

Е.Г. Сапожников, Анорну Квами Джофрей (БНТУ)

**РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО
МЕСТОРАСПОЛОЖЕНИЯ ДРЕНАЖНОЙ СКВАЖИНЫ
ДЛЯ ПЕРЕХВАТА ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ СТОКОВ,
ПРОФИЛЬТРОВАВШИХСЯ ИЗ ХРАНИЛИЩА
(ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ)**

В комплекс действующих и строящихся промышленных предприятий почти всегда входят искусственные водоемы, из которых происходит фильтрация в подземные воды. К таким водоемам относятся хранилища промышленных стоков, накопители, пруды и бассейны, и т. д. Размеры этих сооружений нередко бывают весьма значительными (до нескольких десятков и даже сотен гектаров) и в них постоянно или периодически поступает большое количество использованных в технологическом процессе так называемых "отработанных" или "сточных" вод. Эти воды, как правило, являются непригодными для хозяйственно-питьевых нужд из-за повышенной общей минерализации или содержания в них вредных химических веществ.

Таким образом, указанные промышленные водоемы представляют собой потенциальные очаги загрязнения подземных вод.

Задача прогноза возможной фильтрации и динамики распространения сточных вод в водоносных пластах и разработка мероприятий по защите подземных вод от загрязнения представляется в настоящее время одной из важнейших в гидрогеологии, поскольку количество промышленных бассейнов и хранилищ постоянно возрастает, а подземные воды получают все более широкое использование как источник хозяйственно-питьевого водоснабжения.

Решение поставленной задачи при условии, что эффективная мощность пласта постоянна, сводится к интегрированию дифференциального уравнения (рисунок 1) [1, 2, 5]

$$\frac{T\partial}{r\partial r} \left(r \frac{\partial S}{\partial r} \right) = q \quad (1)$$

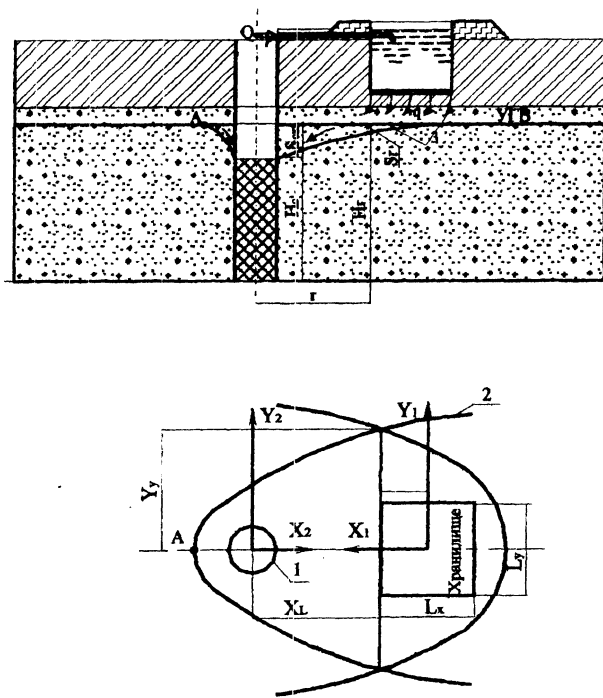


Рисунок 1 – Схема для оценки области захвата дренажной скважиной
 1 - дренажная скважина; 2 - разделяющая (нейтральная) линия тока;
 3 - депрессионная воронка в потоке; А - водораздельная точка;
 $Q_{скв}$ - дебит скважины; q - интенсивность фильтрации из хранилища;
 S_c, S_r - понижение напоров в скважине и на расстоянии r м от нее

при следующих условиях,

$$\begin{cases} S|_{r=L} = 0 \\ 2\pi r T \frac{S}{r} \Big|_{r \rightarrow 0} = -Q_{скв} \geq qL_x L_y, \end{cases} \quad (2)$$

где r – расстояние от скважины до места (точки) определения понижения напора, м; T – водопроницаемость, $T = M \cdot Kф$, м²/сут; S – пони-

жение напора в области влияния скважины, м; M – мощность пласта, м; q – интенсивность фильтрации через экран, $\text{м}^3/\text{сут}/\text{м}^2$;

$Q_{\text{скв}}$ – дебит дренажной скважины, $\text{м}^3/\text{сут}$; $L \geq \sqrt{\frac{L_x}{L_y}}$ – эффективные

поперечные размеры хранилища.

