

УДК 628.36;504.3;556.18

С.В. ТЕЛИМА, Є.О. ОЛІЙНИК, Н.Ю. РЕВЯКІНА

ОЦІНКА ВПЛИВУ ВНУТРІШНЬОДРЕННОЇ ГІДРАВЛІКИ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРИТОКУ ҐРУНТОВИХ І ПІДЗЕМНИХ ВОД ДО ПРОМЕНЕВИХ ВОДОЗАБОРІВ І ДРЕНАЖІВ

***Анотація.** Розглянуто сумісну задачу фільтрації ґрунтових (підземних) вод до променів-дрен та гідравліки руху води в дренах. Наводиться аналітичний розв'язок задачі для умов стаціонарної фільтрації із водоємцями (каналів) до променевих водозаборів (дренажів).*

***Ключові слова:** водозабір (дренаж), промені-дрени, фільтрація, гідравліка, параметри, аналітичний розв'язок.*

Вступ

Як показали результати попередніх теоретичних і практичних досліджень, істотний вплив на величину притоку до променів-дрен мають параметри і особливості течії води всередині цих дрен [1–5]. Наукове обґрунтування зазначених питань полягає в необхідності рішення сумісних задач внутрішньої гідравліки руху води в дренах і зовнішньої задачі фільтрації ґрунтових (підземних) вод до променів-дрен [3, 6, 7].

Оглядовий аналіз літературних джерел стосовно спроби теоретичних досліджень сумісної взаємодії фільтраційного потоку до підземних водозаборів (дренажів) і руху рідини всередині них, які проводились при вирішенні задач меліорації, захисту територій від підтоплення, водопостачання та ін., наведений, зокрема, в роботах [8–10].

На підставі проведеного дослідження для подальших розробок пропонується наступна більш загальна і обґрунтована сумісна задача, а саме: гідравліки води в дренажній трубі (внутрішня задача) і фільтрації в ґрунті (зовнішня задача), яка зводиться до сумісного розв'язку рівнянь фільтрації в зовнішній області водоносного горизонту і рівнянь нерозривності і руху води у внутрішній області труби [6–8].

Виклад основного матеріалу

Усталена течія рідини в горизонтальній дренажній трубі із врахуванням розподіленого по всій її довжині притоку чи відтоку води і наявності гідравлічного тертя описується системою рівнянь нерозривності і руху рідини, які при неврахуванні стиснення рідини і при врахуванні втрат напору на гідравлічне тертя пропорційно квадрату швидкості записуються у наступному вигляді [3, 6, 11]:

$$w \frac{\partial u}{\partial y} = q, \quad \alpha u \frac{\partial u}{\partial y} = -\frac{\partial H_y^0}{\partial y} - \beta u^2. \quad (1)$$

Тут u – середня швидкість течії рідини по поперечному перерізу труби площею w , $\alpha = \frac{2}{g}\alpha_0$, α_0 – коефіцієнт, який враховує нерівномірність розподілу швидкості по живому перерізу, $\beta = f(\lambda, C)$ – параметр, який враховує гідравлічний опір; λ, C – коефіцієнти гідравлічного тертя, H_y^0 – напір всередині дрени. Зазначимо, що вісь Oy направлена уздовж осі дрени.

Враховуючи повільні зміни в часі тиску і швидкості течії в дрені і у зв'язку з повільною нестационарністю фільтраційного потоку, можна прийняти стаціонарний режим течії в дренах-променях. В реальних умовах зміни напору на гідравлічне тертя будуть більш складними, ніж це прийнято в даній моделі [4]. Проте, в першому наближенні їх можна прийняти типу $\Delta h \sim u^2$, корегуючи у разі необхідності (наприклад, у випадку нерівномірного режиму, який має місце в реальних умовах) коефіцієнт гідравлічного тертя λ , про що буде сказано нижче.

Система рівнянь (1) вирішується при постійному напорі в гирлі дрени і наступних граничних умовах:

$$y = 0, \quad H_y^0 = H_{\partial 0}, \quad y = l, \quad u = 0, \quad (2)$$

де l – довжина дрени, $H_{\partial 0}$ – постійний напір в гирлі дрени-променя. Фільтраційні витрати q знаходяться із рішення зовнішньої задачі, а саме: відомого рівняння планової фільтрації для випадку гідравлічної постановки задачі в планових координатах (x, y) . При цьому на дрені приймається розподіл напору, який сформувався всередині дрени.

