дрена; дренаж; осушувальна дренажна система; коефіцієнт фільтрації; область фільтрації; норма осушення; фільтраційний опір.**

Вступ. В сучасних умовах при проведенні меліоративного будівництва до проектування дренажних систем ставляться вимоги використання надійних теоретичних методів оцінки фільтраційних характеристик дрен. Такі меліоративні системи, які забезпечували б роботу дрен в проєктних (розрахункових) режимах по дренуванню ґрунтів та економію води, вимагають використання досконалого та апробованого математичного апарату розрахунку дрен.

Осушення проводиться в сільському і лісовому господарствах, при будівництві доріг, аеродромів, промислових підприємств, добуванні корисних копалин, освоєнні території під міста. Площа боліт і перезволожених земель в Україні складає 4190 тис. га, із них боліт і торфоболотних земель – 613 тис. га, заболочених земель – 745 тис. га і перезволожених земель – 2834 тис. га. Значно перезволоженим є Українське Полісся (Волинська, Житомирська, Київська, Рівненська, Сумська, Чернігівська області) та Вінницька, Івано-Франківська, Тернопільська, Хмельницька, Чернівецька області та інші площі, розміщені в басейнах річок Дніпра, Прип’яті, Десни, Західного Бугу, Дунаю, Дністра, Південного Бугу, Сіверського Дінця тощо. Осушувальні меліорації підвищують ефективність сільськогосподарського виробництва, сприяють зростанню врожайності сільськогосподарської продукції, укріплюють економіку України.

В статті розглянуто закриту дренажну регулювальну мережу, що забезпечує своєчасне зниження рівня ґрунтових вод до норми осушення

(таблиця) (як правило, з коефіцієнтом фільтрації у верхньому метровому шарі ґрунту понад 0,3 м/доб).

При влаштуванні закритої осушувальної мережі нема втрат площ, підвищується коефіцієнт земельного використання та механізація сільськогосподарських робіт, здешевлюється експлуатація системи та внутрішньогосподарське землевпорядкування. Тому для забезпечення надійності та прискорення проєктування та реконструкції меліоративних систем слід використовувати перевірені та надійні теоретичні дослідження.

Таблиця

Норми осушення сільськогосподарських культур

Культура	Середні значення норм осушення, см		
	передпосів-ний період	перший місяць вегетації	другий місяць вегетації
Зернові ярі	45–50	70–80	70–90
Зернові озимі	70–80	70–80	70–90
Конопля	50–60	70–85	85–105
Картопля цукрові і кормові буряки	70–80	85–100	90–100
Овочі, соняшник, кукурудза на силос	50–60	70–80	80–100

Наведені в статті теоретичні дослідження ґрунтуються на класичних математичних дослідженнях В. В. Ведернікова [1].

Розглянемо закриту осушувальну дренажну систему. На рисунку 1 зображено характерний фрагмент цієї системи, який включає область фільтрації однієї дрени.

