

$$\tau_{np} = \frac{1048 \cdot 1,6}{15 \cdot 7} - \frac{0,02 \cdot 1048 \cdot 0,8^2 \ln 7}{7} = 12,32, \text{ ч.}$$

$$\tau = \frac{e_p \cdot h_k}{v \cdot \mathcal{K}_{u.6}} = \frac{1048 \cdot 1,6}{15 \cdot 7} = 15,9 \text{ ч.} \quad (6)$$

Полученные по трем уравнениям τ_{np} были проанализированы. Установлено, что на расхождение результатов влияет второй элемент правой части уравнений (4) и (5). Уравнение (4), практически не учитывает рабочую зону аппарата. Это объясняет полученный результат, т.е. самый короткий период работы фильтра – 8,1 ч. Авторы уравнения (5) предлагают условно считать использованным только половину катионита в рабочей зоне (коэффициент $0,02 = 0,5 \cdot 0,04$).

Формула (6) широко используется для практических расчетов. Однако расчеты, выполненные по ней, являются недостаточно точными и требуют корректировки в процессе эксплуатации.

Предлагаемая формула (2) учитывает влияние концентрационного фронта и степень использования емкости катионита в рабочей части аппарата в зависимости от скорости фильтрования и исходной концентрации воды. Следовательно, применение формулы (2) для определения периода работы фильтра в процессе эксплуатации позволяет получить адекватные результаты.

1.Копылов А.С., Лавыгин В.М., Очков В.Ф. Водоподготовка в энергетике. – М.: МЭИ, 2003. – 309 с.

2.Белан Ф.И. Водоподготовка (расчеты, примеры, задачи). – М.: Энергия, 1980. – 256 с.

3.Чуб И.Н. Повышение эффективности работы натрий-катионитовых установок на основе разработанного АРМа // Науковий вісник будівництва. Вип.46. – Харків: ХДТУ-БА, ХОТВ АБУ, 2008. – С.208-212.

Получено 04.12.2009

УДК 628.112

Ю.М.ПІКУЛЬ

Київський національний університет будівництва і архітектури

ВПЛИВ ЛІТОЛОГІЧНОГО ВІКНА НА ПРОДУКТИВНІСТЬ ВОДОЗАБІРНИХ СВЕРДЛОВИН

Наведено аналітичні рішення стосовно врахування впливу літологічного вікна на продуктивність водозабірних свердловин. На основі теоретичних досліджень зроблено висновки щодо врахування опору вікна у розрахунках неусталеного режиму фільтрації.

Приведены аналитические решения, касающиеся учета влияния литологического окна на производительность водозаборных скважин. На основе теоретических исследо-

ваний сделаны выводы об учете сопротивления окна в расчетах неустановившегося режима фильтрации.

The analytical research in relation to the account of influence of lithologic window on discharge of water wells is represented. In basis of theoretical researches are done conclusions in relation to account of window resistance in calculations under unsteady regime of filtration.

Ключові слова: літологічне вікно, водозабірна свердловина, продуктивність водо-заборів.

Під літологічними вікнами розуміють локальні ділянки водоносної породи у майже непроникних породах, що поділяють водоносні горизонти, через які відбувається перетікання підземних вод з одного водоносного шару до іншого.

Смугоподібні літологічні вікна можуть виникати під впливом ерозійної діяльності річок, давніх тектонічних процесів (скидів, насувів, розломів).

У зонах тектонічного подрібнення провідність поділяючого водотривкого шару може бути значно підвищена в результаті заміщення водотривких відкладень більш проникними породами, що й призводить до утворення смугоподібних літологічних вікон.

Згідно з теоретичними висновками Ф.М.Бочевера [1], додаткове живлення водозаборів через літологічне вікно, може повністю компенсувати відбір підземних вод при водопровідності живлячого шару набагато більшої за водопровідність основного та при високій водовіддачі живлячого шару. Тоді літологічне вікно можна розглядати як джерело або межу з постійним напором, а розрахунки проводити за залежностями усталеного режиму фільтрації.

При дослідженні роботи свердловин, розміщених поблизу з різними літологічними вікнами (круглястими, смугоподібними), було зроблено припущення, що живлення експлуатаційного шару через вікно, яке являє собою площину з постійним напором, відбувається рівномірно по всій потужності водоносного горизонту.

Проте, фактично при перетіканні через вікно потік повинен долати додатковий опір через шар порід, що складає літологічне вікно.

