

УДК 628.36

С.В. ТЕЛИМА, Є.О. ОЛІЙНИК

## ПРО ФОРМУВАННЯ ВОДОПРИТОКУ ДО ПРОМЕНЕВИХ ВОДОЗАБОРІВ І ДРЕНАЖІВ В СКЛАДНИХ ПРИРОДНИХ І ТЕХНОГЕННИХ УМОВАХ

***Анотація.** Розглянуто і проаналізовано основні гідравлічні параметри, що впливають на внутрішньодренну гідравліку течії води всередині дрен-променів при роботі променевиx водозаборів і дренажів. Дано рекомендації щодо використання сучасних полімерних матеріалів при проектуванні та будівництві вказаних споруд.*

***Ключові слова:** водозабір, дренаж, внутрішньодренна гідравліка, гідравлічні параметри, дрени-промені, фільтри.*

При проведенні заходів щодо захисту територій та земель від підтоплення, організації водозабезпечення за рахунок підземних вод і т. ін. широко застосовуються вертикальні свердловини та горизонтальні дренажі. Методи розрахунків водопритоку до таких споруд досить детально висвітлені в багатьох наукових виданнях, посібниках та практичних рекомендаціях. Разом з тим, в залежності від конкретних природних і техногенних умов, використання вертикальних та горизонтальних водозаборів і дренажів може виявитися малоефективним, наприклад, при дренаванні слабопроникних ґрунтів, в умовах щільної забудови, організації водовідбору із безнапірних малопотужних водоносних горизонтів і т. ін. У таких випадках досить продуктивним є використання променевиx водозаборів і дренажів. Порівняльні характеристики різних типів дренажів, включаючи променеві, наведені, наприклад, у роботах [1, 2, 10]. Слід відмітити, що в більшості розрахунків фільтрації до горизонтальних водозаборів і дренажів величина притоку (відтоку) по довжині дрен, як і інші гідравлічні параметри, приймаються незмінними, і тому в цих випадках неврахування гідравлічного розрахунку води всередині дрен, як правило, не дозволяє отримувати надійні результати розрахунків, хоча в деяких випадках, а саме, при незначних величинах притоку і інших, вплив течії води всередині дрен буде незначним, і ним можна знехтувати. Як показали результати дослідів, в більш складних фільтраційних схемах притоку до підземних горизонтальних споруд надійні результати розрахунків фільтраційного притоку до дрени можуть бути одержані тільки при врахуванні гідравліки течії води всередині дрени [3, 5, 17, 18]. Тому одержані за методом фільтраційних опорів методи фільтраційного розрахунку променевиx водозаборів (дренажів), які основані на рівномірному розподілі інтенсивності притоку уздовж дрен, потребують проведення додаткового наукового обґрунтування.

При врахуванні течії потоку всередині дрен-променів важливими параметрами являються коефіцієнти гідравлічних опорів  $\lambda$  і  $C$ . Відомо, що зв'язок між цими коефіцієнтами визначається залежністю:

$$C = \sqrt{8g/\lambda}. \quad (1)$$

У цілому характер режиму течії рідини в трубах визначається числами Рейнольдса і відносною шорсткістю  $\lambda = f\left(\text{Re}, \frac{\Delta}{d}\right)$ . Як показали існуючі дослідження, коефіцієнт  $\lambda$  в трубах з приєднанням витрат буде більшим, ніж при звичайному рівномірному русі рідини, і тому в загальному випадку його можна визначати за наступною формулою:

$$\lambda_0 = \alpha\lambda, \quad (2)$$

де  $\alpha > 1$  і залежить від інтенсивності протікання рідини по довжині дрени-променя,  $\lambda$  – коефіцієнт опору (тертя) в умовах рівномірного руху води при однакових значеннях числа  $\text{Re}$  в кінці труби. Зокрема, за даними роботи [7] для визначення коефіцієнта  $\alpha$  пропонується така наближена залежність:

$$\alpha = 4.6 - 0.7 \lg n \text{Re}, \quad (3)$$

де  $n = f\left(\frac{\sum \omega_n}{\omega}\right)$ ,  $\sum \omega_n$  – площа перфорації в дренажній трубі [7]. Формула (3)

може бути використана при  $\lg(n \text{Re}) = 1.6 - 5.2$ . У літературі наведені й інші залежності для визначення параметра  $\alpha$ . Так, в роботі [8] значення коефіцієнта  $\alpha$  на підставі проведених дослідів рекомендується приймати в залежності від скважності  $f = \frac{\sum \omega_n}{\omega}$ , а саме  $\alpha = 1,5$  при  $f = 0,5$ ;  $\alpha = 1,3$  при  $f = 1,0$ ;  $\alpha = 1,1$  при  $f = 1,5$ ;  $\alpha = 1$  при  $f \geq 2$ .