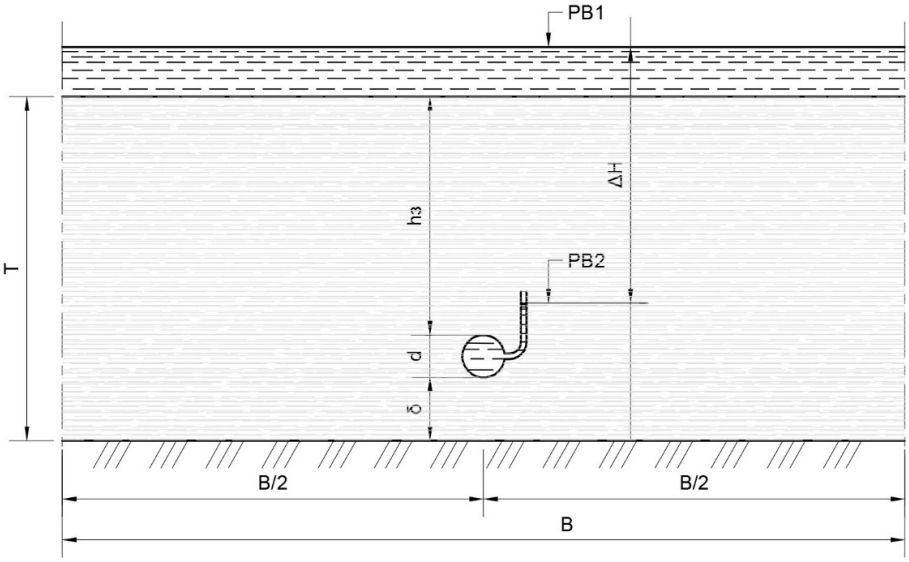

Рис. 1. Розрахункова схема фрагменту області фільтрації

Цей фрагмент характеризується наступними природними факторами: потужністю водопроникного шару ґрунту T, та коефіцієнтом фільтрації ґрунтового масиву, що дренується k_0.

Проєктні параметри дренажної системи (тип дрен та їх діаметр d, глибина закладання дрен h_3, відстань між ними B, фільтраційний опір Φ_0 та норма осушення a) визначаються на основі її розрахунку.

На виділений фрагмент діє гідравлічний напір $\Delta H = PB1 - PB2$.

Визначальними (основними) параметрами цього фрагменту області фільтрації є: питома витрата q_0, м^2/добу; середня швидкість пониження рівня води вище поверхні землі V, м/добу; час пониження кривої депресії до норми осушення t, діб. Наведені основні параметри суттєво залежать від коефіцієнта фільтрації ґрунтового масиву і тому за основні параметри прийнято наступні величини: q_0/k_0; V/k_0 і t.

Для розрахунку стаціонарної осесиметричної фільтрації до свердловин та дрен використовується метод стоків та витоків [1–5]. В. В. Ведерніковим [1] отримано розв’язок задачі притоку до систематичного дренажу, що працює в підрусловому режимі, зокрема математичну модель для обчислення питомої витрати до дрени (порожнини в ґрунті) [1]

$$q_0 = \frac{2\pi k_0 \Delta H}{\Phi_0}. \qquad (1)$$

Фільтраційний опір області фільтрації визначається за рівнянням (2), яке отримано із розв'язку В.В. Ведернікова (формула 326) [1]

$$\Phi_o = 2Arth\sqrt{\frac{sn(2Khз/B;k_1)}{sn(2K(hз+d)/B;k_1)}}, \qquad (2)$$

де K – повний еліптичний інтеграл по модулю k; $k_1 = \sqrt{1-k^2}$;

$sn(\ )$ – еліптичний синус (функція Якобі);

$th(\ )$ – гіперболічний тангенс;

$$K = \frac{\pi}{2}\left\{1+\left(\frac{1}{2}\right)^2 k^2 + \left(\frac{1\cdot 3}{2\cdot 4}\right)^2 k^4 + \ldots + \left[\frac{(2n-1)!!}{2^n n!}\right]^2 k^{2n} + \ldots\right\}, \qquad (3)$$

$$sn(u) = u - \frac{1+k^2}{3!}u^3 + \frac{1+14k^2+k^4}{5!}u^5 - \frac{1+135k^2+135k^4+k^6}{7!}u^7 +$$

$$+\frac{1+1228k^2+5478k^4+1228k^6+k^8}{9!}u^9 - \ldots \quad [|u| < |K'|] \quad . \qquad (4)$$

Модуль k повного еліптичного інтегралу залежить від форми області фільтрації, яка характеризується відношення $B/(2T)$ [1].

В натурних умовах відстань між дренами приймається від 10 до 40 метрів. При великих коефіцієнтах фільтрації відстань приймається меншою, а при малих – більшою.

Глибина закладання дрен (відстань від поверхні ґрунту до поверхні дрени) h_3 приймається від 0,7 до 1,8 м.

В практиці гідромеліоративного будівництва діаметр дрен гончарного дренажу у абсолютній більшості становить d =5 см.

