

УДК 628

к.т.н. Телима С.В.,
Інститут гідромеханіки НАН України,
к.т.н. Тугай Я.А., Олійник Е.О., Майстренко Г.В.,
Київський національний університет будівництва і архітектури

ІСНУЮЧІ МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ І МЕТОДИ ФІЛЬТРАЦІЙНОГО РОЗРАХУНКУ ПРОМЕНЕВИХ ВОДОЗАБОРІВ І ДРЕНАЖІВ.

Дається аналіз сучасних математичних моделей і фільтраційних розрахунків променевих водозаборів і дренажів. Зазначається, що сучасні методи розрахунку розроблені на основі значної схематизації реального підземного потоку як в плані так і по глибині і тому потребують значного удосконалення і уточнення.

Ключові слова: променеві водозабори, дренажі, фільтраційний розрахунок, методи, водоносний пласт, водоток, водоймище, еквівалентний радіус, фільтр-промінь, дрена.

Спробам наукового обґрунтування і розробки методів фільтраційного розрахунку променевих водозаборів і дренажів присвячені роботи великої кількості як вітчизняних так і зарубіжних вчених і спеціалістів [1-11] та інших.

Результати досліджень вказаних авторів базуються на основі побудови і реалізації в основному аналітичними методами досить простих, наближених моделей притоку підземних вод до променевих споруд (водозаборів і дренажів). Враховуючі обмежені можливості цих методів, отримані розв'язки дозволили обґрунтувати методи розрахунків переважно для спрощених схем водопритоку і гідрогеологічних умов. Нижче приводяться деякі найбільш відомі в спеціальній літературі методи розрахунку.

У вітчизняній практиці найбільше поширення отримали методи фільтраційних розрахунків променевих дренажів і водозаборів, розроблені Разумовим Г.О. [8,9].

На основі аналітичних розв'язків задач фільтрації до однієї або систем горизонтальних дрен в необмеженому і напівобмеженому в плані однорідному водоносному пласті кінцевої потужності розроблені інженерні моделі фільтраційного розрахунку променевих дренажів (водозаборів), які приведені в монографії [8].

Так, для визначення витрати променевого водозабору, розташованого біля водотоку чи водоймища в однорідному водоносному пласті при усталеній фільтрації пропонується наступна залежність

$$Q = \frac{2\pi km(H - H_0)}{R_6} \quad (1)$$

$$R_6 = \left(\ln V_r + 2\eta \ln \frac{0,5}{W} \right) \frac{m}{\gamma IN}$$

$$V_r = \frac{IV}{1,36r_0}; \quad W = \frac{m}{l + \sqrt{l^2 + 4m^2}}; \quad V = \sqrt{\frac{4L-l}{4L-l}},$$

а коефіцієнти η і γ приймаються із запропонованих графіків $\eta = f\left(\frac{l}{m}, \frac{L}{m}\right)$ і $\gamma = f\left(\frac{r_0}{m}, \frac{b}{m}, \frac{L}{m}\right)$ [8], де N - кількість променів водозабору, розташованих рівномірно по колу. Залежність (1) рекомендується використовувати при умовах $0,8 \geq \frac{b}{m} \geq 0,2$, $\frac{l}{m} > 1$, $\frac{L}{m} < 50$, де b - відстань від покрівлі пласта до променя, m - потужність пласта, L - відстань від водозабору до границь живлення, l - довжина променя, R_6 - опір берегового водоносного пласта. При значному віддаленні водозабору від границь живлення ($L > 50$) розрахунки можна суттєво спростити, замінивши реальний променевий водозабір еквівалентним по водопритоку досконалим вертикальним колодязем. Для визначення радіусу такого колодязя r_e в роботі [8] пропонується наступна формула

$$\ln r_e = \ln \frac{l}{N^{0,25}} - \frac{m}{Nl} \ln \frac{m}{2\pi r_c \sin \frac{\pi\alpha}{m}} \quad (2)$$

де α - відстань від підошви пласта до променя. Слід відмітити, що в літературних джерелах пропонуються і інші, менш точні формули приведення променевого дренажу до великого колодязя радіусом r_e .

У випадку підруслового променевого водозабору розрахунки дебіту також визначаються по формулі, в якій замість опору R_6 приймається опір R_{II} , що визначається із формули

$$R_{II} = \frac{m}{IN} (V_0 - V_{II}) \quad (3)$$

де для визначення параметрів V_0 і V_{II} в роботі [8] приводяться досить складні формули. Тут N - кількість променів, розташованих під руслом річки (водоймища).