У спеціальній літературі [1, 2, 6, 9, 10] для визначення коефіцієнтів  $\lambda$  і  $C$  наведено багато залежностей, які враховують матеріал дренажних труб, їх шорсткість, тип перфорації і інших отворів для пропуску фільтраційних вод та ін. Так, для гладких круглих труб при ламінарному режимі теоретичним шляхом отримано залежність виду:

$$\lambda = \frac{64}{\text{Re}}. \quad (4)$$

Значний вплив на режим течії в трубі має наявність шорсткості висотою  $\Delta$ . Для гідравлічних гладких труб, коли шорсткість не впливає  $\left(\text{Re} \leq 10 \frac{d}{\Delta_{\text{екв.}}}\right)$ , для визначення коефіцієнта  $\lambda$  пропонується відома формула Блазіуса:

$$\lambda = 0,3164 \text{Re}^{0,25}. \quad (5)$$

Коли шорсткість впливає на течію води в трубах  $\left(\text{Re} > 500 \frac{d}{\Delta_{\text{екв.}}}\right)$ , для визначення коефіцієнта  $\lambda$  пропонується формула Б.Л. Шифрінсона:

$$\lambda = 0.1 \left( \frac{\Delta_{екв.}}{d} \right)^{0,25} . \quad (6)$$

У межах  $500 \frac{d}{\Delta_{екв.}} > Re > 10 \frac{d}{\Delta_{екв.}}$  пропонується розрахункова формула А.Д. Альтшуля, яка має вигляд:

$$\lambda = 0.1 \left( \frac{\Delta_{екв.}}{d} + \frac{64}{Re} \right)^{0,25} . \quad (7)$$

Більш загальна формула для визначення коефіцієнта  $\lambda$  в цьому випадку має вигляд:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = C \lg \frac{ad}{\Delta_{екв.}} = C \lg \frac{d}{\Delta_{екв.}} + b, \quad (8)$$

де по Прандлю-Нікурадзе  $a = 3.1$ ,  $b = 1.4$ ,  $C = 2.0$ , по А.Д. Альтшулю  $a = 10$ ,  $b = 1.8$ ,  $C = 1.8$ , по А.В. Теплому  $a = 8.24$ ,  $b = 1.65$ ,  $C = 1.8$ , а по І.Ф. Федорову  $a = 3.42$ ,  $b = 1.07$ ,  $C = 2.0$ . Числові значення еквівалентної шорсткості  $\Delta_{екв.}$  для різних труб і каналів і графіки для визначення коефіцієнта  $\lambda$  наведені в довіднику [9].

У залежності від матеріалу труб пропонуються наступні формули для визначення коефіцієнта  $\lambda$ .

Для керамічних труб

$$\lambda = Re^{0,48} / 7250 . \quad (9)$$

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \lg \left( \frac{\Delta_{екв.}}{3,7d} + \frac{2,51}{Re \sqrt{\lambda}} \right) . \quad (10)$$

Для пластмасових труб

$$\lambda = 0,288 / Re^{0,226} = 0,01344 / (d \cdot V)^{0,22} , \quad (11)$$

$$\lambda = \frac{0,318}{d^{0,09} Re^{0,25}} \quad (\text{із поліетилену}), \quad (12)$$

$$\lambda = (0,386 - 0,0028d) \left( \frac{d}{Q} \right)^{0,22} \quad (\text{полівінілхлорид}), \quad (13)$$

де  $Q$  – витрата, л/с;  $d$  – внутрішній діаметр труб, дм.

Для труб з інших матеріалів використовується відома формула Ф.А. Шевелева [9]:

$$\lambda = b(1 + a/V)^n d^{-m} , \quad (14)$$

де значення  $a$ ,  $b$ ,  $n$  і  $m$  залежать від матеріалу труб і приймаються з таблиці 1.