Потужність водопроникного шару ґрунту T може бути різною, але зазвичай є більшою або рівною $T \geq hз + d$ (рис. 1).

Дослідження впливу геометричних факторів на фільтраційний опір області фільтрації (рівняння 2), виконано в безрозмірних параметрах $\Phi_0 = f(B/(2T),\ hз/B,\ (hз+d)/B)$.

Графіки залежності відстані між дренами до подвоєної потужності водопроникного шару ґрунту (параметра, який характеризує геометричну форму області фільтрації) $B/(2T)$, наведено на рисунку 2.

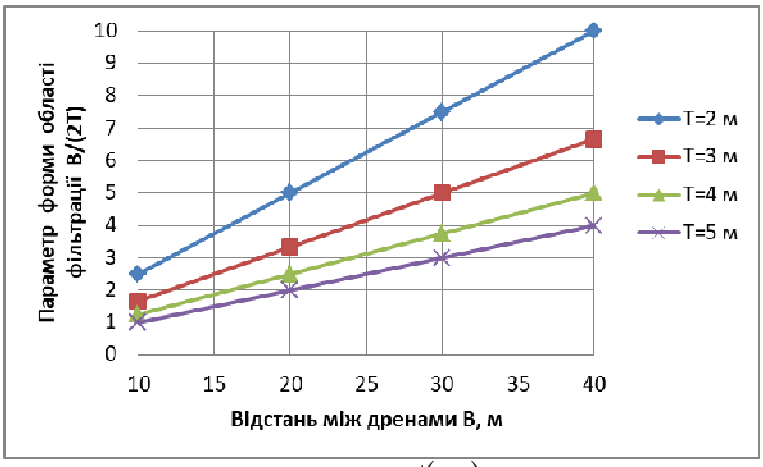

Рис. 2. Графіки залежності параметра $B/(2T)$ від відстані між дренами при різних потужностях водопроникного шару ґрунту (відстані до водоупору)

З рис. 2 видно, що параметр форми області фільтрації прямо пропорційно залежить від відстані між дренами. При потужності водопроникного шару T =2 м і відстані між дренами 10 м параметр форми області фільтрації приймає мінімальне значення при $B/(2T)$=2,5, а максимальне – $B/(2T)$=10 при відстані 40 м.

Згідно з рекомендаціями В. В. Ведернікова, [1] модуль повного еліптичного інтегралу k =1 для випадків, коли $B/(2T)$>2,5, а повний еліптичний інтеграл є сталою величиною і дорівнює K =3,1896. Для подальшого теоретичного дослідження впливу визначальних параметрів дренажної системи на роботу дренажної системи прийнято T =2 м.

На рисунку 3 наведено графіки залежності фільтраційного опору області фільтрації від глибини закладання дрен та відстані між ними. З графіків видно, що при збільшені глибини закладання дрен фільтраційний опір області фільтрації зростає. Причому інтенсивність зростання опору суттєво збільшується при зменшені відстані між дренами. При відстані між дренами B =10 м опір області фільтрації спочатку монотонно зростає й досягає свого максимального значення при глибині закладення дрени h_3 =1,6 м, а далі монотонно зменшується.

Зменшення фільтраційного опору при збільшенні відстані між дренами пояснюється тим, що при збільшені відстані між дренами відповідно збільшується ширина вхідного контуру області фільтрації (поверхні землі).