После интегрирования уравнения (1) и постановки условия (2), получим понижение напоров в любой точке зон влияния скважины

$$S_r = \frac{q(r^2 - L^2)}{4T} + \left(\frac{Q_{\text{скв}}}{2\pi T} + \frac{qr_{\text{скв}}^2}{2T} \right) \cdot \ln \frac{L}{r}. \quad (3)$$

Так как $r_{\text{скв}} \ll L$, то значение S_r можно представить в следующем виде:

$$S_r = \frac{Q_{\text{скв}}}{2\pi T} \ln \frac{L}{r} - \frac{qL^2}{4T}. \quad (4)$$

Понижение напора на фильтре скважины находим по формуле

$$S_{\text{скв}}|_{r=r_{\text{скв}}} = \frac{Q_{\text{скв}}}{2\pi T} \left(\ln \frac{L}{r_{\text{скв}}} + \zeta \right) - \frac{qL^2}{4T}, \quad (5)$$

где $r_{\text{скв}}$ – радиус скважины, м; ζ – дополнительное сопротивление, учитывающее фильтрационное несовершенство скважины.

Область захвата дренажной скважины определяется такой областью общего фильтрационного потока, в которой линии тока направлены непосредственно к эксплуатационной скважине. В гидродинамическом отношении она четко ограничивается так называемой нейтральной линией. Фильтрационный поток между нейтральной линией и скважиной будет непосредственно направлен к дренажной скважине, а за пределами нейтральной линии поток как бы проскакивает, минуя скважину.

Аналитическое построение линий тока может производиться с использованием известных уравнений Коши-Римана [2, 4],

$$\frac{\partial y}{\partial x} = \frac{\partial \bar{\psi}}{\partial y}, \quad \frac{\partial H}{\partial y} = -\frac{\partial \bar{\psi}}{\partial x}, \quad \bar{\psi} = \psi/T, \quad (6)$$

где $\bar{\psi}$ - приведенная функция тока, которая на каждой линии тока имеет постоянное значение.

Интегрируя первое из уравнений Коши-Римана (6), получим выражение для приведенной функции тока,

$$\bar{\psi} = \int \frac{dH}{dx} dy + C = Iy + \frac{Q_{скв}}{2\pi T} \operatorname{arctg} \frac{y}{x} + C. \quad (7)$$

Считая режим квазистационарным, получаем:

$$\frac{dH}{dy} = I + \frac{Q_{скв}}{2\pi T} \left(\frac{x}{x^2 + y^2} \right). \quad (8)$$

Задавая нулевое значение $\bar{\psi}$ на линии тока, совпадающей с положительной осью X , где $y = 0$ и $\operatorname{arctg}(y/x) = 0$, получим произвольную постоянную $C = 0$.

Поскольку между нейтральной линией и положительной осью X (линией $\bar{\psi} = 0$), вследствие симметрии потока проходит расход $0,5Q_{скв}$ то на нейтральной линии $\bar{\psi} = Q/2T$.

Подставляя значение $\bar{\psi}$ в (7), получим уравнение нейтральной линии тока:

$$\frac{Q_{скв}}{2T} = Iy + \frac{Q_{скв}}{2\pi T} \operatorname{arctg} \frac{y}{x}, \quad (9)$$

где T – водопроводимость пласта основания хранилища, $\text{м}^2/\text{сут}$; I – естественный уклон потока; x, y – координаты по оси X и Y соответственно.

Обозначим расстояние от скважины до хранилища как X_L , и соответствующие координаты по оси Y как Y_L , где $2Y_L$ – ширина фронта загрязнения на расстоянии X_L от скважины (рисунок 1).

Ширина фронта загрязненной жидкости на расстоянии X_L от дренажной скважины определяется параметрами и условиями расщекания инфильтрационных вод из хранилища, т. е. при инфильтрационном расходе Q_6 определяется половина ширины фронта загрязнения Y_L по уравнению раздельной линии, формировавшейся хранилищем.