При розрахунках систем променевих водозаборів (дренажів), їх часто приводять до еквівалентних схем горизонтального кільцевого дренажу,

горизонтального лінійного дренажу і вертикального дренажу (колодязя) [6,7,22].

Променевий водозабір (дренаж) працює, як правило, в напірному режимі і є затопленим. Цей факт обумовлений малими діаметрами променів-дрен і безтраншейним способом будівництва. У зв'язку з цим над променем-дреною має місце нависання кривої депресії, величина якого наближено розраховується як

$$h'_0 = \frac{q}{T} \Phi_0, \quad (4)$$

де q – витрати променя-дрени на 1 пог.м., T – водопровідність водоносного горизонту, Φ_0 – фільтраційний опір, який залежить від властивостей і будови водоносної товщі, про що буде сказано нижче.

Витрати діючих променевих дренажів з рівномірно розташованими променями часто розраховуються як сума витрат незалежно від діючих окремих дрен-променів. Якщо дренаж проектується з різною довжиною променів, l_i , і з різними кутами між ними, θ_i , і ця різниця не перевищує 20%, то для спрощення розрахунків різні довжина і кути приводяться до середнього значення

$$l_{cp.} = \sum_{i=1}^N \frac{l_i}{N}, \quad \theta_{cp.} = \frac{360^\circ}{N}, \quad (5)$$

де $l_{cp.}$ і $\theta_{cp.}$ – відповідно середня довжина горизонтальних радіальних променів-свердловин і кут між ними, N – число променів, $i = 1, 2, \dots, N$.

В загальному випадку витрата окремого променевого дренажу (водозабору) визначається в залежності від величини зниження рівня у водозбірному колодязі, довжини, числа, діаметру і глибини закладання фільтрів-променів (дрен), а також із врахуванням геологічної будови водоносної товщі, що дронується.

Однією з існуючих рекомендацій по визначенню витрати одиночного променевого водозабору (дренажу) з рівномірно розташованими в плані променями для схеми однорідної водоносної товщі і усталеної фільтрації, із необмеженої області притоку пропонується така наближена залежність

$$Q = \frac{2,7kSt\gamma N}{lg \frac{l}{1,4r} + 2\psi lg \frac{l + \sqrt{l^2 + 4m^2}}{2m}}, \quad (6)$$

де m – потужність водоносного пласта, S – пониження рівня (напору) на водозбірному колодязі, l – довжина променів, r – радіус фільтрів-променя (дрени). Коефіцієнти γ і ψ беруться із таблиці 1.

Таблиця 1

m/M	2	4	6	8	10	20
Коефіцієнт γ						
3	0,63	0,66	0,7	0,71	0,72	0,75
4	0,48	0,52	0,57	0,60	0,63	0,64
6	0,33	0,38	0,4	0,45	0,47	0,52
8	0,28	0,33	0,36	0,42	0,45	0,51
Коефіцієнт ψ						
-	0,5	5,0	6,2	7,0	8,0	10,0

Формула (6) застосовується при розташуванні фільтрів-променів (дрен) в середній частині водоносного пласта $\left(0,25 \leq \frac{b}{m} \leq 0,75\right)$ і значній віддалі їх від границі його живлення $\left(\frac{L}{m} > 5, \frac{L}{l} > 3 - 4\right)$, де L – подвійна віддаль до контуру живлення.

В багатьох роботах приводяться наближені методи розрахунку променевих дренажів (водозаборів) з рівномірним розташуванням променів і різної довжини, а також систем взаємодіючих променевих дренажів, розташованих на значних відстанях один від одного.

