

УДК 532:631.62

Токар Л. О., к.т.н., старший викладач (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)

ОПТИМІЗАЦІЯ РОЗРАХУНКУ ДОВЖИН ДРЕН ТА ЇХ УКЛОНІВ ПРИ ПРОЕКТУВАННІ ОСУШУВАЛЬНИХ СИСТЕМ

Запропонована методика розрахунку довжини дрен та їх уклонів, яка враховує допустиму варіацію норми осушення між дренами та уздовж дрени, параметри що впливають на віддалі між дренами

Ключові слова: осушувальна система, дренаж, норма осушення, довжина дрени, уклон дрени.

Параметри дренажу гідромеліоративних систем потрібно призначати на основі фільтраційних розрахунків дренажу та гідравлічних розрахунків руху води в дренах.

В результаті фільтраційних розрахунків визначаються глибина закладання дрен і віддалі між дренами. На основі гідравлічних розрахунків руху води в дренах визначаються довжина дрен та їх уклон.

Приймаючи до уваги нормативні рекомендації до проектування закритого дренажу гідромеліоративних систем, що наведені в [2, 4], виконаємо розрахунки віддалей між дренами, довжини дрен та їх уклонів, виходячи з умови допустимої зміни норми осушення на всій площі системи, варіації дренажного стоку і фільтраційних опорів.

Розглянемо випадок проектування осушувальної системи. Оскільки в різні періоди вегетації рослин потрібні різні норми осушення, то схемою для фільтраційних розрахунків дренажу осушувальних систем буде схема, що зображена на рис. 1.

Розрахункова схема до визначення віддалей між дренами наведена на рис. 1.

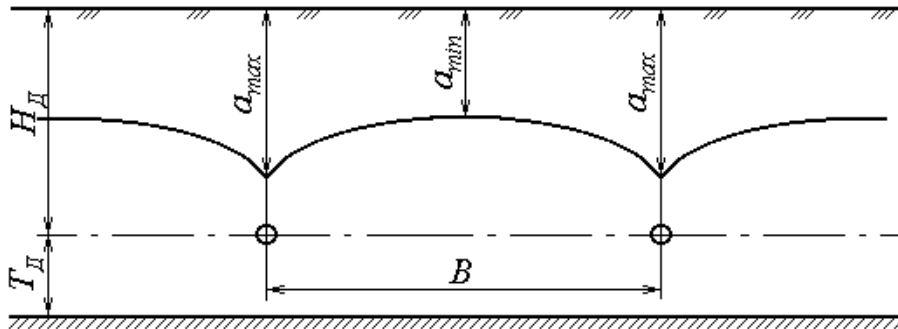


Рис. 1. Схема до визначення віддалей між дренами

В дренах і колекторах осушувальних систем витрати збільшуються уздовж потоку. Отже, потік уздовж дрен і колекторів є нерівномірним.

Надходження води до дрени та її рух уздовж дрени відбувається під дією п'езометричного напору H_D , який змінюється уздовж дрени.

Для того, щоб приплив води до дрени був приблизно рівномірним, як уздовж дрени так і по площі, потрібно забезпечити дві умови:

1. П'езометричні напори на початку дрени H_D і в кінці дрени H_K (рис. 2) повинні бути однаковими;
2. Фільтраційний напір на всій довжині дрени повинен бути теж приблизно однаковим.