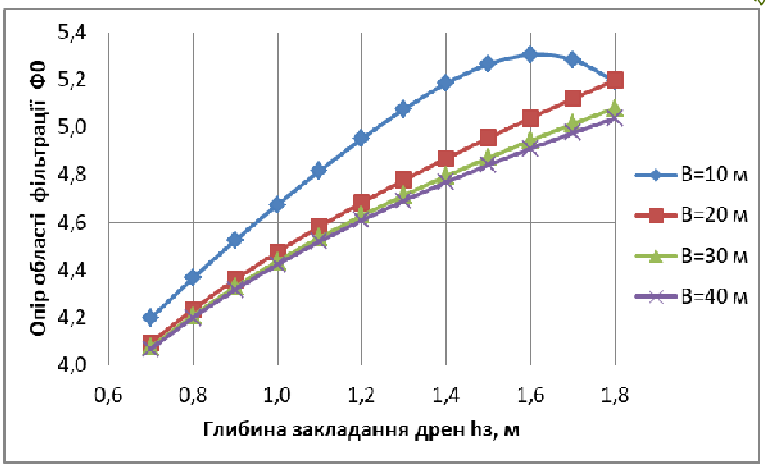

Рис. 3. Графіки залежності фільтраційного опору області фільтрації від глибини закладання дрен та відстані між ними

Збільшення фільтраційного опору від глибини закладання дрен пов'язано зі збільшенням довжини ліній току (шляху переміщення фільтраційного потоку до дрени).

На рисунку 4 зображено графіки залежності параметра q/k_0 від глибини закладання дрен та відстані між ними. З графіків видно, що при збільшені глибини закладання дрен цей параметр зменшується. Причому інтенсивність його зменшення суттєво збільшується при зменшені відстані між дренами. При відстані між дренами B =10 м параметр q/k_0 спочатку монотонно зменшується, досягає свого мінімального значення при глибині закладення дрени h_3 =1,6 м, а далі монотонно зростає.

Характер зміни параметра q/k_0 від глибини закладання дрен та відстані між ними є обернено пропорційним фільтраційному опору.

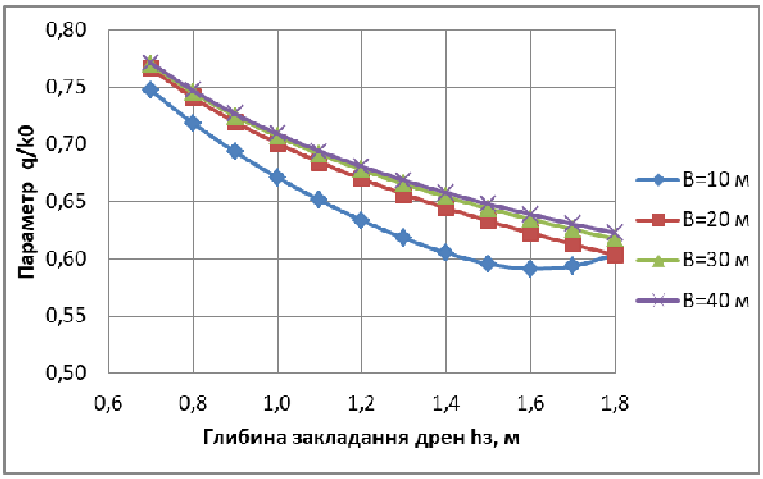

Рис. 4. Графіки залежності параметра q/k_0 від глибини закладання дрен та відстані між ними

На рис. 5 наведено графіки залежності параметра $V/k_0 = (q/B)/k_0$, який у відносних величинах характеризує середню швидкість пониження рівня води вище поверхні землі, від глибини закладання дрен та відстані між ними.

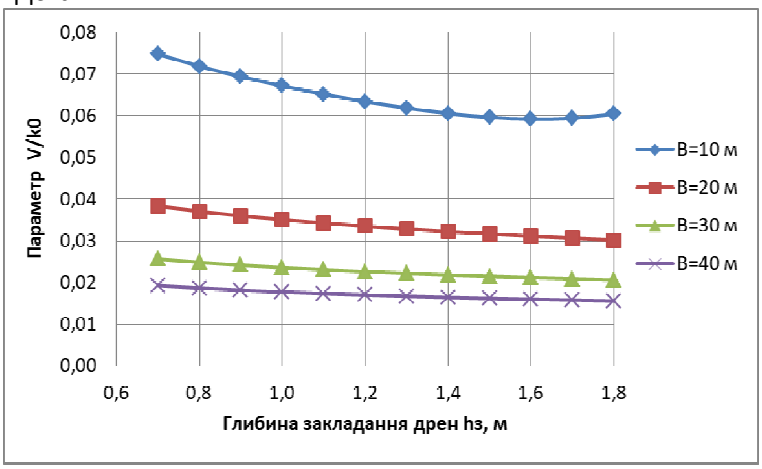

Рис. 5. Графіки залежності параметра V/k_0 від глибини закладання дрен та відстані між ними

