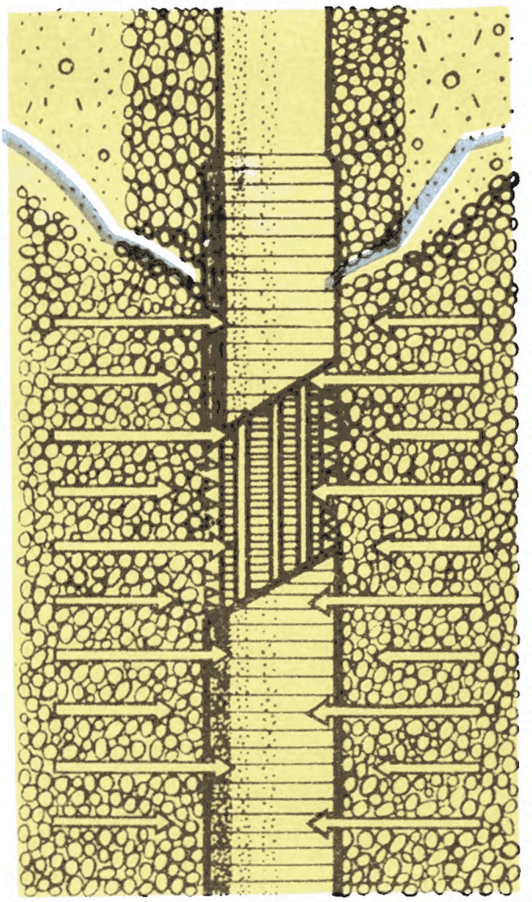


Методические рекомендации по оценке гидравлических параметров фильтров, применяемых при сооружении дренажных скважин

gost.e-ecolog.ru

Белгород 1982

МИНИСТЕРСТВО ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ СССР

Управление горного производства

Всесоюзный научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт по осушению месторождений полезных ископаемых, специальным горным работам, рудничной геологии и маркшейдерскому делу

В И О Г Е М

УТВЕРЖДАЮ:

Директор института

И.Ф.Оксанич

13 сентября 1982 г.

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОЦЕНКЕ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ФИЛЬТРОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ПРИ СООРУЖЕНИИ ДРЕНАЖНЫХ СКВАЖИН

Белгород 1982

УДК 622.464:622.24

В работе изложена методика оценки гидравлических параметров фильтров в лабораторных и полевых условиях. Основу предлагаемой методики составляет определение коэффициента водопроницаемости фильтра на стендовой установке и коэффициента его старения в процессе эксплуатации дренажных скважин. Приводится сравнительная характеристика различных конструкций фильтров, даны рекомендации по их применению в производственных условиях.

Настоящие рекомендации предназначены для производственных и проектных организаций, могут быть использованы при оценке новых конструкций фильтров, решении задач осушения месторождений полезных ископаемых, сооружении водозаборных скважин.

Работа составлена по результатам исследований, выполненных в институтах ВОДГЕО и ВИОГЕМ, канд.техн.наук В.С.Алексеевым и инженером Ю.И.Волковым. Утверждена на секции ИТС осушения и гидротехники института ВИОГЕМ 6 июля 1982 г. в качестве методических рекомендаций.

©Всесоюзный научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт по осушению месторождений полезных ископаемых, специальным горным работам, рудничной геологии и маркшейдерскому делу (ВИОГЕМ), 1982.

ВВЕДЕНИЕ

Разнообразие предлагаемых типов и конструкций фильтров, рекомендуемых для промышленного внедрения, и назревшая необходимость разработки типовых конструкций водоприемной части дренажных устройств требуют выработки объективных критериев, которые позволили бы при сложной форме входных отверстий фильтра и различных сочетаниях каркаса и водоприемной поверхности сделать вывод об их гидравлических характеристиках. В соответствии с основными параметрами, определяющими гидравлику фильтров, имеющиеся предложения базируются на конструктивных особенностях фильтров или специфике эксплуатации скважин. Для характеристики фильтров применялись такие геометрические параметры как скважность, размер и расположение отверстий. Теоретическое обоснование для фильтров-каркасов (перфорированная труба, стержневой каркас) эти параметры получили при аналитическом рассмотрении задачи о притоке жидкости к фильтру, когда в расчетные зависимости вводилось сопротивление фильтра $\zeta_{2\Phi}$, зависящее от скважности, формы, числа и размеров отверстий [4]. На основе полученных решений и вытекающих из них результатов, были даны общие рекомендации по применению фильтров, состоящих из одного каркаса. Суть их сводилась к преимущественному использованию фильтров с горизонтальными щелями, имеющих меньшие сопротивления и интерференцию отверстий.

Учет только геометрических особенностей фильтров-каркасов не позволяет решить вопрос о предпочтительности той или иной конструкции. Это связано с тем, что скважность фильтра весьма приближенно определяется для отверстий сложной формы и при наличии нескольких фильтрующих поверхностей. При этом скважность вообще неопределима при контакте фильтра с породами водоносного горизонта, ее величина не позволяет также учесть конструктивные особенности фильтра при гидродинамических расчетах и сравнивать гидравлические параметры фильтра с таковыми для дренируемых пород, а для дренажных устройств и длительно эксплуатирующихся водозаборных сооружений оказывается важной оценка устойчивости их действия во времени.

В рекомендациях исходя из предпосылки выбора наиболее показательных параметров для характеристики фильтров скважин дана методика их оценки в лабораторных и полевых условиях, приведены сравнительные данные по конструкциям фильтров, применяемых при сооружении дренажных скважин.

Рекомендации составлены по результатам работ, проведенных в институтах ВОДГЕО и ВИОГЕМ, и апробированы на большом фактическом материале.

I. ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ФИЛЬТРОВ СКВАЖИН

I.I. Эффективность действия фильтров скважин на воду однозначно определяется начальными гидравлическими параметрами и интенсивностью их изменения во времени вследствие развития кольматационных процессов.