Для умов неусталеної фільтрації для розрахунків променевих дренажів Разумов Г.О. запропонував декілька формул на основі відомого розв'язку Хантуша М. і Попадопулоса [13] щодо неусталеного водопритоку до радіальної системи горизонтальних свердловин з рівномірно розподіленою по їх довжині інтенсивністю в напірному пласті обмеженої потужності. Так, для відомої схеми «великого колодязя» радіусом r_e для великих відрізків часу

$\left(t > 10 \frac{r_e^2}{\alpha}\right)$ витрата променевого дренажу рекомендується визначати по наступній формулі:

$$Q = \frac{4\pi k S H_e N}{(N \ln r + 1,6 \bar{H}_e)}, \quad (7)$$

$$\tau = \frac{\alpha t}{H_e^2}, \quad \bar{H}_e = \frac{H}{l}, \quad \alpha = \frac{km}{\mu}$$

де H_e – глибина природного потоку; α – коефіцієнт п'єзопровідності, м²/добу, S – пониження на контурі дренажу, м; k, m, μ – відповідно коефіцієнт фільтрації, потужність та коефіцієнт водовіддачі ґрунта (породи) пласта; l – довжина променя, м. При цьому зниження РГВ на відстанях $r > 1,75l$ від вісі

водозбірного колодязя можна наближено визначати по відповідним формулам для вертикального дренажу.

Більш точний розрахунок водопониження в межах променевого водозабору можна отримати по такій формулі

$$S_A = \frac{Q}{4\pi kIN} \sum_{\tau=1}^N F_s(\tau), \quad (8)$$

де S_A – водопониження в точці A_i , розташованій на бісектрисі кута між двома будь-якими променями. Функція $F_s(\tau)$ протабульована для деяких схем променевого дренажу і приведена в роботі [14].

В окремих роботах висвітлено питання врахування нерівномірності інтенсивності притоку по довжині променів [4, 6, 7]. Так, в роботі [7] отримано теоретичний розв'язок для визначення витрати променевого дренажу в однорідному напорному пласті з круговим контуром живлення, в якому інтенсивність притоку задавалась змінною по довжині променів (у вигляді трьохчленної параболічної залежності). Крім того, у вказаних вище роботах приведені розв'язки в наближеній постановці окремих задач водопритоку до променевих водозаборів з різною кількістю променів, на основі яких знайдені значення радіусу r_e еквівалентного досконалого колодязя.

В роботі [4] розглядається схема симетричного притоку до променевого водозабору з симетричним розташуванням променів. Методика розв'язку зводиться до того, що кожний промінь розбивається на ряд ділянок, в межах яких інтенсивність притоку приймається постійною, тобто, приток до променя в цілому відбувається по ступінчатому закону. Для розв'язку даної задачі використані відомі методи джерел-стоків та суперпозиції. При цьому втрати напору по довжині променів не враховуються, тобто, напори в межах кожної ділянки рівні між собою і відповідають напору на поверхні фільтру. Розв'язок даної задачі досить громіздкий і ускладнюється по мірі збільшення кількості променів. В результаті отриманого теоретичного розв'язку розроблена методика наближеного визначення притоку до променевих водозаборів. Із врахуванням нерівномірності притоку по довжині променів запропонована відповідна конструкція променевого фільтру із змінною по довжині перфорацією та виконано її розрахунок. Наближений теоретичний розв'язок задачі усталеної фільтрації до променевого водозабору в однорідному пласті з круговим контуром живлення отримано в роботі [16]. Цей розв'язок досить детально висвітлений щодо водопритоку до одиначної дрени для різних схем в декількох роботах [11, 17]. Використовуючи метод фільтраційних опорів при $b = 0,5m$, отримано наближену формулу для визначення витрати одиночного фільтра-променя (дрени) і симетрично розташованих в плані фільтрів-променів (дрен) кількістю $N(1 < N \leq 4)$

$$Q = \frac{2\pi kmS}{\ln \frac{\lambda R}{l} + \frac{m}{Nl} \ln \frac{m}{2\pi r_0}}, \quad (9)$$

де параметр λ визначається із таблиці 2.

Таблиця 2

Таблиця для визначення параметра λ

N	1	2	3	4
$\lambda(n)$	4	2	1,86	1,78

Крім того Шестаковим В.М. розроблена методика їх фільтраційного розрахунку, для деяких схем променевих водозаборів і водопритоку до них [11]. Для умов усталеної фільтрації наближені методи розрахунку водопритоку до променевих водозаборів запропоновано також в роботах Лапшина Ю.В., Анпілова В.Є. та інших [2, 4].

В роботі [17] пропонується наступна методика гідрогеологічного розрахунку одиночного променевого дренажу:

1. Спочатку визначається загальна витрата променевого дренажу по формулі «великого колодязя» з r_c .
2. Кожна дрена-промінь розбивається на 5 рівних відрізків і замінюється кожна із них еквівалентною вертикальною свердловиною, розміщеною посередині відрізка.
3. Розраховується витрата кожної еквівалентної вертикальної свердловини із врахуванням того, що погонний приток води до дрени-променя змінюється по її довжині по лінійному закону.
4. Остаточні виконуються розрахунки понижень РГВ в довільній точці пласта. При цьому променевий дренаж розглядається, як система взаємодіючих вертикальних свердловин.