З графіків видно, що при збільшенні глибини закладання дрен цей параметр зменшується. Причому інтенсивність його зменшення суттєве при збільшенні відстані між дренами. При відстані між дренами B =10 м параметр V/k_0 спочатку монотонно зменшується, досягає свого

мінімального значення при глибині закладення дрени h_3=1,6 м, а далі повільно зростає.

Слід зауважити, що безпосередньо в зворотному фільтрі біля дрен в суфозійних ґрунтах через процеси в цій зоні можуть виникати значні градієнти напору (до 2 на відстані 10 см від дрени та 5–7 в придренній зоні [7]), що призведе до перевищення критичних значень градієнтів і, як наслідок, до фільтраційної деформації ґрунту, а також зміни коефіцієнта фільтрації в цій придренній зоні. Це може негативно позначитися на роботі дрен через їх можливий кольматаж. Аналіз суфозійних процесів в масиві ґрунту в зоні впливу дрени потребує окремого розгляду, оскільки суттєво впливає на дренування ґрунту та тривалість *t* пониження кривої депресії.

На рисунках 6–8 наведено графіки залежності вихідного параметра $t = a/V_{к.д.}$, тривалості пониження кривої депресії до норми осушення (для побудови графіків норму осушення прийнято рівною 40 см) від глибини закладання дрен та відстані між ними для різних ґрунтів.

При пониженні рівня води нижче поверхні землі, тобто при появі кривої депресії, відбудеться зменшення діючого напору ΔH (для розрахунків прийнято 0,5 м) (див. рис. 1). Одночасно довжина ліній току теж буде зменшуватись. Тому швидкість пониження кривої депресії $V_{к.д.}$ буде відрізнятись на незначну величину від швидкості V (при пониженні рівня води вище поверхні землі). Можна вважати, що $V_{к.д.} = V$, тоді $t = a/V = a/(q/B)/k_0$.

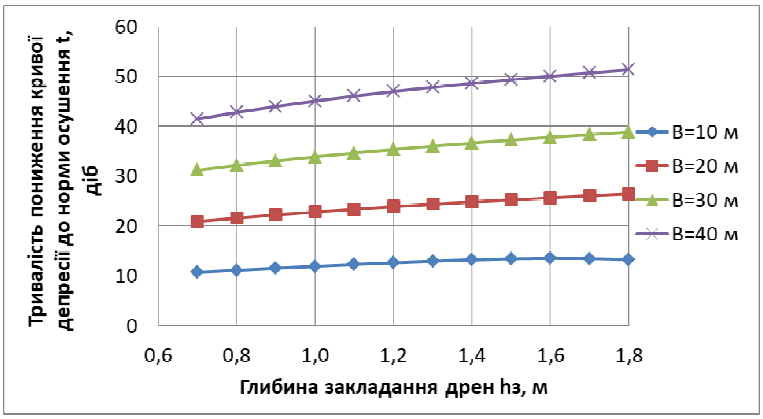

Рис. 6. Графіки залежності тривалості t пониження кривої депресії до норми осушення від глибини закладання дрен та відстані між ними при k_0=0,5 м/добу