Таблиця 1 – Значення параметрів  $a, b, n$  і  $m$

Матеріал труб	$a$	$b$	$n$	$M$
Нові сталеві	0.684	0.0159	0.226	0.226
Нові чавунні	2.36	0.0144	0.284	0.284
Не нові сталеві і чавунні				
при $V > 1.2 м/с$	0	0.021	0.3	0.3
при $V < 1.2 м/с$	0.867	0.0179	0.3	0.3
Азбестоцементні	3.51	0.011	0.19	0.19

Для залізобетонних напірних труб значення  $a, b, n$  і  $m$  такі ж, як і для азбестоцементних труб, а значення  $b$  збільшується наближено в 1,45 раза [9].

В інженерних розрахунках гідравлічних опорів використовують також такий показник, як модуль питомого опору  $A$ , який зв'язаний з коефіцієнтом тертя  $\lambda$  і модулем витрати  $K$  наступною залежністю:

$$A = 8\lambda / (g\pi^2 d^5) = \frac{1}{K^2}. \quad (15)$$

Значення  $\lambda, A$  і  $K$  для не нових сталевих і чавунних труб вираховуються за формулами:

$$\lambda = K\lambda_*, \quad A = KA_*, \quad K = nK_*, \quad (16)$$

де  $\lambda_*, A_*$  і  $K_*, n$  беруться із таблиць 3.4 і 3.5, наведених в [9].

Значення  $\lambda, A$  і  $K$  для нових сталевих і чавунних труб, а також азбестоцементних, пластикових, керамічних, скляних і залізобетонних труб вираховуються за формулами:

$$\lambda = K_1\lambda_1, \quad A = K_1A_1, \quad K = n_1K_1, \quad (17)$$

де значення  $K_1, n_1$  і  $\lambda_1, A_1, K_1$  приймаються за таблицями 3.6 і 3.7, наведеними в [9]. Зазначимо, що для нових сталевих і чавунних труб параметри  $A_1$  відповідно приймаються [9]:

$$A_{1c} = 0.851d^{0.074}A_{*c}, \quad (18)$$

$$A_{1ч} = 0.97d^{0.016}A_{*ч}. \quad (19)$$

Опір промислових труб з різних матеріалів і в різних умовах експлуатації в практичних розрахунках пропонується вираховувати за формулою Л. Тепакса із двома параметрами шорсткості, які наведені в [9].

У роботі [6] наводяться результати досліджень гідравлічних опорів в так званих гофрованих дренажних трубах, різні конструкції яких широко використовуються в меліоративній практиці, а також наводяться рекомендації для визначення гідравлічних параметрів цих труб, в тому числі, і гідравлічних

опорів, з врахуванням їх конструктивних особливостей і умов втікання в них фільтраційних вод.

В окремих випадках для визначення гідравлічного опору використовують відомий коефіцієнт Шезі –  $C$ , який зв'язаний з коефіцієнтом  $\lambda$  залежністю (1). Для визначення коефіцієнта Шезі  $C$  в квадратичній області опору ( $h \approx V^2$ ) пропонується відома формула М.М. Павловського:

$$C \approx R^y/n, \quad (20)$$

де  $R$  – гідравлічний радіус, м;  $n$  – коефіцієнт шорсткості.

$$y = 2,5\sqrt{n} - 0,13 - 0,75\sqrt{R}(\sqrt{n} - 0,10) \quad (21)$$

На практиці використовують один із спрощених варіантів формули (21), а саме:

$$y = 1,5\sqrt{n} \quad \text{при} \quad R < 1\text{м}, \quad (22)$$

$$y = 1,3\sqrt{n} \quad \text{при} \quad R > 1\text{м}. \quad (23)$$

При  $y = \frac{1}{6}$  одержуємо відому формулу Маннінга, а при  $y = \frac{1}{5}$  – формулу Форхгеймера.

Для визначення  $C$  в умовах турбулентної течії пропонується формула А.Д. Альтшуля і Й.І. Агроскіна [9]:

$$C = 25 \left[ \frac{R}{(80n)^6 + \frac{0,025}{\sqrt{Ri}}} \right], \quad (24)$$

$$C = \frac{1}{n} + 17,72 \lg R. \quad (25)$$

Широко застосовується відома формула Базена:

$$C = \frac{87}{1 + \gamma/\sqrt{R}} = \frac{87}{1 + 2\gamma/\sqrt{d}}, \quad (26)$$

де  $\gamma$  – коефіцієнт шорсткості ( $\gamma \approx 0,27$ ).

