

УДК 628.112

А.М. Тугай, Ю.М. Пікуль, Г.В. Майстренко

Київський національний університет будівництва і архітектури

**СУМІСНА ЗАДАЧА ГІДРАВЛІКИ І ФІЛЬТРАЦІЇ РУХУ РІДИНИ ДО ПРОМЕНЕВИХ ДРЕНАЖІВ**

*Запропоновано математичну модель, реалізація якої дозволяє дослідити просторові і планові підземні потоки, в умовах складних конструктивних схем в плані і по глибині водоносної товщі.*

**Ключові слова:** фільтрація підземних вод, дренаж, променевий водозабір, н'єзометричний напір

**Постановка проблеми**

Останнім часом в будівельній практиці широке розповсюдження одержали променеві водозабори і дренажі, які мають в окремих випадках низку суттєвих переваг в порівнянні з традиційними водозаборами і дренажами у вигляді систем вертикальних свердловин та горизонтальних дренажів.

Проте, незважаючи на досить поширений досвід проектування та будівництва цих споруд в нашій країні і за кордоном методи їх фільтраційного розрахунку розроблені недостатньо та досить наближено, в достатній мірі не враховують досить складної картини фільтраційного потоку, який формується в зонах впливу і дії променевих водозаборів (дренажів).

Особливий вплив на формування фільтраційного притоку (відтоку) може спостерігатись безпосередньо в перфорованих трубах-дренажах і тому при розрахунку параметрів променевих споруд та оцінці їх роботи необхідно враховувати такий вплив.

На практиці при виконанні фільтраційних розрахунків по методу фільтраційних опорів, врахування впливу низки факторів, які виникають безпосередньо в зоні дренажу, а саме в перфорованій трубі-дрені за рахунок зміни структури потоку в придренній зоні, порушення тут лінійного закону фільтрації і т.п., враховується додатковим опором по характеру розкриття пласта  $\Phi_x$ , який додається до основного опору на недосконалість дрени  $\Phi$ .

**Аналіз останніх досліджень і публікацій**

В роботах [1 - 6] для труб і фільтрів із різних матеріалів і отворів одержані, переважно на підставі експериментальних досліджень, рекомендації для визначення додаткового фільтраційного опору  $\Phi_x$ .

Потрібно зауважити, що в більшості розрахунків фільтрації до горизонтальних водозаборів і дренажів величина притоку (відтоку) по довжині дрена, як і інші гідравлічні параметри, приймались незмінними і тому в цих випадках неврахування гідравлічного руху води всередині дрени, як правило, не дозволяло одержати надійні результати розрахунків.

Для оцінки впливу внутрішньодренної гідравліки в роботі [7] наведені порівняльні результати розрахунку РГВ, які одержані з врахуванням і без врахування руху води всередині дрени, які свідчать про можливі розбіжності в цих розрахунках, при цьому поправка може складати 10-15%. Проте, в окремих випадках (мінеральні ґрунти гумідної зони, незначна величина притоку) ця поправка буде незначною (десь частка мм), тому нею можна знехтувати.

Сумісна взаємодія фільтраційного потоку до підземних водозаборів (дренажів) і руху рідини всередині них досліджувались при вирішенні різних задач меліорації, захисту територій від підтоплення, водопостачання та інш. Переважно ці дослідження проводились емпіричним шляхом з метою врахування параметрів внутрішньодренної гідравліки (витрат і втрат напору) на параметри фільтраційного потоку в зоні впливу підземної споруди [8-10].

Розглянемо деякі відомі дослідження нестационарного руху рідини в горизонтальній трубі-дрені з врахуванням розподіленого по всій її довжині притоку чи відтоку. Так в роботах [11, 1] досліджувався рух рідини в системі ґрунт – дрена на підставі розв'язку системи гідродинамічних рівнянь, які описують рух рідини в дренажній трубі (внутрішня задача) і фільтраційний приток до дрени в умовах вирішення задачі безнапірної фільтрації з вільною поверхнею (зовнішня задача).