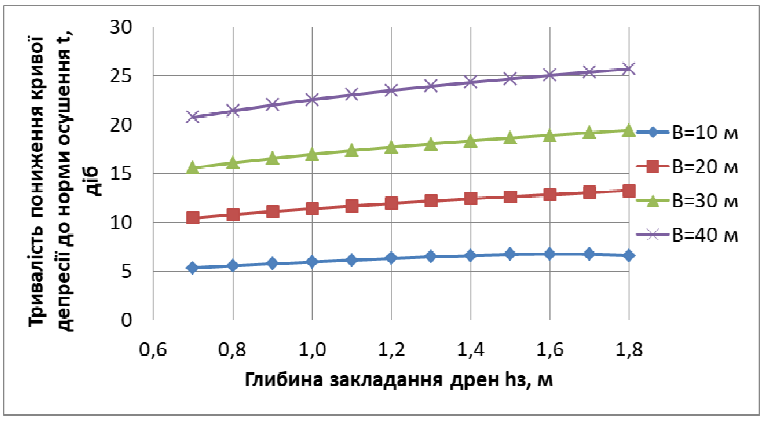

Рис. 7. Графіки залежності тривалості t пониження кривої депресії до норми осушення від глибини закладання дрен та відстані між ними при k_0=1,0 м/добу

З графіків (рис. 6–8) видно, що при збільшені глибини закладання дрен тривалість пониження кривої депресії до норми осушення монотонно зростає. При збільшені відстані між дренами тривалість пониження кривої депресії до норми осушення значно збільшується. При збільшені коефіцієнта фільтрації ґрунту тривалість пониження кривої депресії до норми осушення суттєво зменшується.

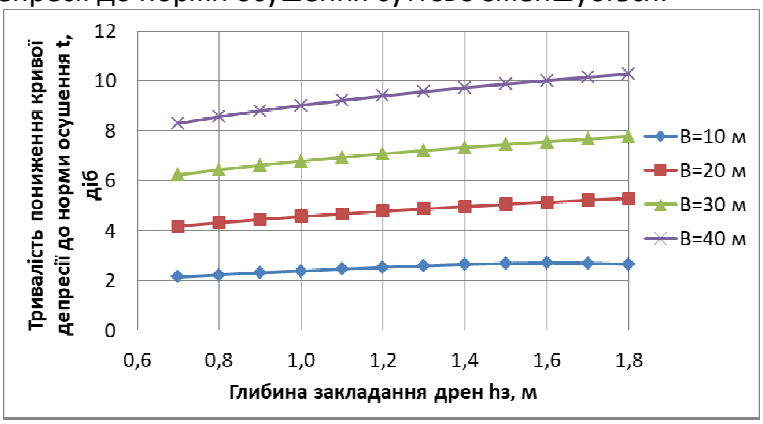

Рис. 8. Графіки залежності тривалості t пониження кривої депресії до норми осушення від глибини закладання дрен та відстані між ними при k_0=2,5 м/добу

На рис. 9 наведено графіки залежності тривалості пониження кривої депресії до норми осушення від коефіцієнта фільтрації, глибини закладання дрен та відстані між ними. З графіків видно, що тривалість

пониження кривої депресії до норми осушення незначною мірою залежить від глибини закладання дрен, але значно залежить від відстані між ними.

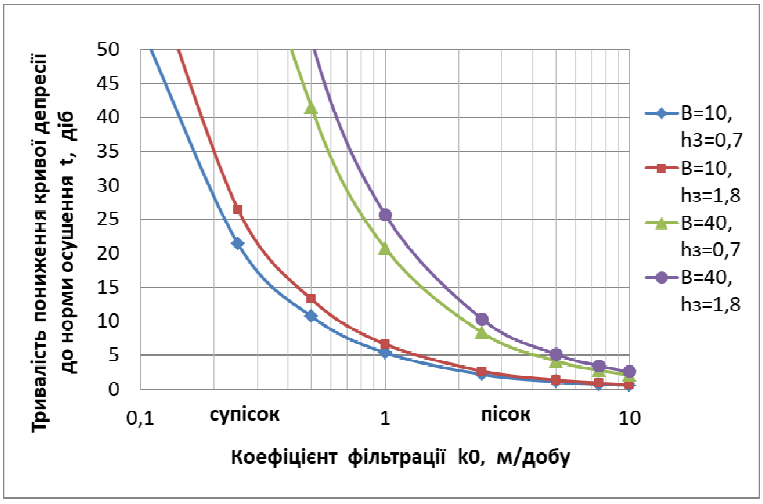

Рис. 9. Графіки залежності тривалості пониження кривої депресії до норми осушення від коефіцієнта фільтрації, глибини закладання дрен та відстані між ними