I.2. Гидравлические параметры фильтров следует определять как функцию гидравлики собственно фильтра-каркаса, дополнительной водоприемной поверхности и особенностей взаимодействия этих элементов фильтров с водоносной породой. В качестве таких параметров используются удельный дебит скважины, показатель обобщенного сопротивления фильтра, комплексный параметр, связывающий скважность и коэффициент расхода фильтра, коэффициент водопроницаемости фильтра, а также комбинации этих параметров.

I.3. Применение удельного дебита скважин в качестве показателя гидравлической характеристики фильтра возможно только для ориентировочной оценки. Сравнительные исследования в пределах одного опытного участка фильтров различных конструкций предпочтительнее производить при близкой величине понижения уровня в ходе опытной откачки или при различных понижениях уровня по известной индикаторной кривой. В общем же случае следует иметь в виду, что удельный дебит является комплексной характеристикой фильтрационных свойств водоносного пласта, особенностей его вскрытия, освоения и собственно фильтра.

I.4. Показатель обобщенного сопротивления фильтра $\zeta_{2\Phi}$ – один из наиболее представительных параметров, поскольку позволяет дифференцированно оценивать гидравлические потери на фильтре и в прифильтровой зоне скважин.

Комплекс исследований, проведенных во ВНИИ ВОДГЕО, подтвердил правомерность этого вывода [II]. Лабораторные и полевые работы показали важность учета контактных потерь напора, связанных с кольматацией водоприемной поверхности. Наиболее плодотворной оказывается оценка $\zeta_{2\Phi}$ в полевых условиях как важного критерия качества работ по бурению, оборудованию и освоению скважин. В лабораторных (стендовых) условиях воспроизводимость результатов эксперимента не удовлетворяет предъявляемым требованиям из-за возможного влияния особенностей опробования на формирование контактных потерь напора.

I.5. Комплексный параметр гидравлических потерь на фильтре

$H=\mu\eta$ (μ – коэффициент расхода; η – скважность фильтра) оценивается при известном распределении потерь напора или скоростей по длине фильтра. Представительность этого параметра обусловливается также учетом контактных потерь напора и их ощутимой связью с геометрическими характеристиками фильтра. Исследования, проведенные Э.А.Грикевичем [II] , свидетельствуют о близком соответствии сопоставительных определений по фильтрам с использованием в качестве критериев $\zeta_{2\varphi}$ и $\mathcal{H}$.

I.6. Обширный комплекс исследований фильтров, выпускаемых серийно в США и ФРГ, был проведен Д.Клотцем [I2,I3] . В качестве характеристики, описывающей их гидравлические свойства, использовался коэффициент водопроницаемости K_1. Определение данного показателя позволило Д.Клотцу указать основные направления в конструировании фильтров на современном этапе, выделить наиболее перспективные их типы.

Рассматривая в целом имеющиеся предложения по определению гидравлических свойств фильтров,необходимо отметить, что методически только для простых конструкций $\zeta_{2\varphi}$определяется аналитически, во всех остальных случаях требуется проведение экспериментальных исследований, основу которых составляет оценка разности уровней воды снаружи и внутри фильтра (ΔS). Достоверно величина ΔS находится при оценке фильтров, имеющих большие величины сопротивлений (блочные фильтры, некоторые конструкции сетчатых и т.д.), для большинства же перспективных типов фильтров величина ΔS при обычных градиентах потока сравнима с точностью замеров и надежность рассчитываемых показателей резко уменьшается. Наиболее перспективной является оценка гидравлических свойств фильтров по коэффициенту водопроницаемости. Имеющиеся предпосылки свидетельствуют о достаточно надежной методике его определения, кроме того, данный показатель по своему физическому содержанию идентичен коэффициенту фильтрации, что позволяет сопоставить свойства фильтров с фильтрационными характеристиками пористой среды, в которой они устанавливаются.

2. ОЦЕНКА КОЭФФИЦИЕНТОВ ВОДОПРОНИЦАЕМОСТИ ФИЛЬТРОВ СКВАЖИН

2.I. В качестве основы для оценки водопроницаемости фильтров и методики проведения экспериментов используются исследования С.А. Коля и Н.А.Огильви по определению скорости фильтрации подземных вод по одиночной скважине прослеживанием разбавления в ней инди-

катора [14, 15] . Рабочей предпосылкой служит положение об искажении фильтрационного потока вблизи скважины вследствие наличия фильтра, причем параметр α, характеризующий степень этого искажения, однозначно связан с проницаемостью фильтра. Для скорости фильтрационного потока, определенной по интенсивности разбавления индикатора, имеем

$$V_\varphi = \frac{\pi d}{4\alpha t} \ln \frac{C_0}{C}, \qquad (1)$$

где V_φ – скорость фильтрации, см/мин; d – диаметр фильтра скважины, см; t – время, мин; C – концентрация индикатора в момент t, мг/л; C_0 – концентрация индикатора при $t = 0$, мг/л; α – коэффициент искажения фильтрационного потока.

Зависимость между α и коэффициентом водопроницаемости фильтра представляется в следующем виде [11] :

$$K_1 = \frac{K_3\left[1-\left(\frac{r_1}{r_2}\right)^2\right]}{\frac{4}{\alpha}-\left[1+\left(\frac{r_1}{r_2}\right)^2\right]}; \qquad (2)$$

$$K_1 = \frac{K_2\left[1-\left(\frac{r_1}{r_2}\right)^2+\left(\frac{r_1}{r_3}\right)^2-\left(\frac{r_2}{r_3}\right)^2\right]+K_3\left[1-\left(\frac{r_1}{r_2}\right)^2-\left(\frac{r_1}{r_3}\right)^2+\left(\frac{r_2}{r_3}\right)^2\right]}{\frac{8}{\alpha}-\left[1+\left(\frac{r_1}{r_2}\right)^2+\left(\frac{r_1}{r_3}\right)^2+\left(\frac{r_2}{r_3}\right)^2\right]-\frac{K_3}{K_2}\left[1+\left(\frac{r_1}{r_2}\right)^2-\left(\frac{r_1}{r_3}\right)^2-\left(\frac{r_2}{r_3}\right)^2\right]}. \qquad (3)$$

где K_1 – проницаемость фильтра, см/с; r_1 – внутренний радиус фильтра, см; r_2 – наружный радиус фильтра, см; K_2 – коэффициент фильтрации гравийной обсыпки, см/с; r_3 – радиус гравийной обсыпки, см; K_3 – коэффициент фильтрации пласта, см/с.