Величина такого опору в загальному випадку буде залежати від порід, що складають вікно, їх водопроникності, конфігурації та розмірів вікна, досконалості його урізу у водотривкий прошарок, що пов'язано із закальматованістю, закарстованістю та розмитістю водотривкого прошарку на ділянці зосередженого живлення.

Для врахування впливу гідрогеологічних характеристик смугоподібних вікон на дебіт свердловин в усталеному режимі нами було складено математичну модель, основу на методі рішень гідромеха-

нічних задач фільтрації (притоку) до лінійного стоку та відтоку від лінійного джерела, яке приймалось як модель літологічного вікна.

Отримані результати свідчать про подібність процесів фільтрації до водозаборів, розміщених поблизу з відкритими джерелами (каналами, водоймами, водосховищами), і водозаборів, розміщених поблизу лінійного літологічного вікна при постійному напорі на межі зосередженого живлення.

Таким чином, урахування додаткового опору вікна є еквівалентним до врахування загального опору на недосконалість ΔL (або Φ) при фільтрації з водойми чи каналу.

Практичні рекомендації щодо врахування опору смугоподібного вікна в усталеному режимі ґрунтуються на існуючих теоретичних рішеннях різних авторів, отриманих методом фільтраційних опорів, наведено в [2].

Особливість вказаних розрахунків полягає в необхідності врахування загального опору на недосконалість межі живлення ΔL .

За більш складною схемою фільтрації з виділенням двох додаткових опорів $\Delta L'$ і $\Delta L''$ розраховують джерела додаткового живлення (канали, водойми, водосховища чи літологічні вікна), коли їх ширина буде більшою приблизно половини потужності шару, в якому вони знаходяться, тобто $B_k > 0,5m_g$.

Для джерел невеликих розмірів $B_k < 0,5m_g$ горизонтальний опір $\Delta L'$ стає малим, тоді врахування опору на недосконалість джерела виконують за спрощеною схемою з використанням опору $\Delta L \approx \Delta L''$.

Для більш простих схем відтоку від джерела живлення (одно- та двостороннього симетричного відтоку від джерела живлення, що має значну ширину $B_k > 2m_g$) можна знехтувати взаємовпливом потоків на протилежній від водозабору межі джерела живлення, $\Delta L'' = 0$, і наближено враховувати опір порід, що складають вікно, зміщенням його урізу на величину $\Delta L \approx \Delta L'$.

Згідно з [2], для лінійних джерел середніх розмірів у розрахунках враховують два опори, $\Delta L = \Delta L' + \Delta L''$:

$$\Delta L' = \xi_0 \frac{k_1}{k_2} m f'_k + \frac{k_2 - k_1}{k_2} m_g f'_{k_2}, \quad (1)$$

$$\Delta L'' = \zeta_0 \frac{k_1}{k_2} m f''_k + \frac{k_2 - k_1}{k_2} m_g f''_{k_2}, \quad (2)$$

де

$$f'_{k_i} = \frac{B_k}{2m_i} - 1,466 \lg ch \frac{\pi B_k}{4m_i}, \quad (3)$$

$$f''_{k_i} = 0,733 \lg ch \frac{\pi B_k}{4m_i}. \quad (4)$$

Тут ξ_0 та ζ_0 – поправочні коефіцієнти, визначають з графіків [3], при $\lambda = \frac{k_1 - k_2}{k_1 + k_2} \leq 0$ приймають $\xi_0 = 1$ і $\zeta_0 = 1$; k_2 , k_1 – відповідно, коефіцієнт фільтрації порід, що складають вікно, та основного водоносного шару, м/доб; f'_k, f''_k і f'_{k_2}, f''_{k_2} – безрозмірні складові опору на недосконалість смугоподібного літологічного вікна відповідної потужності $m = m_1 + m_2$ та $m_2 = m_e + h_e$, м; m_e – потужність порід на ділянці літологічного вікна, м; B_k – ширина (розкритість) вікна, м.

Наведені залежності можна використовувати при розміщенні водозаборів на відстані $L \geq 2m_e$ до джерела живлення.

Для широких лінійних джерел $B_k \geq 2m_e$ вважають $\Delta L'' \approx 0$, а опір $\Delta L'$ розраховують за спрощеними формулами.