Сумісне рішення внутрішньої і зовнішньої задач виконується шляхом послідовних наближень. В нульовому наближенні вважається, що напір на дрені ($y = 0$) дорівнює $H_{\partial 0}$ і таким чином пошукові h і q в цьому наближенні не залежать від координати y . Для фільтраційної задачі приймається відоме рішення [9, 10, 11], на підставі якого визначають напір (рівень) h і витрату дрени q_0 . Тоді в результаті рішення (1) одержимо для першого наближення наступний вираз відносно швидкості :

$$u_0(y, t) = \frac{q_0(t)}{w}(y - l), \quad (3)$$

де $q_0(t)$ – погонна витрата дрени, в якій ще не врахована зміна напору уздовж дренажної труби, тобто, швидкість визначається при рішенні задачі при постійному напорі на дрені $H_{\partial 0}$. Перше наближення для напору всередині дрени H_y^0 знаходимо із рівняння руху (1) після підстановки в нього виразу для швидкості u_0 (3), в результаті чого одержимо рівняння:

$$\frac{\partial H_y^0}{\partial y} + \alpha \frac{q_0^2}{w^2}(y - l) + \beta \frac{q_0^2}{w^2}(y - l)^2 = 0, \quad (4)$$

рішення якого буде при заданій умові в гирлі дрени ($y = 0$) таким:

$$H_y^0 = H_{\partial 0} - \chi(y)q_0^2, \quad (5)$$

де

$$\chi(y) = \frac{1}{w^2} \left[-\frac{\beta}{3} y^3 + \left(\beta l - \frac{\alpha}{2} \right) y^2 + (\alpha l - \beta l^2) y \right]. \quad (6)$$

Для уточнення рішення зовнішньої задачі на дрени ($x = 0$) напір задається як функція від координати y відповідно до виразу (5). Тоді уточнені величини напору у водоносному горизонті і витрати дрени q також будуть залежати від y . Проведений в роботі [9] додатковий аналіз показав, що фільтраційну задачу необхідно вирішувати, використовуючи відому граничну умову 3-го роду на дрени, яка в цьому випадку буде враховувати напір H_y^0 в дрени із врахуванням її недосконалості, а саме [11]:

$$x = 0, \quad U - 2\Phi_{\partial} \frac{U}{\partial x} = \frac{k_1}{2} (m_{\partial} - \chi q_0^2)^2 + \alpha_1 (m_{\partial} - \chi q_0^2) \quad (7)$$

Де Φ_{∂} – внутрішній фільтраційний опір, обумовлений гідродинамічною недосконалістю променевих водозаборів і дренажів і визначається (залежить) в основному параметрами водоносної товщі (потужністю пласта і його окремих шарів і їх коефіцієнтами фільтрації), розмірами променів-дрен і їх відстанню одна від одної [9, 11]. В загальному випадку, крім цього основного гідродинамічного опору по ступеню розкриття пласта, може бути врахований додатковий опір за характером розкриття пласта [9, 11].

У роботі [11] наведено наближене рішення сумісної фільтраційної задачі підгрунтового зволоження і запропоновані рекомендації для визначення напору (рівня) h і витрат q із врахуванням внутрішньодренної гідравліки згідно з рівнянням (5).

Таким чином, при рішенні зовнішньої (фільтраційної) задачі потрібно приймати на дрени ($x = 0$) значення напору, який змінюється уздовж координати y згідно з (4). У цьому випадку значення напору (рівня) ґрунтових вод h в ґрунті і витрати дрени q будуть також змінюватись і залежати від координати y . Для рішення зовнішньої задачі будемо вирішувати профільну (одномірну) задачу фільтрації до недосконалої дрени в однорідному ґрунті згідно з відомим рівнянням, а саме [9]:

$$T \frac{\partial^2 H}{\partial x^2} = \mu \frac{\partial H}{\partial t}, \quad T = km. \quad (8)$$

Рівняння (8) вирішуємо при початкових і граничних умовах, які на недосконалій дрени приймаються із врахуванням виразу для напору H_y^0 , що змінюється всередині дрени по її довжині y згідно з рівнянням (4):

$$x = 0, \quad H - 2\Phi_{\partial} \frac{\partial H}{\partial x} = H_y^0 = H_{0\partial} - \chi(y)q_0^2, \quad (9)$$

а глибина (рівень) води в досконалій водоймі (каналі) приймається постійною H_K , тобто, на урізі води у водоймі при $x = L$ маємо граничну умову $H = H_K$.