Из приведенных зависимостей видно, что существует принципиальная возможность проведения как расчета, так и экспериментов по двум схемам. Первая схема основывается на использовании формулы (2), которая применима в случае равенства проницаемостей пласта и прифильтровой зоны. Вторая – предполагает неравенство коэффициентов фильтрации пласта и прифильтровой зоны, что может быть достигнуто сооружением гравийной обсыпки. Расчет в таком случае ведется по формуле (3).

2.2. Оценка возможностей каждой схемы, а также погрешности, обусловленной характером зависимости получаемого решения от входных данных, показала [7] , что вся область исследований может быть разбита на три участка (рис.1). В пределах первого ошибка в значении α для данной конструкции фильтра соизмерима с погрешностью в найденном значении K_1. На втором участке происходит постепенный рост погрешности в искомом решении при маломеняющейся ошибке α, и на третьем участке малые погрешности входных данных

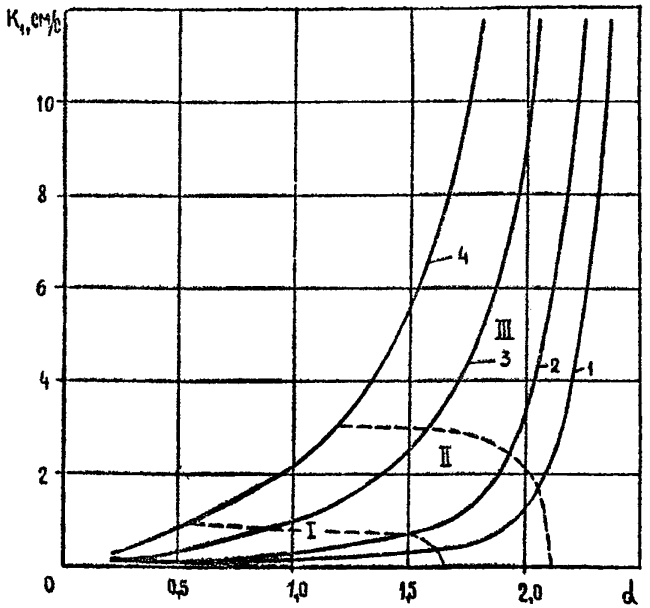


Рис.I. Изменение водопроницаемости проволочного фильтра диаметром I00 мм в зависимости от K_2 гравийной обсыпки:

I- K_2 = I,0 см/с; 2- K_2 = 2,5 см/с; 3- K_2 = 9,2 см/с; 4- K_2 = 20 см/с; I, II, III - зоны, в пределах которых существенно изменяется интенсивность роста ошибки в определении K_1.

вызывают большие ошибки в величине K_1. Из оценки погрешности следует, что проведение экспериментов по первой схеме наиболее эффективно для фильтров, обладающих низкими гидравлическими свойствами ($K_1 \leq$ 0,5 см/с). Некоторое расширение возможностей этой схемы наблюдается при значительном увеличении коэффициента фильтрации моделируемого пласта.

Использование второй схемы (с гравийной обсыпкой) более предпочтительно, так как появляется возможность не только расширения интервала исследуемых конструкций фильтров, но и более оперативного изменения его. Это достигается при постоянной проницаемости

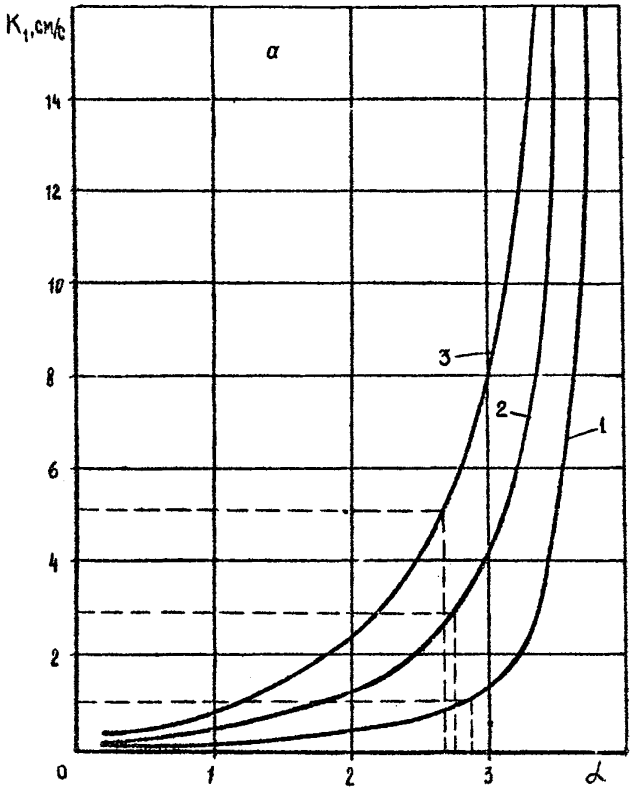
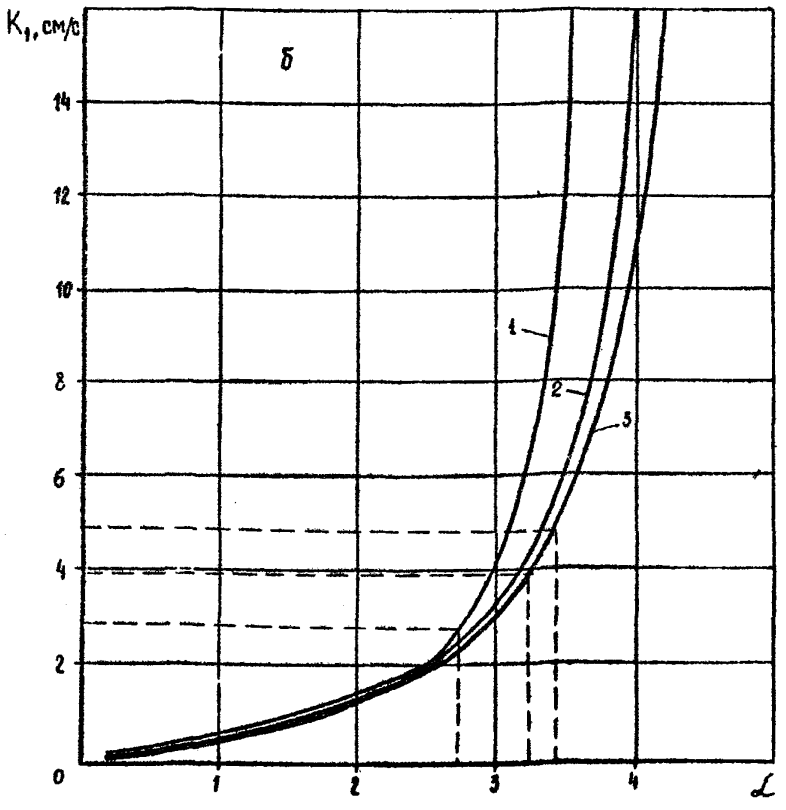