Наконец, для того чтобы раздельная линия тока дренажной скважины дебитом $Q_{\text{скв}}$ проходила через точку с координатами (X_L, Y_L) , она должна быть расположена на расстоянии X_L от хранилища, которое определяется по зависимости (10), полученной в результате решения (9) относительно X_L , т. е.

$$x = \frac{L_{\max}}{\operatorname{tg} \pi \left(1 - \frac{2TIL_{\max}}{Q_{\text{скв}}} \right)}, \quad (10)$$

при этом $2TIL_{\max} < Q_{\text{скв}} \leq 4TIL_{\max}$

$$L_{\max} \geq \max \left| \frac{2Y_L}{L_y} \right|. \quad (11)$$

Используя полученные выше зависимости, можно получить оптимальные расстояния от хранилища до дренажной скважины, например по минимуму приведенных затрат [3].

$$\Pi = \Pi_0 + \Pi_s S_{\text{ср}} + \Pi_c + \Pi_B L_B + \mathcal{E}_0. \quad (12)$$

При этом основным требованием является недопущение загрязнения подземных вод профильтровавшимися стоками. Для конкретного объекта (хранилища промышленные стоков) определяются

оптимальные расход дренажной скважины и ее расстояние до хранилища (рисунок 1).

Пример расчета. Инфильтрационные утечки из хранилища промышленных отходов размером $50 \times 50 \text{ м}^2$ (рисунок 1) составляют $150 \text{ м}^3/\text{сут}$. Требуется спроектировать дренажную скважину диаметром 150 мм, чтобы предотвратить загрязнение подземных вод в результате утечек стоков. Водоносный пласт характеризуется следующими показателями: коэффициент фильтрации грунта основания $K = 12 \text{ м/сут}$; мощность пласта $M = 25 \text{ м}$, уклон естественного потока $I = 0,001$. В основании водоносного горизонта залегают глины, служащие водоупором. Сверху пласт перекрыт песчано-суглинистым слоем 4,5 м. Статический уровень располагается на отметке $H_c = 5,5 \text{ м}$ от поверхности земли. Разность отметок воды в хранилище и статического уровня подземных вод в дренажной скважине составляет 6,5 м.

Стоимость сооружения и оборудования одной скважины $K = 20 \text{ млн. руб}$; стоимость электроэнергии $\sigma \cong 0,871 \text{ тыс. руб/кВтч}$; КПД водоподъемного оборудования $\eta \cong 0,6$.

Оптимальное решение этой задачи сводится определению минимума приведенных затрат Π_{\min} при расположении дренажной скважины на различных расстояниях от хранилища с обязательным условием полного забора всех профильтровавшихся стоков.

Расчеты ведем в следующей последовательности:

Шаг 1 - определяем методом подбора по зависимости (10) ширину шлейфа $L_{\text{загряз.}}$ (на расстоянии $L_x/2$ от центра хранилища), формирующегося в результате утечек промышленных стоков (рисунок 2):

$$\frac{150}{2 \cdot 2 \cdot 25} = 0,001 y_L + \frac{150}{2 \cdot 3,14 \cdot 225} \arctg \frac{y_L}{25}.$$

Отсюда $U_L \cong 181,5 \text{ м}$ и следовательно $L_{\text{загряз.}} = 2 U_L \cong 363,0 \text{ м}$.

В соответствии с зависимостью (11) L_{max} принимаем равным 363,0 м, так как $2U_L = 363,0 \text{ м} > L_x = 50,0 \text{ м}$.

Шаг 2 - определяем максимальный и минимальный дебиты скважины, причем $X_L \rightarrow$ при $Q_{\text{скв}} \rightarrow Q_{\text{min}} = 2TIL_{\text{max}} = 2 \cdot 12 \cdot 25 \cdot 0,001 \cdot 363 = 217, \text{ м}^3/\text{сут}$, а $X_L \rightarrow \infty$ при $Q_{\text{скв}} \rightarrow Q_{\text{min}} = 2TIL_{\text{max}} = 4 \cdot 12 \cdot 25 \cdot 0,001 \cdot 363 = 435,6 \text{ м}^3/\text{сут}$. По заданным расходам определяем понижение $S_{\text{скв}}$ воды ■

скважине по формуле (5), а ее месторасположение X_L по отношению к хранилищу по формуле (10). Результаты расчета величин $S_{скв}$ и X_L приведены в таблице 1.

Шаг 3 – по формуле (12) рассчитываются приведенные затраты, связанные с сооружением и эксплуатацией рассматриваемого варианта дренажной скважины (таблица 1).

Шаг 4 – строится график приведенных затрат в зависимости от удаления дренажной скважины до хранилища промышленных стоков (рисунок 2). По графику определяется оптимальное расстояние $x_{L_{opt}}$ между скважиной и хранилищем. В нашем примере $x_{L_{opt}} = 115 \text{ м}$.