Аналогічна методика застосовується і для розрахунку систем променевих водозаборів (дренажів).

В ряді робіт розглянуто також чисельний розв'язок задачі неусталеної фільтрації до променевого водозабору в необмеженому в плані однорідному напорному пласті на основі методу скінчених елементів. Показано, що величини витрати водозабору, розрахована таким методом, не перевищує величини витрати, визначеної методом ЕГДА, в межах 10% [18].

В роботах [3,5,17] та інших приведені деякі результати досліджень фільтраційного притоку до променевих водозаборів методом ЕГДА. На основі проведених досліджень запропоновано деякі практичні рекомендації і

емпіричні залежності для визначення витрати променевого водозабору, які можуть мати окреме призначення. Разом з тим, ці дослідження дозволяють оцінити вплив нерівномірності притоку по довжині променів і стверджувати про необхідність її врахування при розробці інженерних методів розрахунку.

Змістовний аналіз методів розрахунку водопритоку до промєневих дренажів (водозаборів) зроблено в роботі [Майстрєнко Г.В. Магістерська робота]. Проаналізовано формули різних авторів щодо визначення витрати променевого дренажу в порівнянні з реальними витратами трьох діючих промєневих водозаборів. Було досліджено формули розрахунку різних авторів, а саме: по Коккі для еквівалентної вертикальної свердловини, по Коккі з групою вертикальних свердловин, по Чітрїні, по Віберу, по Фальке, за Іконовим, Адвезером, Нерїнгом, Мукхєрджи, Варга та Островським.

Як було з'ясовано, результати розрахунків по одержаним формулам дають досить наближені результати. Більш точними виявилися розрахунки, в яких промєневі водозабори порівнювалися з рівнодебітними їм вертикальними свердловинами. Це відповідно формули, отримані Коккі для однієї свердловини і для групи свердловин, а також формули Чітрїні, Вібера, Нерїнга.

З емпіричних формул більш точними виявилися розрахунки по Фальке, Іконову, Адвєберу, Мукхєрджи і Варга (другий метод). Деякі збільшення витрати одержано по формулі Островського, проте значне розходження було одержано по формулам Офферхаузєра і Варга (в декілька раз).

Таким чином, в цілому по наведеним формулам точність розрахунку промєневих водозаборів досить недостатня і знаходиться дєсь в межах $\pm 50\%$.

Зроблений короткий аналіз існуючих пропозицій і методів розрахунку водопритоку до промєневих дренажів (водозаборів) дозволяє зробити наступні висновки:

1. В основному розроблені і представлені прості схеми водопритоку до значно схематизованих технологічних схем промєневих споруд і відповідно областей фільтрації: необмежений і напівобмежений в плані водоносний однорідний пласт, приток з круговою границєю живлення.

2. Майже всі існуючі методи розрахунку базуються на концепції рівномірної інтенсивності притоку по довжині променів, тобто, на граничній умові другого роду на контурах дрен. Разом з тим, найбільший інтерєс представляє вивчення промєневих дренажів (водозаборів), на яких задається значення напору (РГВ), тобто, граничних умов першого роду і граничних умов більш складного виду, що дозволяє враховувати гїдравліку потоку всередині дрен-променів. Тому питання удосконалення методів розрахунку водопритоку до промєневих дренажів (водозаборів) з використанням і реалізацією більш

загальних математичних моделей являються актуальними при вирішенні постачання населених міст питною водою і захисту територій від підтоплення.

3. В запропонованих методах розрахунку недостатньо враховані взаємодійні ефекти і вплив дії між собою недосконалих дрен-променів в системах з променями $N \geq 3$ і взагалі фільтраційна недосконалість по ступені розкриття водоносної товщі променевим дренажем чи водозабором.

4. Одержані методи розрахунку переважно стосуються і розроблені при роботі променевих споруд в однорідному напірному водоносному пласті. При цьому майже повністю відсутні методи розрахунку підруслового променевого дренажу чи водозабору.