Рис.2. Изменение водопроницаемости каркасно-стержневых фильтров диаметром 110 мм:

а – в зависимости от K_2 гравийной обсыпки (r_3 = 11 см; K_3 = 0,106 см/с): 1– K_2 = 2,5 см/с; 2– K_2 = 9 см/с; 3– K_2 = =18 см/с; б – в зависимости от радиуса гравийной обсыпки (K_2 = 9,2 см/с; K_3 = 0,106 см/с): 1 – r_3 = 11 см; 2 – r_3 = =20 см; 3 – r_3 = 50 см; ———— границы раздела зон с 20 %-ной погрешностью определения K_1



пласта увеличением как коэффициента фильтрации обсыпки (рис.2,а), так и ее радиуса (рис.2,б). Комбинацией указанных величин в каждом конкретном случае можно подобрать оптимальный вариант схемы моделирования.

2.3. При постановке задачи по определению проницаемости фильтров необходимо выделение интервала изменения α, в пределах которого погрешность вычисления K_1 не превышала бы заданной величины. Для этой цели можно воспользоваться формулой [I]

$$\alpha < r \frac{1-\frac{\delta_\alpha}{\delta_к}}{1+\delta_\alpha}, \qquad (4)$$

где для первой схемы

$$F = \frac{4}{1 + \left(\frac{r_1}{r_2}\right)^2}, \qquad (5)$$

для второй схемы

$$F = \frac{8}{1 + \left(\frac{r_1}{r_2}\right)^2 + \left(\frac{r_1}{r_3}\right)^2 + \left(\frac{r_2}{r_3}\right)^2 + \frac{K_3}{K_2}\left[1 + \left(\frac{r_1}{r_2}\right)^2 - \left(\frac{r_1}{r_3}\right)^2 + \left(\frac{r_2}{r_3}\right)^2\right]}, \qquad (6)$$

δ_α – относительная ошибка α; δ_K – относительная ошибка K_1.

На рис.2 приведены интервалы изменения α и K_1 для второй схемы при заданных погрешностях – 5% в определении α и 20% в определении коэффициента водопроницаемости фильтра. Увеличение коэффициента фильтрации применяемой обсыпки в 7 раз при ее радиусе 110 мм позволяет изменить диапазон исследуемых фильтров до значений K_1 = =5,2 см/с.Изменение радиуса гравийной обсыпки также расширяет пределы возможного определения коэффициента водопроницаемости: так, при K_2= 9,2 см/с и r_3 = 11 см можно исследовать фильтры с $K_1 <$ < 3 см/с,а при увеличении r_3 до 50 см с $K_1 < 5$ см/с.

Проведение расчетов по формуле (4) позволяет сократить время исследований, хотя в общем случае для этого необходимо также априорное задание возможных пределов изменения коэффициента проницаемости исследуемого фильтра. Основываясь на этих расчетах и примерном значении K_1 фильтра, выбирают состав и радиус гравийной обсыпки.

2.4. Лабораторная установка или производственный стенд для оценки коэффициента водопроницаемости фильтра представляют собой фильтрационный лоток с устройствами для задания граничных условий и определения концентрации запускаемого индикатора (рис.3). Лоток двумя перегородками разбит на три камеры: питания, разгрузки и рабочую. Рабочая камера заполняется крупнозернистым песком. В ней устанавливается исследуемый фильтр, выполняется гравийная обсыпка. Устройством, состоящим из переливного бачка и подсоединительных шлангов, осуществляется подача воды в камеру питания,и изменением напора задается различная скорость фильтрации. Градиент фильтрационного потока регулируется также высотой выхода воды в камере дренажа, для чего имеются соответствующие отверстия.

2.5. Измерение концентрации индикатора, в качестве которого можно использовать раствор хлористого натрия осуществляется с помощью резистивиметра ПР-I, снабженного специальным датчиком. Конст -

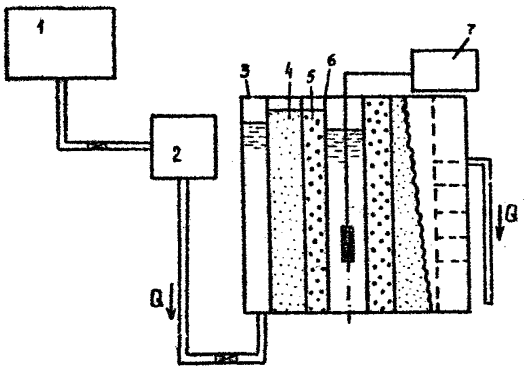


Рис.3. Схема установки для оценки гидравлических свойств фильтров:

I – водонапорный бак; 2 – устройство для задания граничных условий; 3 – фильтрационный лоток; 4 – водоносный пласт; 5 – гравийная обсыпка; 6 –фильтр; 7 – измерительное устройство

рукция датчика' (рис.4)представляет собой перфорированную эбонитовую трубку 9 с вмонтированными оловянными электродами IO. К электродам присоединяются провода 7, которые в пределах эбонитовой трубки укладываются в паз 8 и заливаются эпоксидной смолой. Трубка с электродами навинчивается на деревянный держатель 2 , на втором конце которого имеется хомут I для крепления к фильтру. Провода маркируются в соответствии с номерами электродов и в таком порядке присоединяются к измерительным контактам на передней панели резистивиметра, нумерация которых производится по вертикали.