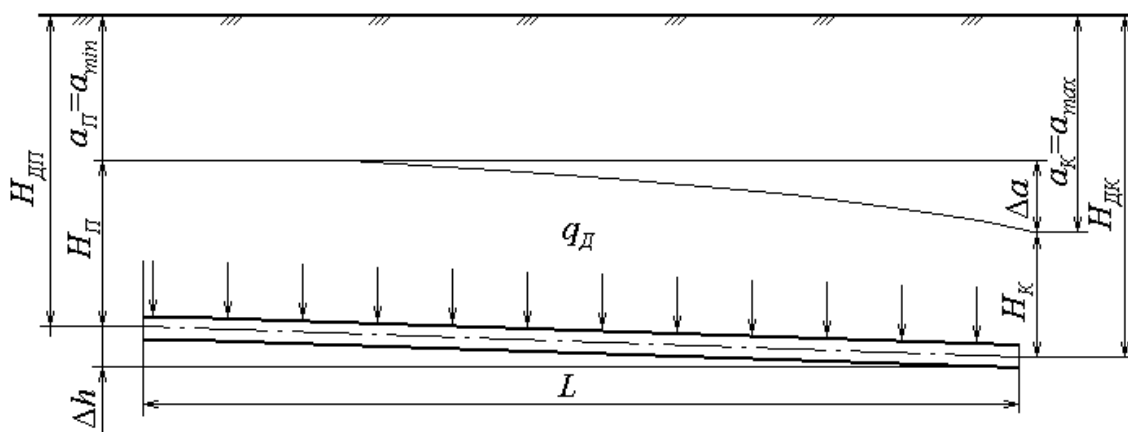


Рис. 2. Схема до визначення довжини та уклону дрени

Забезпечення цих двох умов можна виконати в результаті сумісного розрахунку руху води в дренах та фільтраційних розрахунків дренажу.

Для фільтраційних розрахунків використаємо залежності, що рекомендуються нормами [2].

При відношенні $T_D \leq B/4$ віддалі між дренами в однорідному ґрунті визначається за формулою

$$B = 4 \left(\sqrt{\Phi^2 + \frac{HT}{2q}} - \Phi \right), \quad (1)$$

де H – фільтраційний напір, м

$$H = H_D - 0,6 a, \quad (2)$$

де a – норма осушення, м;

H_D – глибина закладення дрени, м;

T – провідність пласта, м²/добу;

$$T = k_\phi (h_0 + T_D), \quad (3)$$

k_ϕ – коефіцієнт фільтрації, м/добу;

h_0 – параметр, що дорівнює

$$h_0 = 0,5H, \quad (4)$$

Φ – загальні фільтраційні опори

$$\Phi = \frac{T_D}{\pi} \ln \left(\frac{2T_D}{\pi D} \right) + \frac{2h_0}{\pi} \ln \frac{4h_0}{\pi D} + \frac{T_D \Phi_0}{\pi} + \frac{2h_0}{\pi} \Phi_0, \quad (5)$$

де T_D – віддалі від осі дрени до водоупору, м;

D – зовнішній діаметр дрени, м;

Φ_0 – фільтраційні опори за характером розкриття пласта;

q – інтенсивність інфільтраційного живлення (дренажний стік), м/добу

$$q = \frac{W}{t}, \quad (6)$$

де t – час зниження рівня ґрунтових вод до норми осушення, дів;

W – шар води, що підлягає відведенню, м

$$W = h_s + \mu a + P + E, \quad (7)$$

де h_s – шар води, що залишився на поверхні ґрунту після сходу весняних або зливових вод, м;

P – опади, що випали за розрахунковий період, м;

E – добовий шар випаровування за розрахунковий період, м;

μ – коефіцієнт водовіддачі, який можна визначити за формулами [4]:

- для мінеральних ґрунтів

$$\mu = 0,056 \sqrt{k_\phi} a^{1/3}; \quad (8)$$

- для торф'яних ґрунтів

$$\mu = 0,116k_{\phi}^{3/8} a^{3/4}. \quad (9)$$

З формули (1) дренажний стік

$$q = \frac{HT}{B(B/8 + \Phi)}. \quad (10)$$

Фільтраційна витрата в кінці дрени, $m^3/\text{добу}$

$$Q_K = qBL, \quad (11)$$

де L – довжина дрени, m .