Рис. 9 дає можливість наближено визначити проєктні параметри дренажної системи залежно від коефіцієнта фільтрації ґрунту, що дренується, та прийнятої тривалості пониження кривої депресії до норми осушення, а також дає можливість оцінити доцільність побудови дренажної системи в таких ґрунтах. При коефіцієнтах фільтрації ґрунту менше ніж 0,5 м/добу тривалість пониження кривої депресії до норми осушення суттєво збільшується, що може унеможливити будівництво дренажної системи в цих ґрунтах.

При потребі зменшення тривалості пониження кривої депресії до норми осушення при фактичному значенні коефіцієнта фільтрації ґрунту можна застосувати додаткові меліоративні заходи для збільшення водопроникності ґрунту (розпушування ґрунту, глибоке його рихлення [6], піскування). Доцільність цих заходів визначається техніко-економічним розрахунком.

Висновки

1. На основі аналізу розв’язку задачі фільтрації до підруслової дрени [1] досліджено вплив геометричних факторів області фільтрації (глибини закладання дрен та відстані між ними) на фільтраційний

опір; досліджено залежність параметрів q/k_0 і V/k_0 від глибини закладання дрен та відстані між ними.

2. Показана залежність тривалості пониження $t = a/V_{к.д.}$, кривої депресії до норми осушення від глибини закладання дрен та відстані між ними для різних коефіцієнтів фільтрації ґрунтів.
3. Наведено графіки залежності тривалості пониження кривої депресії до норми осушення від коефіцієнта фільтрації, глибини закладання дрен та відстані між ними.
4. Наведено графіки залежності тривалості пониження кривої депресії до норми осушення від коефіцієнта фільтрації, глибини закладання дрен та відстані між ними, що дає можливість оцінити доцільність будівництва дренажної система в таких ґрунтах.
5. В околах дрен можуть виникати значні градієнти напору (до 2 на відстані 10 см від дрени та 5–7 в околах дрен [7], що призведе до перевищення критичних значень градієнтів і, як наслідок, до деформації ґрунту і зміни коефіцієнта.

1. Ведерников В. В. Теория фильтрации и её применение в области ирригации и дренажа. М.-Л. : Госстройиздат, 1939. 248 с. **2.** Дренаж сельскохозяйственных земель / под ред. Д. Н. Лютина ; пер. с англ. М. : Колос, 1964. 719 с. **3.** Олейник А. Я. Геогидродинамика дренажа. К. : Наукова думка, 1981. 284 с. **4.** Полубаринова-Кочина П. Я. Теория движения грунтовых вод. М. : Наука, 1977. 664 с. **5.** Усенко В. С. Вопросы теории фильтрационных расчетов дренажных и водозаборных скважин. М. : Колос, 1968. 301 с. **6.** Рокочинський А. М., Сташук В. Л. Відновлення потенціалу осушуваних ґрунтів на основі застосування засобів глибинного агромеліоративного розпушування. *Вісник НУВГП. Технічні науки*. 2021. Вип. 3(95). С. 161–170. **7.** Айвазов А. М. Исследование работы закрытых дрен с фильтрующими соединительными элементами. *Научно-технический отчет*. Баку, 1981. 33 с.