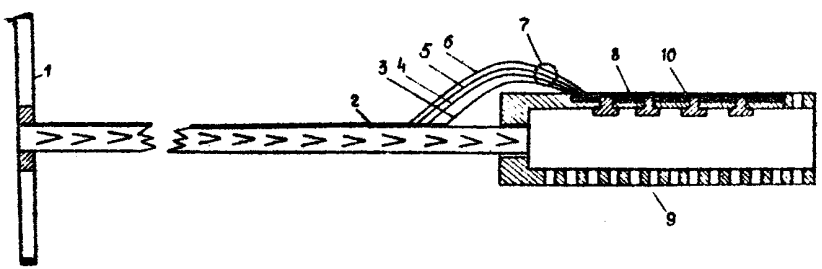


Рис.4. Измерительный датчик. 3,4,5,6 – маркирующие номера проводов

2.6. Тарировка датчика выполняется на стандартных растворах хлористого натрия,по ее результатам строится графическая зависимость сопротивления от концентрации раствора в пересчете на содержание

иона Cl^-. Предварительно титрованием определяется количество хлора в воде, используемой для опытов.

2.7. Методически проведение экспериментов начинается с примерного задания K_1 исследуемого образца фильтра и выбора расчетной схемы. Как уже указывалось, наиболее приемлемой является схема с наличием гравийной обсыпки. Расчетами по формуле (4) при заданных характеристиках песка и погрешностях в оценке K_1 и α находятся параметры экспериментальной установки. Как показали опыты, наиболее предпочтительной является загрузка лотка крупнозернистым песком размером частиц 0,5–I,5 мм (коэффициент фильтрации порядка 0,I см/с). В центре лотка устанавливается фильтр исследуемой конструкции и в зоне с расчетным радиусом r_3 концентрично фильтру создается гравийная обсыпка. Рекомендуются следующие составы обсыпок: размер зерен 2–3 мм ($K_2 \sim$ ~2,5 см/с),5–6 мм ($K_2 \sim$9,5 см/с), 7–I0 мм ($K_2 \sim$ I6,5 см/с). Затем заданием граничных условий моделируется поток с определенной скоростью фильтрации. Предварительно производится оценка верхней границы применимости закона Дарси по методике,изложенной в работе [I7]. Для указанного состава песка величина критической скорости фильтрации

находится в пределах ~0,3 см/с, с учетом этого положения в опытах принимается $V_ф < V_{кр}$. После стабилизации расхода при заданной скорости фильтрации ($V_ф$) производится запуск индикатора в фильтр. Первоначальная концентрация индикатора рассчитывается исходя из объема воды в фильтре и не должна превышать I,5 г/л. Изменение концентрации индикатора фиксируется по уменьшению электропроводности раствора, замеры производятся при непрерывном помешивании с интервалом 2–5 мин. Суммарное время прослеживания за концентрацией индикатора не превышает 40–60 мин.

2.8. Обработка опытных данных производится следующим образом:

осуществляется построение графика зависимости $\ln \frac{C_0}{C}$ от t и расчет по прямолинейному участку величины α;

рассчитывается с использованием зависимостей (2), (3) коэффициент водопроницаемости фильтра;

вычисляется коэффициент сопротивления T по зависимостям (7),(8) и производится построение графика T от $\frac{r_н}{r_2}$;

по известным геометрическим характеристикам фильтра и построенному графику $T = f(\frac{r_н}{r_2})$ рассчитываются значения K_1 для фильтров данного типа без проведения опытных работ.

2.9. Интерпретация результатов экспериментов показала, что опытные данные в координатах $\ln \frac{C_0}{C}$ и t не сразу аппроксимируются прямой

линией. На графике обычно отмечается точка перегиба, причем на начальном участке изменение концентрации происходит с большей интенсивностью (рис.5). Особенно четко такой участок выражен в опытах с крупнозернистыми обсыпками, уменьшение же диаметра зерен обсыпки заметно сокращает его величину по времени. С увеличением скорости фильтрации перегиб на графике выражается менее резко, и выше определенной скорости фильтрации он становится практически незаметным в наблюдаемых интервалах времени (см.рис.5, линия 4). Такой характер

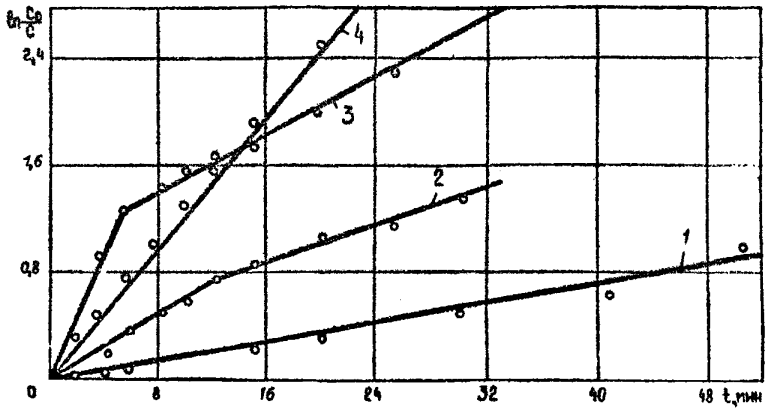


Рис.5. Изменение концентрации индикатора в фильтре по экспериментальным данным:

I – трубофильтр из пористого бетона; 2 – каркасно-стержневой фильтр ($V_ф < 4 \cdot 10^{-3}$ см/с); 3 – проволочный фильтр ($V_ф < 4 \cdot 10^{-3}$ см/с); 4 – каркасно-стержневой фильтр ($V_ф > 4 \cdot 10^{-3}$ см/с)

зависимости концентрации от времени, видимо, обусловлен тем, что в начале опыта наблюдается усиленная диффузия растворенного вещества за счет разницы удельных весов и концентрации растворов в порах породы и внутри фильтра. Увеличение размера пор обсыпки создает благоприятные условия для конвекции и дисперсии, увеличение же скорости фильтрации приводит к вуалированию физико-химических процессов конвективным переносом вещества, обусловленным общим градиентом потока.