Для подальшого використання рівняння (8) після нескладних його перетворень запишемо у наступному вигляді:

$$a \frac{\partial^2 \bar{h}}{\partial \bar{x}^2} = \frac{\partial \bar{h}}{\partial \bar{t}}, \quad h = H - H_y^0, \quad \bar{h} = \frac{h}{h_K}, \quad h_K = H_K - H_y^0 \quad (10)$$

$$h_{k0} = H_K - H_{0\partial} \quad (11)$$

У якості прикладу розглянемо схему фільтрації, в якій приток відбувається до променя довжиною l , розташованого паралельно границі водойми (каналу) на відстані L . Так, для довгого променя довжиною $l > 2m$ при $y = 0$, $H_y^0 = H_{0\partial} \approx m_{\partial}$, $y = l$, $u = 0$, рівняння вирішується при таких граничних умовах:

$$\bar{t} = 0; \quad 0 \leq x \leq L; \quad \bar{h}(\bar{x}, 0) = 0 \quad (12)$$

$$\bar{t} > 0; \quad \bar{x} = 0, \quad \frac{\partial \bar{h}}{\partial \bar{x}} - C_1 \bar{h} = 0; \quad (13)$$

$$\bar{t} > 0; \quad \bar{x} = 1, \quad \frac{\partial \bar{h}}{\partial \bar{x}} - C_2 \bar{h} = C_2; \quad (14)$$

де

$$\bar{t} = \frac{t}{\tau}; \quad \bar{x} = \frac{x}{L}, \quad \bar{h} = \frac{h}{h_K}; \quad \tau = \frac{\mu L^2}{T},$$

$$T = km, \quad m = m_{\partial} + 0.5h_K; \quad C_1 = \frac{L}{2\Phi_{\partial}}, \quad C_2 = \frac{L}{\Delta L}.$$

Загальне рішення рівняння (10) в умовах досконалих і недосконалих джерел живлення і забору підземних вод наведено в роботі [9] і має наступний вигляд:

$$\bar{h}(\bar{x}, \bar{t}) = \bar{h}(x, \infty) - 2 \sum_{n=1}^{\infty} C_2 \frac{P_1(\bar{x}, \alpha_n)}{\alpha_n P_n} e^{-\alpha_n^2 \bar{t}} \quad (15)$$

$$q(\bar{x}, \bar{t}) = q(\infty) - 2 \frac{Th_K C_1 C_2}{L} \cdot \frac{e^{-\alpha_n^2 \bar{t}}}{P_n}. \quad (16)$$

В умовах усталеного руху одержимо наступні залежності:

$$\bar{h}(\bar{x}, \infty) = \frac{C_2(C_1 \bar{x} + 1)}{C_1 + C_1 C_2 + C_2} \quad (17)$$

$$H = H_y^0 + \frac{C_2(C_1\bar{x} + 1)}{C_1 + C_1C_2 + C_2}(H_K - H_y^0). \quad (18)$$

У випадку фільтрації із досконалих водойм чи каналів будемо мати наступні рівняння [9]:

$$\bar{h}(\bar{x}, \infty) = \frac{C_1\bar{x} + 1}{C_1 + 1}, \quad (19)$$

$$H = H_y^0 + \frac{C_1\bar{x} + 1}{C_1 + 1}(H_K - H_y^0). \quad (20)$$

Для визначення фільтраційних витрат із водойм чи каналів до дрени в кожному перерізі пропонуються наступні залежності:

$$q(\infty) = \frac{Th_K}{L} \cdot \frac{C_1C_2}{C_1 + C_1C_2 + C_2} = \frac{T(H_K - H_y^0)}{L + \Delta L + 2\Phi_\phi}, \quad (21)$$

а для досконалого джерела живлення – наступне рівняння:

$$q(\infty) = \frac{T(H_K - H_y^0)}{L + 2\Phi_\phi} \quad (22)$$

У роботі [9] для різних фільтраційних схем притоку і прийнятих джерел живлення і забору води наведені рекомендації для визначення коренів α_n і функцій P_1 і P_n для одиночної довгої дрени ($l > 2m$).