5. Доцільно застосовувати методи чисельного моделювання, що дозволить розв'язувати просторові задачі водопритоку до променевих водозаборів (дренажей).

Список літератури.

1. Абрамов С.К. Подземные дренажи в промышленном и городском строительстве. М., Стройиздат, 1973 г., 234 с.
2. Пономаренко Ю.В., Анпилов В.Е. Лучевой дренаж застроенных территорий. М., Недра, 1989.- 200 с.
3. Жернов И.Е., Шестаков В.М. Моделирование фильтрации подземных вод., М., «Недра», 1971 г. 224 с.
4. Лапшин Ю.С. Гидравлический расчет лучевых водозаборов. Труды координационных совещаний по гидротехнике. Л. «Энергия», 1967 г., вып. 35, с 63-72.
5. Лапшин Ю.С., Дичко Н.К., Настенко А.Д. Исследование водопонижения системой лучевых водозаборов на Каховской оросительной системе. Труды координационного совещания по гидротехнике.Л., «Энергия», 1967 г., вып.35, с.306-315.
6. Муфтахов А.Ш. Приток подземных вод к лучевому водозабору. Труды ВНИИ ВОДГЕО. В сб. «Водозаборные сооружения», с. 10-15. М. 1983.
7. Насберг М.В. Исследование фильтрации в лучевой водозабор с учетом неравномерной интенсивности притока воды по длине лучей и их взаимодействия. Авторефер.дис. на соискание уч.степени канд.техн.наук. Труды НИИЭРС, Тбилиси, 1983 г., 28 с.
8. Разумов Г.А. Проектирование и строительство горизонтальных водозаборов и дренажей. М., Стройиздат, 1988 - 240 с.
9. Разумов Г.А., Плотников С.Б. Опыт устройства лучевых водозаборов. «Водоснабжение и санитарная техника», 1974 г. № 9, с. 8-11.
10. Чулков Н.А. Расчет шахтных колодцев с лучевыми фильтрами. Труды ВНИИГиМа, №.35, М., 1960 г., с.77-84.
11. Шестаков В.М. Расчет фильтрационного водопонижения с помощью лучевых водозаборов. Основания, фундаменты и механика грунтов. М., 1962 г. № 1, с.23-25.
12. Олейник А.Я. Геогидродинамика дренажа. Киев, Наукова думка, 1981 г., 283 с.
13. Hantush M.S. Hydraulic of wells. Advances in hydroscience, 1964, v.I. - p.281 - 432.
14. Рекомендации по проектированию и расчетам защитных сооружений и устройства от подтопления промышленных площадок грунтовыми водами. ВНИИ «ВОДГЕО», М., 1979 г., 327 с.
15. Рекомендации по расчету водозаборов подземных вод при использовании безнапорных водоносных горизонтов для сельско-хозяйственного водоснабжения. Минск, ЦНИИ КИВР, 1983. - 102 с.

16. Смыгунов Г.И. Применение колодцев с горизонтальными лучевыми фильтрами для водопонижения. М., «Энергия», 1975 г., 103 с.
17. Олейник А.Я. Расчет дополнительных фильтрационных сопротивлений горизонтальных дренаж, несовершенных дренаж и несовершенных скважин в двухслойном пласте. Труды координационных совещаний по гидротехнике. Л. "Энергия" вып.35, с.87-98.
18. Radojkovic M., Pecaric J. Three-dimensional boundary element model of groundwater flow to ranney wells. Hydranlic Eng. Software Proc. International Conference, Portoroz, 1984. – p.4/63 – 4175.

Аннотация

Дан анализ существующих математических моделей и фильтрационных расчетов лучевых водозаборов и дренажей. Указывается, что существующие методы расчетов разработаны на основании существенной схематизации реального подземного потока как в плане, так и по глубине и поэтому требуют значительного усовершенствования и уточнения.

Ключевые слова: лучевые водозаборы, дренажи, фильтрационный расчет, методы, водоносный пласт, водоток, водоем, эквивалентный радиус, фильтр-лучи, дрена.

Abstract

The analysis of the modern mathematical models and filtration calculations of the ranney intakes and drainages is presented.

It is shown the modern methods of the calculations are developed on the base of the substantial schematization of the real underground flow as in plane and in depth and demand of the pronounced improvement the revision.

Key words: ranney intakes, drainages, filtration calculation, methods, water bearing layer, stream flow, reservoir, equivalent radius, filter-ranney, drain.