В роботі [12] розглянута система рівнянь, яка описує в режимі зрошення сумісний рух ґрунтових вод і течію води в дрени:

$$\frac{\partial Q}{\partial S} + q = 0, \quad (1)$$

$$Q = \frac{\pi}{8} Cd^{5/2} \operatorname{sign}\left(\frac{dH}{dS}\right) \sqrt{\left|\frac{dH}{dS}\right|}, \quad (2)$$

$$C = \frac{100}{1 + 0,54\sqrt{d}}, \quad (3)$$

$$q = 2h \left(\frac{\partial h}{\partial x}\right)_{x=0}, \quad (4)$$

$$\mu \frac{\partial h}{\partial t} = k \frac{\partial}{\partial x} \left( h \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \varepsilon_0, \quad (5)$$

де  $s$  - координата вздовж труби – дрена (0 <  $s$  <  $l$ ),  
 $l$  - довжина труби,  $Q$  - витрати води в трубі,  
 $q$  - витрати фільтраційного потоку на одиницю довжини,  $d$  - діаметр дренажної труби,  
 $H(s, t)$  - п'єзометричний напір в дрени,  $C$  - відомий коефіцієнт Шезі,  $x$  - координата, перпендикулярна до дрени,  $L$  - віддаль між дренами,  $\mu$  - коефіцієнт водовіддачі,  $k$  - коефіцієнт фільтрації,  
 $\varepsilon_0$  - інтенсивність інфільтраційного живлення чи випаровування.

Система зазначених рівнянь реалізована чисельним методом кінцевих різниць при наступних крайових умовах:

$$H(0, t) = H_V(t), \quad \left. \frac{\partial H}{\partial s} \right|_{s=l} = 0, \quad (6)$$

$$h(x, s, 0) = h^0(x, s);$$

$$h(0, s, t) = H(s) + 2\Phi \left. \frac{\partial h}{\partial x} \right|_{x=0}, \quad (7)$$

$$\left. \frac{\partial h}{\partial x} \right|_{x=L/2} = 0,$$

де  $H_V(t)$  - задана величина напору на вході в трубу-дрену,  $\Phi$  - додатковий фільтраційний опір на недосконалість дрени:

$$\Phi = 0,73m \lg \frac{2m}{\pi d}, \quad (8)$$

$m$  - середня потужність однорідної товщі ґрунту. Зазначимо, що умова (7) зв'язує напір в дрени з напором фільтраційного потоку. Для чисельного розв'язку зазначеної задачі розроблена програма для ПК на алгоритмічній мові BASIC.

Аналіз відомих в літературі теоретичних досліджень сумісного розв'язку внутрішньої і зовнішньої задач формування параметрів потоку в трубах-дренах при водозаборі ґрунтових (підземних) вод дозволяє сформулювати загальну задачу роботи промислових водозаборів (дренажів) з врахуванням течії потоку всередині променів - дрен.

Зазначимо, що згадана сумісна задача гідравліки і фільтрації стосовно промислових дренажів, наскільки нам відомо, в літературі не розглядалися.

## Виклад основного матеріалу

Для проведення більш точних розрахунків такої задачі наведемо розв'язок, що базується на вирішенні наведеної математичної моделі, котра описує і враховує сумісну взаємодію течії води в трубі і фільтраційного притоку до неї.

В роботі [12] після лінеаризації і нескладних перетворень рівняння гідравліки і фільтрації (2-5) з врахуванням лінійної залежності інтенсивності випаровування по глибині приведені до стаціонарного вигляду:

$$\pi Cd^{5/2} \frac{d^2 H}{ds^2} + 32kh_c \sqrt{\left|\frac{dH}{ds}\right|} \left. \frac{dh}{dx} \right|_{x=0}, \quad (9)$$

$$kh_c \frac{d^2 h}{dx^2} - \varepsilon_0 \left( \frac{h - h_k}{M - h_k} \right) = 0, \quad (10)$$

де  $M$  - ордината поверхні землі,  $h_c$  - осереднена потужність фільтраційного потоку,  $h_k$  - критичний РГВ, нижче якого не відбувається випаровування з поверхні ґрунтових вод,  $\varepsilon_0$  - інтенсивність випаровування на поверхні землі,  $\left. \frac{dH}{ds} \right|_c$  - осереднене значення градієнта напору по довжині труби-дрени.