Следовательно, при оценке водопроницаемости фильтров по начальному участку необходимо учитывать процессы диффузии и весовой конвекции, в противном случае получаются завышенные значения $K_ф$. Поскольку

ку зависимость (I) получена при пренебрежении диффузией индикатора из опытной скважины, во всех экспериментах, когда получается точка излома на графике $\ln \frac{C_0}{C} = f(t)$, для расчетов берется второй участок. Расчеты коэффициентов проницаемости фильтров по формулам (2) или (3) обычно не вызывают затруднений.

2.IO. Полученные экспериментальным путем величины K_1 в дальнейшем используются для оценки сопротивления фильтров. Основой для этого служит взаимосвязь между проницаемостью фильтра и его геометрическими параметрами. Для проволочных и каркасно-стержневых конструкций эта зависимость имеет вид [II]

$$K_1 = A \frac{h\, r_н^2}{S T}, \tag{7}$$

для фильтров с водоприемной поверхностью из штампованного листа

$$K_1 = A \frac{h\, r_н}{S T \varphi(De)}, \tag{8}$$

где A – физическая константа воды, равная при температуре 20° С $97{,}7 \cdot 10^4$ см$^{-1}$ с$^{-1}$; h – скважность фильтра; $r_н$ – гидравлический радиус фильтра, см; S – показатель сопротивления щели; T – показатель сопротивления фильтра; $\varphi(De)$ – функция от числа Деана.

2.II. Исходные параметры h, $r_н$, S в выражениях (7) и (8) для фильтров с одной фильтрующей поверхностью оцениваются однозначно по известным методикам [II]. При испытании фильтров с несколькими фильтрующими поверхностями и, в частности, в наиболее распространенном случае с двумя поверхностями (каркас-проволочная обмотка или штампованный лист) необходимо введение параметров, учитывающих геометрические характеристики как каркаса, так и обмотки. В качестве таких параметров можно использовать [2] скважность фильтра, равную произведению скважностей каркаса и обмотки; суммарный показатель сопротивления, равный сумме сопротивлений каркаса и обмотки; гидравлический радиус, оценивающийся с учетом наложения обмотки на отверстие в каркасе фильтра. Для проволочных фильтров гидравлический радиус рассчитывается по формуле

$$r_н = \frac{2 h_1 \delta_1 h_2}{\pi \delta_1 (h_2 + d) + 2 (h_2 + d)(h_1 - \delta_1) - 2 h_1 d}; \tag{9}$$

для фильтров с водоприемной поверхностью из штампованного листа по формуле

$$r_н = \frac{L}{(h_2 + h_4)\left[\pi \delta_1 (\delta_2 + \delta_3) + 2 (h_1 - \delta_1)(\delta_2 + \delta_3) + 2 (h_4 + \delta_3)(\delta_2 + \delta_3) - 2 \delta_3 \delta_1 - \frac{2 h_4 h_1 (\delta_2 + \delta_3)}{h_1 + h_2}\right]}, \tag{IO}$$

где h_1 – длина щели каркаса, см; δ_1 – ширина щели каркаса, см; h_2 – высота щели обмотки или длина отверстия штампованного листа; d –диаметр проволоки обмотки, см; $L = h_1 \delta_1 \delta_2 (h_2 + \delta_3)$ – для отверстия в форме трапеции; $L = 2 h_1 \delta_1 \delta_2 h_2$ – для прямоугольного отверстия; δ_2 – высота отверстия штампованного листа, см; h_3 – длина верхнего основания отверстия штампованного листа, см; h_4 – высота перемычки на штампованном листе, см; δ_3 – ширина перемычки на штампованном листе, см.

Так как в выражениях (7) и (8) неизвестным остается параметр T, то вначале при определенном K_1 находятся сопротивления T, которые затем для каждого типа фильтра представляются графически как функция от $\frac{r_н}{r_в}$ (рис.6). В дальнейшем, исходя из полученных графиков, при известных геометрических размерах фильтра можно найти его сопротивление и по выражениям (7) или (8) рассчитать коэффициент водопроницаемости без проведения опытных работ на лабораторном стенде.

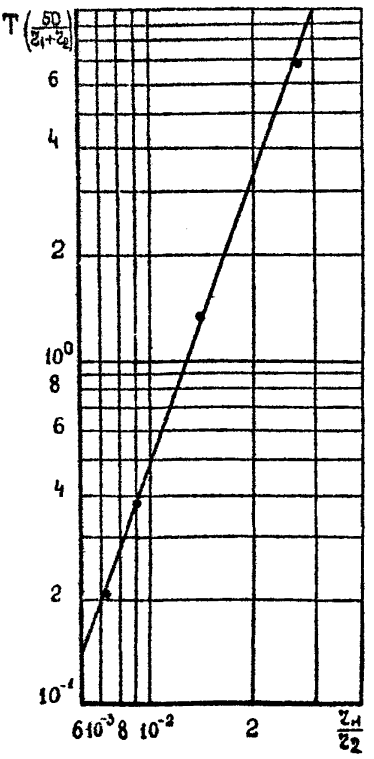


Рис.6. Изменение сопротивления T каркасно-стержневых фильтров в зависимости от геометрических размеров

Пример оценки и расчета коэффициента водопроницаемости фильтра.