Наближено ці опори можна знайти за такими залежностями [1, 3]:

$$\text{при } \frac{k_1}{k_2} \geq 10 \quad \Delta L = \Delta L' = \sqrt{\frac{k_1 m_1 m_e}{k_2}}; \quad (5)$$

$$\text{при } 1 < \frac{k_1}{k_2} < 10 \quad \Delta L = 0,5 \left(m_1 + m_e \sqrt{\frac{k_1}{k_2}} \right); \quad (6)$$

$$\text{при } \frac{k_1}{k_2} \leq 1 \quad \Delta L = 0,5 \left(m_e + m_1 \frac{k_1}{k_2} \right). \quad (7)$$

Формула для визначення питомого (чи погонного) притоку до лінійного (нескінченного) ряду свердловин, розміщеного паралельно до лінійного джерела живлення (рис.1), м²/доб, має вигляд:

$$q = \frac{Q}{\sigma} = \frac{TS}{L + \Delta L + \Phi_p}. \quad (8)$$

Тут Q – витрата однієї свердловини ряду, м³/добу; σ – відстань між свердловинами ряду, м; T – середня провідність водоносної товщі, у випадку, наведеному на рис.1, $T \approx k_2 m_2 + k_1 m_1$, м²/доб; Φ_p – фільтраційний опір лінійного ряду недосконалих свердловин, м, для двошарового й однорідного складу порід:

$$\Phi_p = \sigma \left(0,3661 \lg \frac{\sigma}{2\pi r_c} + \Phi \right), \quad (9)$$

де r_c – радіус свердловини, м; Φ – опір на недосконалість свердловини ряду в однорідному шарі потужністю m_1 , м; для досконалих свердловин ряду, $\Phi=0$.

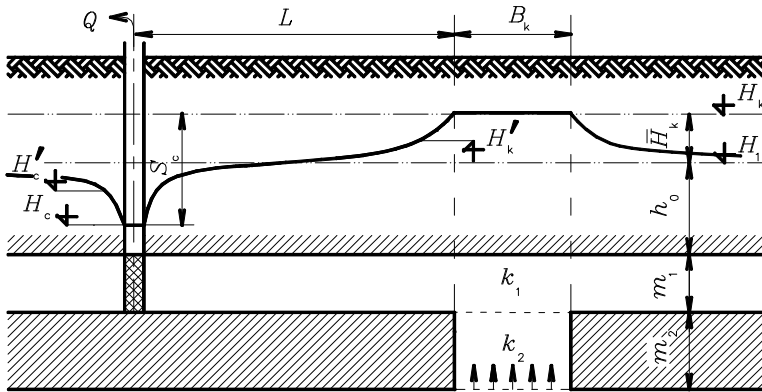


Рис.1 – Схема фільтрації до свердловини, розміщеної поблизу смугоподібного літологічного вікна (усталений режим)

Слід зауважити, що усталений режим може тривати при роботі свердловин з витратою меншою чи рівною за витрату додаткового джерела живлення $Q_c \leq Q_g$, за рахунок часткового зменшення природного розвантаження від впливу джерела живлення – інверсії розвантаження.

Тоді при постійному напорі на ділянці вікна, коли $k_1 \leq k_2$ (рис.1), ширина вікна майже не впливає на роботу свердловини, значний вплив на дебіт свердловини в усталеному режимі має значення водопровідності порід, що складають літологічне вікно [2].

Якщо дебіт свердловини буде більшим за додаткову витрату, що притікає через літологічне вікно, $Q_c > Q_g$, на ділянці вікна може відбутися відрив рівня, та додаткове живлення водозабору буде відбуватися частково і мати місце неусталений режим фільтрації, але пониження на свердловині буде меншим ніж при відсутності літологічного вікна.

Згідно з нашими теоретичними висновками [2], характеристики вікна (ширина, коефіцієнт фільтрації та ін.) будуть впливати на вели-

чину додаткового живлення водозаборів в неусталеному режимі фільтрації.

Для перевірки даного припущення використаємо результати моделювання [4], в якому досліджувався вплив недосконалої річки на дебіт ряду свердловин великої довжини, що працює з постійною витратою.