Розв'язок лінеаризованого рівняння (10) з лінеаризованими граничними умовами (7) дозволяє визначити параметри фільтраційного потоку в зоні дії дрени і має вигляд:

$$h = h_k + \frac{(H - h_k) ch \sqrt{\alpha} (x - L/2)}{ch(\sqrt{\alpha} L/2) + 2\sqrt{\alpha} \Phi sh(\sqrt{\alpha} L/2)}, \quad (11)$$

$$\alpha = \frac{\varepsilon_0}{kh_c (M - h_k)}.$$

$$\text{Із рівняння (11) знайдемо } \left. \frac{dh}{dx} \right|_{x=0},$$

$$\left. \frac{dh}{dx} \right|_{x=0} = \frac{\sqrt{\alpha} (H - h_k) sh(\sqrt{\alpha} L/2)}{ch(\sqrt{\alpha} L/2) + 2\Phi \sqrt{\alpha} sh(\sqrt{\alpha} L/2)}. \quad (12)$$

Підставивши рівняння (12) в (9) одержимо лінійне рівняння відносно функції  $H(y)$ , розв'язок якого при граничних умовах (6) одержано у вигляді:

$$H(y) = h_k + \frac{(H - h_k) ch \sqrt{\beta} (y - l_1)}{ch(\sqrt{\beta} l_1)}, \quad (13)$$

$$\beta = \frac{32\sqrt{\alpha} kh_c \sqrt{\left|\frac{dH}{dS}\right|} sh(\sqrt{\alpha} L/2)}{\pi Cd^{5/2} [ch(\sqrt{\alpha} L/2) + 2\Phi \sqrt{\alpha} sh(\sqrt{\alpha} L/2)]}.$$

Таким чином, за формулами (13) і (11) можна знайти значення п'єзометричного напору по

довжині труби-дрени  $H(y)$  і значення РГВ  $h(x)$  в різних перерізах ортогональних до її осі.

Порівняльний аналіз з використанням виконаних прикладів розрахунків показав, що результати аналітичних розрахунків по наведеним формулам близько співпадають з результатами чисельного моделювання запропонованих загальних рівнянь при  $t \rightarrow \infty$ .

Наведемо приклад розрахунку по наведеній вище методиці.

Розглядається горизонтальна труба-дрена діаметром  $d=0,1\text{м}$  і довжиною  $l=500\text{м}$ , яка працює в режимі зрошування. Інші вихідні дані такі:  $H=5\text{м}$ ,  $\mu=0,05\text{м}$ ,  $L=45\text{м}$ ,  $h^0=3\text{м}$ ,  $k=0,75\text{м/добу}$ ,  $M=5\text{м}$ ,  $\alpha=5,0\text{м}$ ,  $h=4\text{м}$ ,  $h_k=3\text{м}$ ,  $\varepsilon_0=0,001\text{м/добу}$ ; значення коефіцієнта Шезі, яке вираховане за формулою Куттера (3), з врахуванням прийнятого діаметра дрени, складає  $C=36,93\text{м}^{0,5}/\text{с}$ .

### Висновки

Результати розрахунку п'єзометричного напору  $H$  по довжині труби -дрени по формулі (13), а також по формулі (11) порівнювались з відповідними даними, одержаними чисельним шляхом [12]. Аналіз проведеного порівняння свідчить про узгодженість одержаних результатів.

