

## АНАЛІЗ МЕТОДІВ РОЗРАХУНКУ ВНУТРІШНЬОДРЕННОЇ ГІДРАВЛІКИ ПРИ РОБОТІ ПРОМЕНЕВИХ ВОДОЗАБОРІВ І ДРЕНАЖІВ

*Проведено аналіз відомих теоретичних досліджень сумісного вирішення внутрішньої і зовнішньої задач формування водопотоку до дрен-променів при водозаборі та дрениванні ґрунтових(підземних) вод.Показано,що особливості формування фільтраційного нерівномірного притоку до дрен-променів кінцевої довжини можуть значно впливати на рух потоку всередині цих дрен, що необхідно враховувати при відповідних розрахунках.*

*Ключові слова: дрени-промені, внутрішньодренна гідравліка, сумісна задача, фільтраційний потік, водозабір, дренаж.*

Вирішення проблем забезпечення населення якісною питною водою із підземних джерел, захисту територій і населених пунктів і окремих споруд від підтоплення і затоплення ґрунтовими водами, відновлення і осушення земель і т.і. вимагає наукового обґрунтування і впровадження більш раціональних типів і конструкцій підземних водозаборів і дренажних споруд. Останнім часом в будівельній практиці широке розповсюдження одержали променеві водозабори і дренажі, які мають в окремих випадках ряд суттєвих переваг в порівнянні з традиційними водозаборами і дренажами у вигляді систем вертикальних свердловин і горизонтальних дренажів. Ряд переваг променеві водозабори в порівнянні з іншими мають і при їх експлуатації. Проте, незважаючи на досить поширений досвід проектування та будівництва променевих водозаборів і дренажів в нашій країні і за кордоном методи фільтраційного розрахунку цих споруд розроблені недостатньо і досить наближено, і в достатній мірі не враховують багато факторів процесу при їх роботі. Це, передусім, пояснюється необхідністю вивчення і врахування при розробці цих методів досить складної картини фільтраційного потоку, який формується в зонах впливу і дії променевих водозаборів (дренажів), і який ще більше ускладнюється в умовах неоднорідної водоносної товщі і складної гідравліки потоку в трубчастих променях (зі змінною витратою і напором по довжині променів).

Початок вивчення сумісної взаємодії поверхневих і підземних потоків пов'язано з дослідженнями формування запасів підземних вод і їх розподілу на значних територіях за рахунок притоку із річок і каналів. Для вирішення зазначених задач доцільним являється побудова математичних моделей, які

реалізуються переважно чисельними методами [1,2,3]. Такі моделі складаються із відомої системи рівнянь Сен-Венана, яка описує в гідравлічній постановці плавноміній рух руслового потоку:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(Q^2/A)}{\partial x} + gA \left( \frac{\partial z}{\partial x} + S_f + S_e \right) + L + W_f B = 0, \quad (1)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial(A + A_0)}{\partial t} = q, \quad (2)$$

$$S_f = \frac{n^2 |Q| Q}{2,2 A^2 R^{4/3}} = \frac{|Q| Q}{K_C^2}, \quad S_e = \frac{K_C}{2g} \frac{\partial \left( \frac{Q}{A} \right)^2}{\partial x}, \quad W_f = C_W |V_r| V_r, \quad (3)$$

де  $S_f$  - тертя, яке визначається із відомого рівняння Манінга,  $S_e$  - локальний градієнт потоку,  $Q(x, t)$  - витрата через поперечний переріз,  $A(h)$ ,  $A_0$  - відповідно активна і неактивна площі поперечного перерізу,  $K_C$  - коефіцієнт водопровідності русла,  $K_e$  - коефіцієнт розширення (зі знаком мінус) і стиснення (зі знаком плюс),  $B$  - ширина русла по водній поверхні,  $W_f$  - поправка на вітер,  $q$  - відтік із русла,  $z(x, t)$  - глибина потоку,  $x$  - віддаль уздовж русла,  $R \approx \frac{A}{B}$  - гідравлічний радіус,  $L$  - можливий боковий приток,  $n$  - шорсткість.