Питомий приплив води до дрени, $m^3/(\text{добу} \cdot m)$

$$q_D = Q_K / L = qB \quad (12)$$

або

$$q_D = \frac{HT}{(B/8 + \Phi)}. \quad (13)$$

Для того щоб уздовж дрени мати $q_D \approx const$ потрібно щоб дренажний стік уздовж дрени був приблизно сталим, тобто $q \approx const$.

Величина $q \approx const$ уздовж дрени буде тоді, коли всі параметри, що входять в залежність (1) не змінюються уздовж дрени. Слід зазначити, що в реальних умовах завжди існує варіація цих параметрів по площі системи, а значить і уздовж дрени.

Проаналізуємо зміну фільтраційного напору уздовж дрени за рахунок зміни норми осушення. Якщо поверхня поля горизонтальна, то норма осушення на початку дрени a_{Π} менша, ніж норма осушення в кінці дрени a_K (рис. 2), тому водозахватна здатність дрени на її початку більша, ніж в кінці. Для того, щоб фільтраційні напори уздовж дрени були $H \approx const$, глибину закладення дрени на початку треба зменшити (рис. 2).

Фільтраційний напір на початку дрени

$$H_{\Phi\Pi} = H_{\text{ДП}} - 0,6a_{\text{min}}, \quad (14)$$

Фільтраційний напір в кінці дрени

$$H_{\Phi K} = H_{\text{ДК}} - 0,6a_K = H_{\text{ДК}} - 0,6(a_{\text{min}} + \Delta a), \quad (15)$$

Приймаючи, що $H_{\Phi\Pi} = H_{\Phi K}$, з формул (14), (15) одержимо

$$H_{\text{ДП}} = H_{\text{ДК}} - 0,6\Delta a. \quad (16)$$

Використовуючи рівняння зміни повної питомої енергії, одержимо (рис. 2):

$$H_{\Pi} + \Delta h = H_K + \Delta a + \frac{\alpha V_K^2}{2g}, \quad (17)$$

де $V_K = Q_K / \omega_K$ – швидкість потоку в кінці дрени.

Розрахунки показують, що при коефіцієнтах фільтрації $k_{\phi} < 2m/\text{добу}$ швидкість $V_K < 0,3m/c$ і швидкісний напір $V_K^2/(2g) < 0,045m/c$. Отже, в рівнянні (17) величиною $\alpha V_K^2/(2g)$ можна нехтувати. Тоді при $H_{\Pi} = H_K$ з рівняння (17) одержимо

$$\Delta h = \Delta a. \quad (18)$$

Найбільш відповідальним гідравлічним періодами в роботі дренажу є періоди затоплення осушувальних територій. У ці періоди дрени працюють в напірному режимі. Рух води в дренах є нерівномірним зі збільшенням витрат уздовж дрен. Це потрібно обов'язково враховувати при розрахунках довжини дрен та їх уклонів.

Враховуючи результати досліджень [1, 3, 5], величину Δa можна визначити з рівняння

$$\Delta a = k_n \left(\frac{A}{2 Re_K} + \frac{b}{2,5 Re_K^{0,5}} + \frac{c}{3} \right) \frac{L}{D} \frac{Q_K^2}{2g\omega^2} + \frac{\alpha Q_K^2}{g\omega^2}, \quad (19)$$

де k_n – коефіцієнт збільшення гідравлічних опорів у дрени, що працює в режимі осушення в порівнянні з гідравлічними опорами при рівномірному русі;

Q_K – витрата в кінці дрени, що визначається за формулою (11);

$Re_K = Q_K D / (\omega \nu)$ – число Рейнольдса в кінці дрени;

A, b, c – коефіцієнти, які визначаються за даними [3].

З урахуванням залежності (11) рівняння (19) запишемо у такому вигляді

$$\Delta a = \frac{k_n L}{D^2 g \omega^2} \left(\frac{0,5 A v \omega}{q L B D} + 0,4 b \left(\frac{v \omega}{q L B D} \right)^{0,5} + \frac{c}{3} \right) (q L B)^2 + \frac{\alpha (q L B)^2}{g \omega^2}. \quad (20)$$

Числа Рейнольдса в кінці дрени діаметром $D=0,05$ м з глибиною закладення дрени $H_D=1$ м при $k_\phi=0,1...2$ м/добу; $t=2...4$ діб; $T_D=2...4$ м знаходяться в межах $Re_K=3500...12000$. Для цих випадків середнє значення коефіцієнта $k_n \approx 1,5$.