Для гончарних труб можна рекомендувати формулу Куттера [9].

В умовах безнапірної течії в трубах і перехідної області опору М.М. Федоров запропонував наступну формулу:

$$W = C\sqrt{R} = -41g \left( \frac{\Delta_{екв.}}{13,68R} + \frac{a_2}{Re} \right) \sqrt{2gR}; \quad (27)$$

де еквівалентна жорсткість  $\Delta_{екв.}$  і коефіцієнт  $a_2$  визначаються із табл. 2.

Таблиця 2 – Значення  $\Delta_{екв.}$  і  $a_2$  для формули Федорова

Труби	$\Delta_{екв.}$ , мм	$a_2$
Азбестоцементні	0,6	73
Керамічні	1,35	90
Бетонні та залізобетонні	2	100

Методика визначення гідравлічного радіусу  $R$  для безнапірних труб наведена в багатьох роботах, зокрема, в [9, 11].

Слід відмітити, що залежності для визначення коефіцієнта Шезі  $S$ , за винятком формули для квадратичної області опору, не завжди дають позитивні результати. У трубах горизонтального дренажу досить часто квадратичний закон опору не витримується, і в цьому випадку при розрахунках гідравлічного опору потрібно враховувати число  $Re$ , тобто, приймати коефіцієнт тертя  $\lambda$ , при визначенні якого в більшості наведених формул числом  $Re$  враховується можливий режим течії потоку в дренажних трубах. Наведені залежності та рекомендації з визначення коефіцієнта  $\lambda$  переважно відповідають руху рідини в напірних трубах з постійною витратою по довжині труби, тобто не враховують змінний характер витрат за рахунок приєднання рідини через різні отвори. Як зазначалось вище, в деякій мірі за рахунок коефіцієнта  $\alpha$  можна врахувати коефіцієнти  $\lambda$  для дрени з приєднаними по її довжині витратами.

У зв'язку з відсутністю більш надійних рекомендацій щодо визначення коефіцієнта  $\alpha$  на практиці при виконанні фільтраційних розрахунків для врахування впливу різних факторів, які виникають безпосередньо в зоні дренажу (в перфорованій трубі фільтру за рахунок зміни структури потоку в придрений зоні, порушення лінійного закону фільтрації і т. ін.), застосовується додатковий опір по характеру розкриття пласта  $\Phi_x$ , який додається до основного опору як доповнення на недосконалість дрен  $\Phi$ . В цьому випадку при врахуванні гідравлічних втрат напору всередині труби достатньо приймати коефіцієнт тертя  $\lambda$ .

У роботах [3, 10–14] для труб і фільтрів із різних матеріалів і отворів одержано рекомендації для визначення додаткового опору  $\Phi_x$  переважно на підставі експериментальних досліджень. У роботі [16] для променевих трубофільтрів із перфорованих пластикових труб з волокнистим фільтром одержані рекомендації щодо визначення розмірів пор, доцільних параметрів перфорації і додаткового опору  $\Phi_x$ , який в більшості досліджених випадків складає десь 5–10%. У результаті наводяться рекомендації щодо обґрунтування конструкцій променевих дренажів для промислового впровадження.

Моделювання гідравліки напірних трубопроводів зі змінною масою і розробку методів розрахунку таких трубопроводів розглянуто в роботі [15]. На підставі проведених досліджень, зокрема, для визначення втрат напору в перфорованих трубопроводах, рекомендується наступна залежність:

$$\Delta h = \xi_p \frac{v^2}{2g},$$

де для визначення коефіцієнта опору  $\xi$  в роботах [8, 15] запропоновано ряд відповідних формул. Крім того, можна також скористатись наближеною рекомендацією БніП 2.04.02-84:

$$\xi_p = \frac{2 \cdot 2}{f^2} + 1, \quad f = \frac{\sum \omega_A}{\omega}. \quad (28)$$