Величина  $q$  в рівнянні (2) вираховується із розв'язку задачі планової фільтрації, яке описується відомим рівнянням

$$\mu \frac{\partial H}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left( T \frac{\partial H}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( T \frac{\partial H}{\partial y} \right) + \varepsilon(x, y, t), \quad (4)$$

де  $H(x, y, t)$  - рівень (підземних) ґрунтових вод,  $\mu(x, t)$  - коефіцієнт водовіддачі,  $T$  - коефіцієнт водопровідності,  $\varepsilon$  - витрата потоку на одиницю поверхні.

Важливим питанням при сумісній взаємодії двох потоків є встановлення режиму їх спряження. В роботі [2] запропоновано наступні критерії спряження:

а) у випадку гідравлічного зв'язку маємо

$$\frac{\partial H}{\partial \bar{u}} = \lambda (H - (z + z_g)), \quad (5)$$

де  $\bar{u}$  - нормаль до границі спряження,  $z_g$  - відмітка дна (річки, каналу),  $\lambda(x, t)$  - параметр, який враховує неоднорідність фільтраційного потоку і закольматованість русла річки (каналу).

б) при відсутності гідравлічного зв'язку маємо

$$Q_n \rightarrow = Bk_n \frac{z - z_{кр}}{z + z_k}, \quad z > z_{кр}, \quad (6)$$

$$Q_n \rightarrow = 0, \quad z < z_{кр}, \quad (7)$$

де  $B(z)$  - ширина річки,  $k_n$  - вертикальний коефіцієнт фільтрації,  $z_k$  - товщина закольматованого шару,  $z_{кр}$  - критична глибина, нижче якої припиняється інфільтрація води.

В роботі [2] система рівнянь (1), (2) і (4) реалізована чисельним методом при наступних початкових і граничних умовах:

$$\begin{aligned} z(x,0) &= z^0(x), & Q(x,0) &= Q^0(x), \\ Q(0,t) &= Q_0(t), & Q(L,0) &= Q_L(0) \end{aligned}$$

з врахуванням режимів спряження. На основі даної моделі реалізовано регіональну модель водообміну на окремій ділянці басейну річки Північна Двіна площею 1600 км<sup>2</sup>. В результаті виконано прогноз зміни рівнів підземних вод (напорів) в басейні на довгостроковий період часу.

До недавнього часу сумісна взаємодія фільтраційного потоку до підземних водозаборів (дренажів) і руху рідини всередині них досліджувалась переважно емпіричним шляхом з метою врахування параметрів внутрішньодреної гідравліки (витрат і втрат напору) та їх впливу на параметри фільтраційного потоку в зоні впливу підземних споруд [4, 5, 6]. Крім того, були проведені значні дослідження нестационарного руху рідини в горизонтальній трубі з врахуванням розподіленого по всій її довжині притоку чи відтоку і втрат напору на тертя по довжині. Так, в роботах [7, 8] розглядається рух рідини в системі ґрунт – дрена на підставі рішення системи гідродинамічних рівнянь, які описують рух рідини в дренажній трубі (внутрішня задача) і фільтраційний приток до дрени в умовах рішення задачі безнапірної фільтрації з вільною поверхнею (зовнішня задача)..

Для визначення притоку  $q$  необхідно вирішувати рівняння фільтрації виду:

$$\operatorname{div}(k \operatorname{grad} H) = 0 \quad (8)$$

з відомим рівнянням на вільній поверхні, яке описує її переміщення [9]. Для випадку зміни швидкості і притоку по довжині дрени по лінійному закону в результаті наближеного рішення системи цих рівнянь при граничній умові  $x=0$ ,  $v = v_0$ ;  $x=L$ ,  $v = v_1$ , одержано наступне рівняння для визначення втрат напору по довжині дрени [4]:

$$h_0 - h_s = \frac{\lambda S}{2gD} \frac{v_0^2}{3} \left( 1 + \frac{v_1^2}{v_0^2} + \frac{v_1}{v_0} \right) + \frac{1}{g} (v_1^2 - v_0^2) \quad (9)$$