Задаючись допустимою зміною норми осушення Δa уздовж дрени, з рівняння (20) знаходимо оптимальну довжину дрени L , яка буде відповідати конкретній віддалі між дренами B і допустимій варіації норми осушення між дренами.

В роботі [5] наведена ймовірнісна методика розрахунку віддалей між дренами як функції параметрів, що входять у формулу (1). За цією методикою визначається математичне сподівання віддалей між дренами B та межі довірчих інтервалів B_{min}, B_{max} , що відповідають довірчій імовірності β .

Використовуючи методику [5] та залежності (1) – (21) визначено довжини дрен $L_{min}; L; L_{max}$ та уклони дрен $i_{Dmin}; i_D; i_{Dmax}$ для пластмасових гофрованих дрен в ґрунтах з різними коефіцієнтами фільтрації.

Визначивши величину Δa з рівняння (20) та враховуючи вираз (18) і схему рис. 2, необхідний уклон дрени для горизонтальної поверхні місцевості дорівнює

$$i_D = \frac{\Delta h}{L} = \frac{\Delta a}{L}. \quad (21)$$

Якщо поверхня місцевості має похил у напрямі дрен i_{II} , то з урахуванням умов (14) – (17) уклон дрен дорівнює

$$i_{II} = \frac{\Delta a + i_{II} L}{L} = \frac{\Delta a + \Delta z}{L}, \quad (22)$$

де Δz – перепад відміток поверхні землі на довжині дрени L .

В табл. 1 наведені значення довжин пластмасових гофрованих дрен L та уклони дрен i_D , що обчислені з урахуванням залежностей (1) – (21) при $A=510,0; b=-6,8; c=0,082$.

В табл. 1 наведені результати розрахунків при $T_D=2$ м і $t=2$ доби. Якщо $T_D=2$ м і $t=4$ доби, то при $\Delta a=0,1$ м; $a=0,5...0,8$ м; $k_\phi=0,1...2$ м/добу і $k_n=1$ маємо значення $L=260...68$ м; $i_D=3,8 \cdot 10^{-4} ... 1,47 \cdot 10^{-3}$, а при $\Delta a=0,2$ м – $L=374...90$ м; $i_D=5,4 \cdot 10^{-4} ... 2,2 \cdot 10^{-3}$. У разі, коли $k_n=1,5$, то при $\Delta a=0,1$ м маємо: $L=213...58$ м; $i_D=4,7 \cdot 10^{-4} ... 1,72 \cdot 10^{-3}$; а при $\Delta a=0,2$ м – $L=307...77$ м; $i_D=6,6 \cdot 10^{-4} ... 2,6 \cdot 10^{-3}$.

Аналізуючи результати розрахунків, що наведені в табл. 1 можна зробити наступні висновки:

1. При $k_\phi=const$ та зміні норми осушення від $0,5$ м до $0,8$ м віддалі між дренами зменшується приблизно в два рази. При цьому B_{min} і B_{max} відрізняються від середнього значення B на $10...13\%$.
2. Для $k_\phi=const$; $\Delta a=const$ та нормах осушення $a=0,5...0,8$ м довжини дрен L_{min}, L_{max} відрізняються від середнього значення L всього на $2...5\%$.
3. При $k_\phi=const$; $\Delta a=const$ і нормах осушення $a=0,5...0,8$ м уклон дрен i_{Dmin}, i_{Dmax} відрізняються від середнього значення i_D на $2...5\%$.