Важливим питанням при формуванні притоку ґрунтових вод і витрат променів-дрен є розрахунок водоприймальної здатності дренажних труб, фільтру і фільтруючої обсіпки. Відомо, що водоприймальна поверхня дренажних труб має вигляд спеціальних водоприймальних отворів в стінках труб або зазорів на стиках труб. У першому випадку при проектуванні водоприймальної поверхні необхідно вибрати форму і розміри отворів, визначити їх кількість і схему розташування на поверхні труби, в другому випадку обґрунтовується необхідність використання зазорів в якості водоприймальних отворів і визначаються їх розміри. У роботах [1, 2, 10–13] наведені рекомендації і розрахунки різних отворів в залежності від матеріалу труб і гідравлічних умов їх дії. Наводяться також рекомендації щодо підбору складу фільтру, який облаштовується із різних сипучих матеріалів. Останнім часом пропонується в якості матеріалу фільтру використовувати штучні матеріали у вигляді полотна із базальтових, полімерних і інших волокон окремо або разом з піщано-гравійними обсіпками [4, 10–12, 16].

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Духовный В.А., Баклушин Н.Б., Томин Е.П., Серебрянников Ф.В. Горизонтальный дренаж орошаемых земель. М., Колос, 1979. – 225 с.
2. Мурашко А.И., Сапожников Е.Г. Защита дренажа от заиления. – Минск – Ураджай, 1978 – 165 с.
3. Хубларян М.Г. О совместном решении задачи о притоке к дрене и течении жидкости внутри нее // Сб. научн. тр. «Совершенствование методов гидрогеологических и почвенно-мелиоративных исследований орошаемых земель», М. ВНИИ ГиМ, 1974, вып. 2 – С. 81–95.
4. Олейник А.Я., Поляков В.Л. Дренаж переувлажненных земель. К., Наукова думка, 1987. – 280 с.
5. Кремез В.С. Совместное решение задачи о фильтрации ґрунтовых вод и течении воды в трубе-дрене // Гидравлика и гидротехника, 1983 – вып. 37 – С. 29–33.
6. Мурашко А.И. Сельскохозяйственный дренаж в гумидной зоне // М. Колос., 1982 – 272 с.
7. Василенко А.А., Кравчук А.М. Гидравлический расчет перфорированных сборных трубопроводов произвольной длины // Гидравлика и гидротехника. НТС – вып. 43 – 1986 – С. 70–73.
8. Чернишов Д.О. Гідравлічний розрахунок перфорованих розподільчих трубопроводів довільної довжини // Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки – вип. 4, 2005 – С. 157–161.
9. Курганов А.М., Федоров Н.Ф. Гидравлические расчеты систем водоснабжения и водоотведения, Справочник, Ленинград, Стройиздат – 1986 – 440 с.
10. Методические рекомендации по расчетам защиты территорий от подтопления (под ред. А.Я. Олейника) – К., Мин. вод. хоз. УССР – 1980 – 192 с.

11. Рекомендации по проектированию и расчетах защитных сооружений и устройств от подтопления промышленных площадок грунтовыми водами. М. ВНИИ ВОДГЕО, ПНИИПС, 1979, – 320 с.
12. Кривоног А.П. Поровая структура волокнисто-пористых полиэтиленовых фильтров // Мелиорация и водное хозяйство – 1989 – вып. 71 – С. 91–93.
13. Прогноз подтопления и расчет дренажных систем на застраиваемых и застроенных территориях. Справочное пособие КСНП. М., ВНИИ ВОДГЕО, Стройиздат – 1991 – 272 с.
14. Кравчук А.М. Гідравліка змінної маси напірних трубопроводів технічних систем // Автор. дис. докт. техн. наук. К., 2004 – 37 с.
15. Кравчук А.М., Чернишов Д.О. Гідравлічний розрахунок перфорованих розподільчих трубопроводів споруд систем водопостачання та водовідведення // Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки, вип. 6 – 2006 – С. 134–140.
16. Дренаж с волокнистыми фильтрами для защиты территорий от подтопления К., 2000, ИГМ НАНУ.– 332 с.
17. Телима С.В., Олійник Є.О., Курганська С.М., Харламова О.В. Моделивання і розрахунки внутрішньодренної гідравліки при роботі підземних водозаборів і дренажів. // Наук.-техн. зб. «Екологічна безпека та природокористування», К., КНУБА – 2015 – вип. 19 – С. 33–43.
18. Телима С.В., Олійник Є.О. Аналіз методів розрахунку внутрішньодренної гідравліки при роботі промислових водозаборів і дренажів. Наук.-техн. зб. «Містобудування та територіальне планування», К., КНУБА, 2015, вип. 58.

*Стаття надійшла до редакції 07.10.2015*