В роботі [10] запропонована модель, що складається із наступної системи рівнянь і описує сумісний рух ґрунтових вод і течію води в дрени:

$$\frac{\partial Q}{\partial S} + q = 0, \quad (10)$$

$$Q = \frac{\pi}{8} C d^{5/2} \operatorname{sign} \left( \frac{dH}{dS} \right) \sqrt{\left| \frac{dH}{dS} \right|}, \quad (11)$$

$$C = \frac{100}{1 + 0,54\sqrt{d}}, \quad (12)$$

$$q = 2h \left( \frac{\partial h}{\partial x} \right) \Big|_{x=0}, \quad (13)$$

$$\mu \frac{\partial h}{\partial t} = k \frac{\partial}{\partial x} \left( h \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \varepsilon, \quad (14)$$

де  $S$  - координата вздовж труби – дрени ( $0 < s < l$ ),  $l$  - 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,  $\varepsilon$  - інтенсивність інфільтраційного живлення чи випаровування.

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

$$H(0, t) = H_V(t), \quad \frac{\partial H}{\partial s} \Big|_{s=l_g} = 0, \quad h(x, s, 0) = h^0(x, s), \quad (15)$$

$$h(0, s, t) = H(s) + 2\Phi \frac{\partial h}{\partial x} \Big|_{x=0}, \quad \frac{\partial h}{\partial x} \Big|_{x=L/2} = 0, \quad (16)$$

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

$$\Phi = 0,73m \lg \frac{2m}{\pi d}, \quad (17)$$

$m$  - середня потужність однорідної товщі ґрунту. Зазначимо, що умова (16) зв'язує напір в дрени з напором фільтраційного потоку. Дана модель може бути ефективно застосована при вирішенні прогнозних задач регулювання водним режимом на системах зрошення.

Робота осушувально-зволожувального дренажу з врахуванням внутрішньодренної гідравліки розглянута в роботі [11]. Теоретичне дослідження течії води в дренажній трубі (внутрішня задача) і фільтрації в ґрунті (зовнішня задача) проведене на основі сумісного рішення рівнянь фільтрації в зовнішній області ґрунту і рівнянь нерозривності і руху рідини у внутрішній області труби. Слід відмітити, що в реальних умовах оцінка втрат напору на гідравлічне тертя буде більш складною, ніж це прийнято в даній моделі [12].

Сумісне рішення внутрішньої і зовнішньої задач виконується шляхом послідовних наближень. В нульовому наближенні вважається, що напір на дрени ( $y=0$ ) дорівнює  $H_{\partial 0}$  і таким чином невідомі  $h$  і  $q$  в цьому наближенні не залежать від координати  $y$ . Для фільтраційної задачі приймається відоме рішення, приведене в [11, 13], на підставі якого визначають напір (рівень)  $h$  і витрату дрени  $q_0$ .

В роботі [11] приведено рішення цієї фільтраційної задачі і запропоновані рекомендації для визначення напору (рівня)  $h$  і витрат  $q$  із врахуванням внутрішньодренної гідравліки.

В роботі [14] розглянута схема роботи дрени з врахуванням внутрішньодренної гідравліки, розташованої під дном водойми, зокрема, під рисовими чеками і запропоновано наближене рішення цієї задачі. В цьому випадку рівняння руху води в дрени – трубі вирішується разом з відомим рівнянням, яке описує приток до дрени під рисовим чеком:

$$q = \frac{k(H_k - H^0(y))}{\Phi_g}, \quad (18)$$

де  $k$  - коефіцієнт фільтрації,  $H_k$  - напір (рівень) над дреною,  $H^0(y)$  - змінний напір в дрени,  $\Phi_g$  - фільтраційний опір на недосконалість дрени в однорідному ґрунті.