Порівнюючи дані табл. 1,2 при $k_n=1$ та $k_n=1,5$, бачимо, що враховуючи збільшення гідравлічних опорів в дренажних трубопроводах за рахунок приєднання рідини, оптимальна довжина дрен при $k_n=1,5$ в $1,15...1,2$ рази менша, ніж при $k_n=1,0$, а уклон дрен при $k_n=1,5$ в $1,15...1,17$ разів більший, ніж при $k_n=1,0$.

Таблиця 1

Значення довжини дрен L , та уклонів дрен i_D при $T_D=2\text{м}$ і $t=2\text{доби}$

k_f , м/добу	a , м	Δa , м	B , м	q м/добу	L , м	Q_k , м ³ /добу	Re_k	i_D	
$k_n=1,0$									
0,1	0,5	0,1	9,42	0,0035	442	14,57	3550	$2,26 \cdot 10^{-4}$	
	0,8		4,51	0,0066	470	13,99	3408	$2,13 \cdot 10^{-4}$	
0,5	0,5		17,5	0,0079	182	25,16	6129	$5,49 \cdot 10^{-4}$	
	0,8		8,87	0,0147	189	24,64	6003	$5,29 \cdot 10^{-4}$	
1,0	0,5		22,44	0,0111	125	31,14	7584	$8 \cdot 10^{-4}$	
	0,8		11,65	0,0208	128	31,02	7555	$7,81 \cdot 10^{-4}$	
2,0	0,5		28,48	0,0157	86	38,45	9367	$1,16 \cdot 10^{-3}$	
	0,8		15,12	0,0294	86	38,23	9312	$1,16 \cdot 10^{-3}$	
0,1	0,5		0,2	9,42	0,0035	580	19,12	4658	$3,45 \cdot 10^{-4}$
	0,8			4,51	0,0066	618	18,40	4481	$3,24 \cdot 10^{-4}$
0,5	0,5	17,5		0,0079	236	32,63	7948	$8,47 \cdot 10^{-4}$	
	0,8	8,87		0,0147	245	31,95	7781	$8,16 \cdot 10^{-4}$	
1,0	0,5	22,44		0,0111	161	40,10	9768	$1,24 \cdot 10^{-3}$	
	0,8	11,65		0,0208	164	39,74	9680	$1,22 \cdot 10^{-3}$	
2,0	0,5	28,48		0,0157	110	49,18	11981	$1,81 \cdot 10^{-3}$	
	0,8	15,12		0,0294	111	49,34	12019	$1,80 \cdot 10^{-3}$	
$k_n=1,5$									
0,1	0,5	0,1		9,42	0,0035	376	12,40	3020	$2,66 \cdot 10^{-4}$
	0,8		4,51	0,0066	400	11,91	2900	$2,50 \cdot 10^{-4}$	
0,5	0,5		17,5	0,0079	157	21,71	5287	$6,37 \cdot 10^{-4}$	
	0,8		8,87	0,0147	163	21,25	5177	$6,13 \cdot 10^{-4}$	
1,0	0,5		22,44	0,0111	108	26,90	6553	$9,26 \cdot 10^{-4}$	
	0,8		11,65	0,0208	110	26,66	6493	$9,09 \cdot 10^{-4}$	
2,0	0,5		28,48	0,0157	75	33,54	8169	$1,33 \cdot 10^{-3}$	
	0,8		15,12	0,0294	75	33,34	8121	$1,33 \cdot 10^{-3}$	
0,1	0,5		0,2	9,42	0,0035	496	16,35	3983	$4,03 \cdot 10^{-4}$
	0,8			4,51	0,0066	528	15,72	3828	$3,79 \cdot 10^{-4}$
0,5	0,5	17,5		0,0079	204	28,20	6870	$9,80 \cdot 10^{-4}$	
	0,8	8,87		0,0147	211	27,51	6702	$9,48 \cdot 10^{-4}$	
1,0	0,5	22,44		0,0111	140	34,87	8494	$1,42 \cdot 10^{-3}$	
	0,8	11,65		0,0208	142	34,41	8382	$1,41 \cdot 10^{-3}$	
2,0	0,5	28,48		0,0157	96	42,93	10456	$2,08 \cdot 10^{-3}$	
	0,8	15,12		0,0294	96	42,67	10395	$2,08 \cdot 10^{-3}$	

Довжину дрен в нормах [2] пропонується призначати тільки залежно від їх уклону (табл. 3).