Рішення задачі для симетричної схеми фільтрації, у нашому випадку (рис.2), записане для питомої витрати ряду свердловин q , м²/доб, має вигляд [4]:

$$q = \frac{Q}{\sigma} = \frac{Sk_1 m_1}{L(R_1 + R_2)}, \quad (10)$$

де

$$R_1 = \frac{\sqrt{a_1 t}}{L} \left[ierfc \left(\frac{|L-x|}{2\sqrt{a_1 t}} \right) - ierfc \left(\frac{L+x}{2\sqrt{a_1 t}} \right) \right]; \quad (11)$$

$$R_2 = \frac{1}{\alpha L} \left[erfc \left(\frac{L+x}{2\sqrt{a_1 t}} \right) - e^{\alpha(L+x) + \alpha^2 a_1 t} erfc \left(\frac{\alpha a_1 t}{L} + \frac{L+x}{2\sqrt{a_1 t}} \right) \right]. \quad (12)$$

Тут x – координата точки області фільтрації, м; t – тривалість експлуатації, дб; a_1 – п'єзопровідність основного водоносного шару, м²/доб, потужністю m_1 , м; $\alpha = 1/\Delta L$, ΔL – опір, що враховує недосконалість джерела, визначається з (1)-(7).

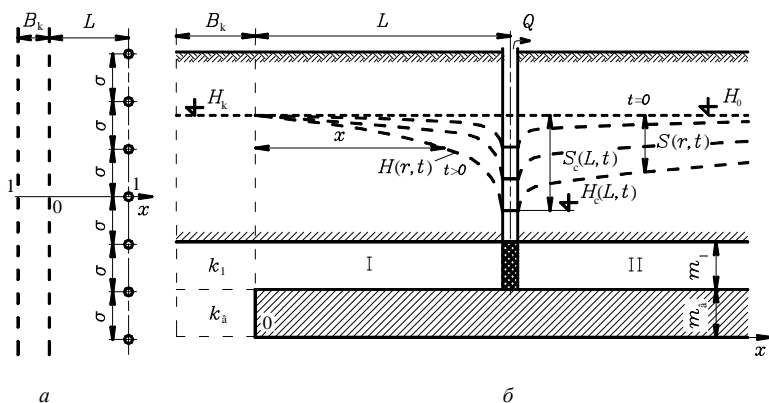


Рис.2 – Схема фільтрації до ряду свердловин розміщених поблизу прямокутного джерела при $Q = const$:

a – план; b – розріз 1-1.

Функція R_1 (формула (11)) враховує основний гідравлічний опір при роботі лінійного водозабору поблизу з досконалим джерелом живлення.

Функція R_2 у виразі (12) – це додатковий гідравлічний опір, обумовлений недосконалістю джерела живлення (закарстованістю, закальматованістю, неоднорідністю чи розмитістю).

Для визначення середнього зниження на лінії свердловин $S_c(L, t)$ у формулах (11) і (12) слід прийняти $x = L$.

При наявності на ділянці літологічного вікна порід з коефіцієнтом фільтрації $k_2 < k_1$ опір на межі часу ($t \rightarrow \infty$) збільшиться на величину $\frac{1}{\alpha L}$, яка не залежить від часу, тоді для визначення зниження S буде мати:

$$\text{при } x < L \quad S = \frac{q(x+L)}{k_1 m_1}; \quad (13)$$

$$\text{при } x \geq L \quad S = \frac{q(L+\Delta L)}{k_1 m_1}. \quad (14)$$

При відсутності джерела живлення, тобто для необмеженого водоносного горизонту ($B_k=0$), на межі ряду свердловин середнє зниження рівня визначається залежністю

$$S = \frac{q}{k_1 m_1} \sqrt{\frac{a_1 t}{\pi}}. \quad (15)$$

Для визначення зниження безпосередньо на лінії досконалих чи недосконалих свердловин потрібно до пониження, отриманого за формулами (13)-(15) при $x = L$, додати величину

$$\Delta S = \frac{Q}{\sigma k_1 m_1} \Phi_p, \quad (16)$$

де Φ_p визначається з (9).

У випадку роботи ряду свердловин радіусу $r_c=0,1$ м, розміщених на відстані $L=250$ м від смугоподібного джерела (рис.2), з характеристиками $k_2=1,0$ м²/доб; $m_g=10$ м і різній його ширині $B_k=0; 5; 10; 25; 50; 100$ м, неоднорідність складу порід вікна та його ширину враховуємо за формулами (1)-(7), параметрах основного шару $k_1=5$ м²/доб, $m_1=15$ м, $a_1=2500$ м²/доб, пониженні на свердловинах $S = S(L, t)=5$ м,

на термін $t=200$ діб, виконані розрахунки витрат q , м²/доб, за залежностями (10)-(12), коли $x = L$, розрахунки зведено до табл.1.