Проведений вище аналіз відомих в літературі теоретичних досліджень сумісного вирішення внутрішньої і зовнішньої задач формування параметрів потоку в дренах – променях при дренаванні і водозаборі ґрунтових (підземних) вод дозволяє окреслити і сформулювати загальну задачу роботи променевих водозаборів (дренажів) з врахуванням течії потоку всередині дрен-променів. Важливість рішення цієї задачі полягає в тому, що існуючі особливості формування фільтраційного значно нерівномірного притоку до дрен – променів кінцевої довжини можуть суттєво впливати на параметри руху потоку всередині цих дрен, які необхідно враховувати в розрахунках. Зазначимо, що поставлена в даній роботі сумісна задача гідравліки і фільтрації стосовно променевих дренажів досі, наскільки нам відомо, ніде не розглядалась.

### Література

1. Фрид Д.Л. Моделирование руслового стока в кн. Гидрогеологическое прогнозирование. Перев. с англ., - М: Мир, 1988. – 736с.
2. Епихов Г.П. Математическая модель плановой фильтрации во взаимосвязи с речным стоком и ее реализация. // Водные ресурсы, №2, 1980. – С. 35-44.
3. Антонцев С.Н., Епихов Г.П., Кашеваров А.А. Системное математическое моделирование процессов водообмена. - Новосибирск, Наука, 1986. – 214 с.
4. Духовный В.А., Баклушин Н.Б., Томин Е.П., Серебрянников Ф.В. Горизонтальный дренаж орошаемых земель. – М: Колос, 1979. – 225 с.
5. Холодов Л.А. Эксплуатация осушительно-увлажнительных систем. – Минск, Ураджай, 1979. – 184 с.
6. Мурашко А.И., Сапожников Е.Г. Защита дренажа от заиления. – Минск, Ураджай, 1978. – 165 с.
7. Хубларян М.Г. Применение гидродинамической модели фильтрации для мелиоративных расчетов. // Гидротехника и мелиорация, 1981, №8. – С. 32–34.
8. 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.
9. Полубаринова-Кочина П.Я. Теория движения грунтовых вод. – М: Наука, 1977. - 664с.
10. Кремез В.С. Совместное решение задачи о фильтрации грунтовых вод и течении воды в трубе-дрене // Гидравлика и гидротехника, 1983. – вып. 37 – С. 29-33.
11. Олейник А.Я., Поляков В.Л. Дренаж переувлажненных земель. - Киев, Наукова думка, 1987. – 280 с.
12. Мурашко А.И. Сельскохозяйственный дренаж в гумидной зоне. - М: Колос, 1982. - 272с.
13. Олейник А.Я. Геогидродинамика дренажа. - Киев, Наукова думка, 1981. – 284с.
14. Жовтоног Н.И. Гидравлический расчет безуклонной дрены на рисовых оросительных системах – Гидравлика и гидротехника. – К.: Техника, 1984, вып. 39. – С. 72-74.

### **АННОТАЦИЯ**

Проведен анализ известных теоретических исследований совместного решения внутренней и внешней задач формирования водопритока к дренам-лучам при водозаборе и дренировании грунтовых(подземных) вод. Показано, что особенности формирования фильтрационного неравномерного притока к дренам-лучам значительно влияют на движение потока внутри этих дренах, что необходимо учитывать при соответствующих расчетах.

Ключевые слова: дрена-лучи, внутриводосборная гидравлика, совместная задача, фильтрационный поток, водозабор, дренаж.

### **RESUME**

The analysis of the known theoretical investigations of the couple solution of the inner and the outer problems of the forming of the water influx to the drains-ranneys at the water uptake and the drainage of the ground (underground) waters is carried out. It is shown that the features of the forming of the flow of the irregular influx to the drains-ranneys of the ultimate length may considerably influence on the movement of the flow inside these drains and that is necessary to takes into account at the appropriate calculations.

Key words : drains-ranneys, innerdrain hydraulic, couple problem, flow stream, water uptake, drainage.