Таблиця 2

Довжина дрен L та їх уклон i_D [2]

i_D	0,003	0,005	0,010
L , м	200	250	320

Порівнюючи довжини дрен та їх уклон, які наведені в табл. 2, 3 бачимо, що вони суттєво відрізняються між собою. Пояснюється це тим, що ці параметри в нормах [2] наведені без урахування наступних головних параметрів дренажу: норма осушення; коефіцієнт фільтрації ґрунту; коефіцієнт водовіддачі; віддаль між дренами; глибина закладення дрен; оптимальна зміна норми осушення між дренами та уздовж дрени;

тривалість зниження рівня ґрунтових вод.

Виконаний аналіз та розрахунки дозволяють зробити наступні висновки:

1. Призначення довжини дрени залежно тільки від її уклону чи навпаки – уклону залежно від довжини дрени не відповідає тим фізико-гідравлічним явищам, які відбуваються в осушувальному масиві і в дрени.
2. Довжину дрен та їх уклон потрібно визначати, оптимізуючи допустиму варіацію норми осушення між дренами та уздовж дрени. Для цього можна використати залежності (1) – (21).

1. Волощук В. А. Дослідження гідравлічних опорів і гідравлічні розрахунки трубопроводів з дискретно змінними витратами уздовж потоку / Автореферат кандидатської дисертації. – Рівне : РДТУ, 2001. – 19 с.
2. ДБН В. 2.4–1–99 Меліоративні системи та споруди. – К. : Держбуд України, 1999. – 112 с.
3. Дмитриев А. Ф., Безусяк А. В., Хлапук Н. Н. Совершенствование осушительно-увлажнительных систем. – Львов : Світ, 1992. – 176 с.
4. Мелиорация и водное хозяйство. 3. Осушение: Справочник / Под ред. Б. С. Маслова. – М. : Агропромиздат, 1985. – 447 с.
5. Науменко І. І., Волощук В. А. Гідравлічні розрахунки дренажних трубопроводів осушувально-зволожувальних систем // Вісник РДТУ. – Вип. 3, ч. 1. 2000. – С. 146–152.
6. Науменко І. І. Технічна механіка рідини і газу. – Рівне : РДТУ, 2000. – 529 с.
7. Науменко І. І. Надійність споруд гідромеліоративних систем. – К. : ІСДО, 1994. – 424 с.

Рецензент: д.т.н., професор Рокочинський А. М. (НУВГП)

Tokar L. O., Candidate of Engineering, Senior Lecturer (National University of Water Management and Nature Resources Use, Rivne)

OPTIMIZED CALCULATION OF THE DRAINAGE PIPE AND SLOPE WHEN DESIGNING DRAINAGE SYSTEMS

The method of calculating the length of drainage pipe and its slope, which takes into account the change in the allowable depth of groundwater level between the drainage pipes and also along them.

Keywords: drainage system, drainage pipe, allowable depth of groundwater, length of drainage pipe, slope of drainage pipe.

Токар Л. А., к.т.н., старший преподаватель (Национальный университет водного хозяйства и природопользования, г. Ровно)

ОПТИМИЗАЦИЯ РАСЧЕТА ДЛИННЫ ДРЕН И ИХ УКЛОНОВ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ОСУШИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Предложена методика расчета длинны дрен и их уклонов, учитывающая допустимую вариацию нормы осушения между дренами и вдоль дрены, а также параметров влияющих на расстояние между дренами.

Ключевые слова: осушительная система, дренаж, норма осушения, длинна дрены, уклон дрены.