Моделирование проводилось по второй схеме:

$K_2 = 16{,}5$ см/с; $K_3 = 0{,}106$ см/с; $r_1 = 4{,}0$ см; $r_2 = 5{,}2$ см; $r_3 = 11{,}1$ см.

Опытные данные по оценке коэффициента водопроницаемости проволочного фильтра приведены в табл.I.

По опытным данным находим скорость фильтрации при поперечном сечении потока 40 х 32,6 см^2

$$V_ф = \frac{130 \cdot 2}{40 \cdot 32{,}6} = 0{,}207 \text{ см/мин.}$$

Таблица I

Время, мин	Сопротивление, Ом	Концентрация, С, мг/л	$\ln \frac{C_0}{C}$
2	0,44	455	0,538
4	0,56	320	0,890
6	0,64	240	I,I78
8	0,68	2I0	I,3I2
I0	0,7I	I90	I,4I2
I2	0,75	I65	I,553
I5	0,78	I45	I,628
20	0,84	II0	I,959
25	0,87	95	2,I05
30	0,9I	75	2,277

C_0 = 780 мг/л: η = 25.0 %: V = I30 мл: t = 30 с.

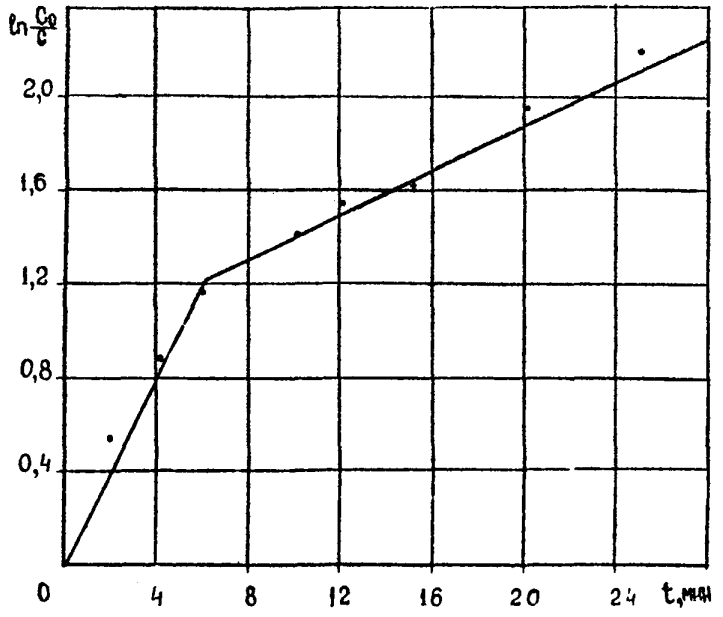


Рис.7. Изменение концентрации индикатора в фильтре по экспериментальным данным

Исходя из V_φ и графического представления опытных данных (рис.7) с использованием зависимости (I) определяем степень искажения фильтрационного потока

$$0{,}207\,\alpha = \frac{3{,}14 \cdot 8}{4 \cdot 5} \ln \frac{190}{145}.$$

$\alpha = 1{,}640$.

Рассчитываем коэффициент водопроницаемости по формуле (3)

$$K_1 = \frac{16{,}5\left[1-\left(\frac{4{,}0}{5{,}2}\right)^2+\left(\frac{4{,}0}{11{,}1}\right)^2-\left(\frac{5{,}2}{11{,}1}\right)^2\right]+0{,}106\left[1-\left(\frac{4{,}0}{5{,}2}\right)^2-\left(\frac{4{,}0}{11{,}1}\right)^2-\left(\frac{5{,}2}{11{,}1}\right)^2\right]}{\frac{8}{1{,}64}-\left[1-\left(\frac{4{,}0}{5{,}2}\right)^2+\left(\frac{4{,}0}{11{,}1}\right)^2+\left(\frac{5{,}2}{11{,}1}\right)^2\right]+\frac{0{,}106}{16{,}5}\left[1+\left(\frac{4{,}0}{5{,}2}\right)^2-\left(\frac{4{,}0}{11{,}1}\right)^2-\left(\frac{5{,}2}{11{,}1}\right)^2\right]} = 1{,}82\ \text{см/с}.$$

При известном K_1 находим сопротивление фильтра

$$r_н = \frac{2 \cdot 15{,}0 \cdot 0{,}4 \cdot 0{,}9}{3{,}14 \cdot 0{,}9(0{,}4+0{,}2)+2(0{,}4+0{,}2)(15{,}0+0{,}9)-2 \cdot 15{,}0 \cdot 0{,}2} = 0{,}856\ \text{см};$$

$$T = \frac{0{,}25 \cdot 977 \cdot 0{,}856^2}{19{,}9 \cdot 1{,}82 \cdot 0{,}01} = 494{,}4.$$

В дальнейшем показатель T определяется для всех опытных образцов фильтров данного типа и строится графическая зависимость T от $\frac{r_н}{r_2}$ (рис.8). Имея данную зависимость, можно по выражению (7) найти коэффициент водопроницаемости фильтра без проведения опытных работ.

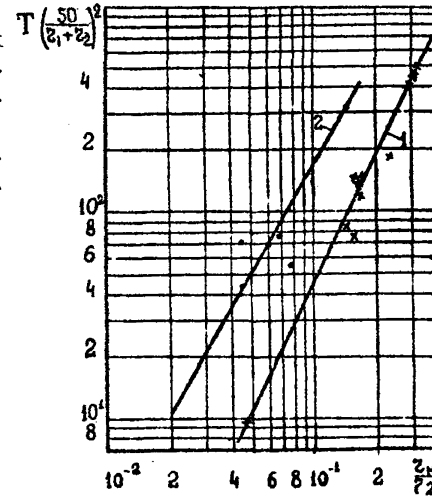


Рис.8. Изменение сопротивления T различных типов фильтров в зависимости от геометрических размеров:

I - проволочный на трубчатом каркасе; 2 - с водоприемной поверхностью из штампованного листа

3. ПАРАМЕТРЫ КОЛЬМАТАЦИИ ФИЛЬТРОВ СКВАЖИН

3.I. Кольматация дренажных скважин связана с нарушением естественного режима подземных вод при эксплуатации систем осушения. Причем, время релаксации системы вода-порода-фильтр превышает период стабильной работы практически всех видов дренажных устройств.