REFERENCES:

1. Vedernykov V. V. Teoryia fyltratsii i ee prymenenie v oblasti irrihatsii i drenazha. M.-L. : Hosstroiyzdat, 1939. 248 s. **2.** Drenazh selskokhoziaistvennykh zemel / pod red. D. N. Liutyna ; per. s anhl. M. : Kolos, 1964. 719 s. **3.** Oleinyk A. Ya. Heohydrodynamyka drenazha. K. : Naukova dumka, 1981. 284 s. **4.** Polubarynova-Kochyna P. Ya. Teoryia dvyzhenyia hruntovykh vod. M. : Nauka, 1977. 664 s. **5.** Usenko V. S. Voprosy teorii fyltratsyonnykh raschetov drenazhnykh i vodozabornykh skvazhin. M. : Kolos, 1968. 301 s. **6.** Rokochynskyi A. M., Stashuk V.

L. Vidnovlennia potentsialu osushuvanykh gruntiv na osnovi zastosuvannia zasobiv hlybynnoho ahromelioratyvnoho rozpushuvannia. *Visnyk NUVHP. Tekhnichni nauky*. 2021. Vyp. 3(95). S. 161–170. **7.** Aivazov A. M. Yssledovanie raboty zakrytykh dren s fyltruiushchymy soedinitelnymi elementamy. *Nauchno-tekhnycheskyi otchet*. Baku, 1981. 33 s.

Khlapuk M. M., Doctor of Engineering, Professor, Tkachuk M. M., Doctor of Engineering, Professor, Bezusiak O. V., Candidate of Engineering (Ph.D.), Associate Professor, Volk L. R., Candidate of Engineering (Ph.D.), Associate Professor, Demianiuk A. V., Senior Lecturer, Shumlianskyi A. O., Post-graduate Student (National University of Water and Environmental Engineering, Rivne),
Osadchyi V. S., Candidate of Engineering (Ph.D.), Associate Professor (Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture, Odessa),
Shuminskyi V. D., Candidate of Engineering (Ph.D.), Leading Researcher (State Enterprise «State Research Institute of Building Structures», Kyiv)

RESEARCH OF THE INFLUENCE OF THE PARAMETERS OF THE DRAINAGE SYSTEM ON THE OPERATION OF SUB-CHANNEL DRAINAGE

The article examines the operation of a closed draining drainage system, which allows you to create large areas (100–300 hectares) between the channels and quickly manage the water regime of the drained territory. Drainage is carried out in agriculture and forestry, during the construction of roads, airfields, industrial enterprises, extraction of minerals, development of the territory for cities. The area of swamps and overmoistened lands in Ukraine is 4,190 thousand hectares. Ukrainian Polissia and Vinnytsia, Ivano-Frankivsk, Ternopil, Khmelnytskyi, Chernivtsi oblasts and other areas located in the basins of the Dnipro, Pripyat, Desna, Western Bug, Danube, Dniester, Southern Bug, Siverskyi Donets, etc. are significantly overmoistened. Drainage reclamation increases the efficiency of agricultural production, contributes to the growth of the yield of agricultural products, and strengthens the economy of Ukraine. The article considers a closed drainage regulation network, which ensures a timely lowering of the groundwater level to the drainage rate. The article also provides theoretical studies of the influence of the design parameters of the drainage system on the operation of sub-channel drainage, which are

based on the classical mathematical studies of V.V. Vedernikova. Based on the analysis of the theory of filtration [1] and its application to drainage systems, the effect of geometric factors of the filtration area (the depth of the drains and the distance between them) on the filtration resistance was investigated; the dependence of the parameters q/k_0 and V/k_0 on the depth of laying the drains and the distance between them was investigated. Graphs of the dependence of the duration of the lowering of the depression curve to the drainage rate on the filtration coefficient, the depth of laying the drains and the distance between them are given. Graphs of the dependence of the duration of the lowering of the depression curve to the drainage rate on the filtration coefficient, the depth of laying the drains and the distance between them are given. Graphs of the dependence of the duration of the lowering of the depression curve to the drainage rate on the filtration coefficient, the depth of laying the drains and the distance between them are given, which makes it possible to assess the feasibility of building a drainage system in these soils.

***Keywords*: distance between drains; depth of laying drains; drain; drainage; drainage system; filtration coefficient; filtration area; drainage rate; filtration resistance.**