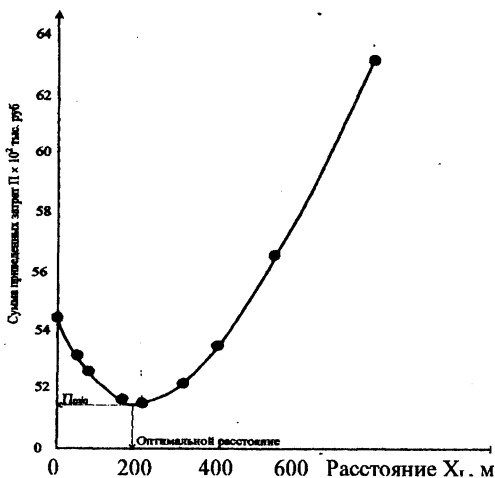


Рисунок 2 – График для выбора оптимального расстояния дренажной скважины относительно хранилища промышленных стоков

Таблица 1 – Определение оптимального месторасположения скважины для перехвата загрязняющих стоков профильтровавшихся из хранилища стоков (технико-экономический расчет)

Дебит скважины, $Q_{\text{скв}}$, $\text{м}^3/\text{сут}$	Расстояние от хранилища до скважины, X_L , мм	Понижение воды в скважине, $S_{\text{скв}}$, м^2	Приведенные затраты				Сумма приведенных затрат, Π тыс. руб.
			для подъема воды на геометрическую высоту Π_0 тыс. руб	для подъема воды на понижение уровня воды в скважине, $\Pi_{\text{в}} S_{\text{скв}}$ тыс. руб.	на сооружение и эксплуатацию водовода, $\Pi_{\text{в}} L_{\text{в}}$ тыс. руб.	на транспортировку воды в водоподъемных трубах, $\Xi_0 L_{\text{п}}$ тыс. руб.	
435,6	0	2,01	4110,25	1271,02	36,49	4,86	5417,71
415,6	27,49	1,91	3921,53	1152,33	234,36	4,17	5308,22
395,6	58,14	1,81	3732,82	1039,45	450,52	3,55	5222,79
375,6	93,05	1,70	3544,10	926,92	692,75	3,00	5163,77
355,6	133,90	1,61	3355,38	831,10	972,63	2,51	5159,11
335,6	183,50	1,51	3166,67	735,64	1309,36	2,08	5211,79
315,6	246,88	1,42	2977,95	650,57	1737,05	1,71	5365,57
295,6	334,09	1,32	2789,23	566,43	2323,59	1,38	5679,35
275,6	468,81	1,22	2600,52	488,10	3228,57	1,10	6317,19

ЛИТЕРАТУРА

1. Абрамов, С.К., Алексеев, И.С. Забор воды из подземного источника. – М.: Колос, 1980. – 340 с.
2. Полубаринова-Кочина, П.Я. Теория движения грунтовых вод. – Изд. 2-е, главная редакция физико-математической литературы. – М.: Наука, 1977. – 664 с.
3. Пособие по проектированию сооружений для забора подземных вод (к СНиП 2.04.02-84) / ВНИИ ВОДГЕО Госстроя СССР. М.: Стройиздат, 1989. – 272 с.
4. Шестаков, В.М. Динамика подземных вод. – 2-е изд. – М.: Изд-во МГУ, 1979. – 367 с.
5. Ground water pollution and conservation “Environmental. Sc. and Technology.” 1972, 6, № 2, 213 – 225.

УДК 627.8.065

М.Е. Минчукова, Г.Г. Круглов (БНТУ)

ПОЛИМЕРНЫЕ ГИДРОИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ: СВОЙСТВА И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Обеспечение экологической безопасности гидротехнических сооружений различных систем является основным условием при их эксплуатации.

В комплекс гидротехнических, водоохраных и очистных объектов, как правило, входят защитные дамбы, отстойники и накопители, промышленные бассейны, которые должны быть оборудованы противодиффузионными экранами, препятствующими проникновению воды и вредных веществ в нижележащие горизонты.

Устройство экранов из геосинтетических материалов нового поколения является наиболее современным техническим решением гидроизоляции сооружений. Практическая водонепроницаемость и высокая стойкость пленок полимерных материалов к воздействию агрессивных жидкостей позволяют обеспечить высокую надежность сооружений [1].