Для оцінки запропонованих аналітичних методів розрахунку і роботи промислових споруд в складних гідрогеологічних умовах запропоновано математичну модель, реалізація якої дозволяє дослідити просторові і планові підземні потоки, що доцільно особливо в умовах складних конструктивних схем промислових споруд в плані і по глибині водоносної товщі.

Для реалізація запропонованих математичних моделей розроблені необхідні розрахункові алгоритми, наведено приклад розрахунку. Запропонована математична модель планової фільтрації використана при обґрунтуванні захисту житлових будинків від підтоплення на Харківській набережній.

### Література

1. Хублярян 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.
2. Пивовар Н.Г., Бугай Н.Г. Дренаж с волокнистыми фильтрами для защиты территорий от подтопления, НАНУ, Институт гидромеханики, - Киев, 2000. - 332с.
3. Методические рекомендации по расчетам защиты территорий от подтопления (под ред. А.Я.Олейника) – К.: Мин. вод. хоз. УССР, 1980. - 192с.

4. Рекомендации по проектированию и расчетах защитных сооружений и устройств от подтопления промышленных площадок грунтовыми водами. - М.: ВНИИ ВОДГЕО, ПНИИПС, 1979. - 320с.

5. Кривоног А.П. Поровая структура волокнисто-пористых полиэтиленовых фильтров // Мелиорация и водное хозяйство, 1989. - Вып. 71 - С. 91-93.

6. Прогноз подтопления и расчет дренажных систем на застраиваемых и застроенных территориях. Справочное пособие КСНУП. - М.: ВНИИ ВОДГЕО, Стройиздат, 1991. - 272с.

7. Полубаринова-Кочина П.Я. Теория движения грунтовых вод. - М.: Наука, 1977. - 664с.

8. Духовный В.А., Баклушин Н.Б., Томин Е.П., Серебрянников Ф.В. Горизонтальный дренаж орошаемых земель. - М.: Колос, 1979. - 225 с.

9. Холодов Л.А. Эксплуатация осушительно-увлажнительных систем. - Минск: Ураджай, 1979. - 184 с.

10. Мурашко А.И., Сапожников Е.Г. Защита дренажа от заиления. - Минск: Ураджай, 1978. - 165с.

11. Хублярян М.Г. Применение гидродинамической модели фильтрации для мелиоративных расчетов. // Гидротехника и мелиорация, 1981, №8. -С.32 - 34.

12. Крэмез В.С. Совместное решение задачи о фильтрации грунтовых вод и течении воды в трубе-дрене // Гидравлика и гидротехника, 1983. - Вып. 37. -С. 29-33.

**Автор:** ТУГАЙ Анатолій Михайлович

Київський національний університет будівництва і архітектури, доктор технічних наук, професор

**Автор:** ПІКУЛЬ Юрій Миколайович

Київський національний університет будівництва і архітектури, кандидат технічних наук, старший викладач  
E-mail – pikul\_stf@rambler.ru

**Автор:** МАЙСТРЕНКО Геннадій Володимирович

Київський національний університет будівництва і архітектури, аспірант

### СОВМЕСТНАЯ ЗАДАЧА ГИДРАВЛИКИ И ФИЛЬТРАЦИИ ДВИЖЕНИЯ ЖИДКОСТИ К ЛУЧЕВЫМ ДРЕНАЖАМ

А.М. Тугай, Ю.Н. Пикун, Г.В. Майстренко

Предложена математическая модель, реализация которой позволяет исследовать пространственные и плановые подземные потоки, в условиях сложных конструктивных схем в плане и по глубине водоносной толщи

**Ключевые слова:** фильтрация подземных вод, дренаж, лучевой водозабор, пьезометрический напор

### JOINT TASK HYDRAULICS AND FILTRATION OF THE FLUID MOTION TO RADIAL DRAINS

A. Tugay, Ju. Pikul, G. Maistrenko

The articles gives the realization of mathematical model which allows to investigate the spatial and planned underground streams in complicated structural schemes in plan and in depth of the aquifer

**Keywords:** groundwater filtration, drainage, radial intake, piezometric head