Таблиця 1

Витрата q , м ² /доб, при B_k , м					
0	5	10	25	50	> 100
0,94	1,56	1,62	1,68	1,70	1,72

Аналіз табл.1 підтверджує сформульовані нами висновки, а саме: внаслідок роботи водозаборів, у початковий період часу, ширина джерела (літологічного вікна) B_k може впливати на продуктивність водозаборів, проте протягом часу цей вплив буде незначним.

Вплив літологічного вікна на зниження рівня на свердловині протягом часу можна показати порівнявши їх з аналогічним зниженням, визначеним у випадку відсутності вікна.

До табл.2 зведено розрахунки понижень на свердловині при $q=1,5$ м²/доб, ширині вікна $B_k=2,5$ м (оскільки $B_k/m_e = 0,25 < 0,5$, то $\Delta L \approx \Delta L''$, опір ΔL визначаємо за формулою (1)), на час $t=50; 100; 200; 400; 600$ діб; інші вихідні дані взяті з попередніх розрахунків.

Таблиця 2

	Зниження S , м, при t , діб				
	50	100	200	400	600
За формулою (10)	3,63	4,52	4,94	5,62	5,84
За формулою (15)	3,99	5,64	7,98	11,28	13,82

Таким чином, урахування опору вікна при розрахунках водозабірних свердловин є важливою інженерною задачею.

Розглянутий метод розрахунку лінійного ряду досконалих чи недосконалих свердловин поблизу з смугоподібним вікном враховує недосконалість джерела зосередженого живлення в усталеному та неусталеному режимах фільтрації при постійному напорі на межі вікна.

Вплив літологічного вікна на продуктивність підземних водозаборів, за аналогією до розосередженого додаткового живлення, можна вважати задовільним при $k_2/m_e > 0,005$.

1.Проектирование водозаборов подземных вод / Под ред. Ф.М.Бочевера. – М.: Стройиздат, 1976. – 292 с.

2.Пікуль Ю.М. Підземні водозабори в умовах зосередженого живлення // Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки: Наук.-техн. зб. Вип.11. – К.: КНУБА, 2009. – С.29-34.

3.Олейник А.Я. Фильтрационные расчеты вертикального дренажа. – К.: Наук. думка, 1978. – 202 с.

4.Шестаков В.М., Пашковский И.С., Сойфер А.М. Гидрогеологические исследования на орошаемых территориях. – М.: Недра, 1982. – 244 с.

Отримано 11.01.2010

УДК 628.345

М.В.СОЛОДОВНИК

Харьковская национальная академия городского хозяйства

РЕАГЕНТНЫЙ МЕТОД ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ПОЛИГОНОВ ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ

Анализируется причинно-следственная связь сложившейся нестабильной экологической обстановки вследствие неконтролируемого накопления твердых бытовых отходов. Указаны основные негативные факторы эксплуатации полигонов, в частности образование фильтрата, проанализирована эффективность применения различных методов очистки, а также их сочетание, предложен эффективный и экономичный способ его очистки.

Аналізується причинно-наслідковий зв'язок нестабільної екологічної ситуації внаслідок неконтрольованого нагромадження твердих побутових відходів. Вказано основні негативні фактори експлуатації полігонів, зокрема утворення фільтрату, проаналізована ефективність використання різних методів очистки, запропоновано ефективний і економічний спосіб його очищення.

In article the relationship of cause and effect of an unstable ecological situation, owing to not controllable accumulation of domestic waste is analyzed. The basic negative factors of dump operation are named, in particular formation of a lechate, efficiency application of various methods clearing, and also their combination is analyzed, the effective and economic way of its clearing is offered.

Ключевые слова: твердые бытовые отходы, фильтрат, ацетогенез, метаногенез, реагентная очистка, активированный раствор коагулянта.

Нестабильная экологическая ситуация, связанная с проблемой отхоодообращения в некоторых городах страны, обострила социальный вопрос, что заставило местную и центральную власть обратить внимание на проблему утилизации твердых бытовых отходов (ТБО).

Таким образом, в настоящее время назрела необходимость разработки и внедрения экологически и экономически безопасных технологий и оборудования для обезвреживания и переработки огромного количества бытовых и промышленных отходов, а также их производных – фильтрата и биогаза, образующихся в результате разложения отходов. Именно влияние фильтрата на поверхностные, и в большей мере на подземные воды является основным фактором негативного воздействия полигона.

Таким образом, основной задачей представленной работы является обоснование выбора оптимального метода, обеспечивающего мак-