Зазначимо, що для одиночних горизонтальних трубчатих дрен різної довжини (коротких і довгих) рішення фільтраційної задачі притоку ґрунтових вод до дрени одержано в роботі [8].

Висновки

Наведені в даній роботі результати теоретичних досліджень сумісного вирішення внутрішньої і зовнішньої задач формування потоку в дренах-трубах при дренаванні і водозаборі ґрунтових (підземних) вод дозволяють оцінити і врахувати вплив на роботу променевих водозаборів (дренажів) течії потоку всередині дрен-променів зі змінними витратами. Важливість рішення цієї задачі полягає в тому, що існуючі особливості формування значного фільтраційного нерівномірного притоку до променів-дрен кінцевої довжини можуть значно впливати на параметри руху потоку всередині цих дрен, які необхідно враховувати в розрахунках. При цьому у подальших дослідженнях цієї сумісної задачі згідно з (1) необхідно звернути особливу увагу на визначення гідравлічних опорів, які обчислюються через відомі коефіцієнти λ і C в трубах і будуть більшими, ніж при звичайному рівномірному русі рідини.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Горизонтальный дренаж орошаемых земель / Духовный В.А., Баклушин Н.Б., Томин Е.П., Серебрянников Ф.В. – М. : Колос, 1979. – 225 с.
2. Холодов Л.А. Эксплуатация осушительно-увлажнительных систем / Холодов Л.А. – Минск : Ураджай, 1979. – 184 с.
3. Кремез В.С. Совместное решение задачи о фильтрации грунтовых вод и течении воды в трубе-дрене / В.С. Кремез // Гидравлика и гидротехника. – К., 1983. – вып. 37. – С. 29–33.
4. Мурашко А.И. Сельскохозяйственный дренаж в гумидной зоне / Мурашко А.И. – Минск : Колос, 1982. – 272 с.
5. Насберг М.В. Исследование фильтрации в лучевой водозабор с учетом неравномерной интенсивности притока воды по длине лучей и их взаимовлияния. Автореферат канд. дис., НИИЭС, Тбилиси, 1983. – 28 с.
6. Хублярян М.Г. Применение гидродинамической модели фильтрации для мелиоративных расчетов / М.Г. Хублярян // Гидротехника и мелиорация. М., 1981. – № 8. – С. 32–34.
7. Хублярян М.Г. О совместном решении задачи о притоке к дрене и течении жидкости внутри ее / М.Г. Хублярян // Сб. научн. тр. «Совершенствование методов гидрогеологических и почвенно-мелиоративных исследований орошаемых земель». – М., ВНИИГиМ, 1974. – вып. 2. – С. 81–95.
8. Олейник А.Я. К вопросу о расчете пространственной фильтрации воды к горизонтальной дрене конечной длины в однородном потоке / А.Я. Олейник // Межведомств. респ. сборник “Гидромеханика”, ИГМ АН УССР, Киев, Наукова думка, 1967. – С. 12–20.
9. Олейник А.Я. Геогидродинамика дренажа / Олейник А.Я. – Киев: Наукова думка, 1981. – 284 с.
10. Моделювання і розрахунки внутрішньодренної гідравліки при роботі підземних водозаборів і дренажів / Телима С.В., Олійник Є.О., Курганська С.М., Харламова О.В. // Зб. наук. праць «Екологічна безпека та природокористування». – К., КНУБА, 2015. – вип. 19. – С. 33–43.
11. Олейник А.Я. Дренаж переувлажненных земель / А.Я. Олейник, В.Л. Поляков. – К. : Наукова думка, 1987. – 280 с.

Стаття надійшла до редакції 26.04.2017