3.2. Оценка параметров химического кольматажа может быть выполнена по изменению величины сопротивления прифильтровой зоны $\xi_к$ с использованием коэффициента кольматации γ по зависимости [3]

$$\xi_к(t) = \left[\frac{K_з}{K_ф}\exp(3\Delta C\gamma_{ср}t) - 1\right]\ell n\frac{R_0}{R_ф}, \qquad (II)$$

где $K_ф$ – коэффициент фильтрации прифильтровой зоны; ΔC – изменение концентрации кольматирующих веществ в зоне кольматажа; $\gamma_{ср}$ – среднее значение коэффициента кольматации; t – время; R_0 – радиус контура питания; $R_ф$ – радиус зоны кольматажа.

Решение уравнения (II) возможно графо-аналитическим методом с построением графиков изменения сопротивления в координатах $\ell n\left(\frac{\xi_к}{\ell n R_0/R_ф}+1\right)$ и t. По углу наклона прямой, полученной в данных координатах находят величину $I{,}3C5\,\Delta C\,\gamma_{ср}$.

3.3. При работе систем осушения, когда смещение химического равновесия в подземных водах происходит во всей зоне созданного возмущения в водоносном пласте, интенсивность кольматации может оцениваться с использованием соотношения [II]

$$q_t = q_0 e^{-\beta t}, \qquad (I2)$$

где q_t – текущий удельный дебит скважины; q_0 – начальный удельный дебит; β – коэффициент старения скважины, учитывающий изменение ее производительности в связи с кольматацией. Имеющийся материал режимных наблюдений позволяет оценить величину β, являющуюся в измененных гидрогеологических условиях характеристикой водоприемной части скважины.

3.4. Выполнение гидравлического прогноза кольматажа скважин на основе зависимости (I2) предполагает наличие известных удельных дебитов скважин. Оценка величин q_t часто затруднена, так как на дренажных скважинах обычно отсутствуют затрубные пьезометры и уровень воды в скважине неизвестен. Для нахождения удельных дебитов в таких условиях можно воспользоваться следующим приемом [6].

По данным режимных наблюдений за изменением уровня подземных вод в пределах системы осушения строятся карты гидроизогипс на каждый месяц ее эксплуатации. Понижение уровня в скважине определяется исходя из имеющейся величины его статического положения и гидроизогипсы, проходящей от скважины на расстоянии, не превышающем мощность водоносного горизонта. Дальнейшая вычислительная схема строится следующим образом:

в соответствии с найденной величиной понижения (S) и имеющимся дебитом скважины (Q) рассчитываются удельные дебиты $q=\frac{Q}{S}$;

методом наименьших квадратов полученные данные по изменению $\frac{q_t}{q_0}$ аппроксимируются экспоненциальной функцией, определяется аналитическое представление искомой функции и коэффициент старения β;

строится фактический график изменения $\frac{q_t}{q_0}$ от t, который совмещается с графиком рассчитанной аналитической функции, и уточняется значение коэффициента β;

производится статистическая обработка полученных значений для однотипных дренажных устройств с одинаковой конструкцией водоприемной части и находящихся в аналогичных гидрогеологических условиях. Рассчитываются основные обобщающие характеристики: среднее арифметическое, коэффициент вариации, доверительные интервалы, выборочная энтропия.

Предлагаемая методика расчета реализована в виде алгоритмов и программ для ЭВМ "Наири-К".

4. СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ФИЛЬТРОВ ДРЕНАЖНЫХ СКВАЖИН

4.I. Анализ применяемых конструкций фильтров при сооружении систем осушения показал [9] , что наиболее распространенными являются проволочные фильтры на трубчатом каркасе, некоторое использование на отдельных месторождениях получили также фильтры с водоприемной поверхностью из штампованного листа, количество других конструкций не превышает 2-3%. Результаты исследований данных конструкций фильтров по определению коэффициента водопроницаемости приведены на рис.9, на котором показано изменение K_1 наиболее перспективных типов фильтров, в частности, каркасно-стержневых. Подробный анализ экспериментов дан в работе [I] , здесь же отметим, что коэффициент водопроницаемости каркасно-стержневых фильтров изменяется от I,5 см/с при скважности II% до

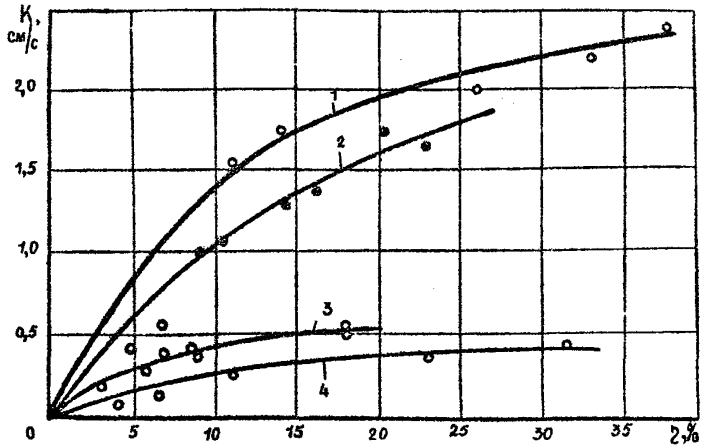


Рис.9. Водопроницаемость фильтров различных типов в зависимости от скважности:

I – каркасно-стержневые; 2 – проволочные на трубчатом каркасе; 3 – с водоприемной поверхностью из штампованного листа; 4 – сетчатые с сетками галунного плетения

2,5 см/с при предельном ее значении 38 %. Для проволочных фильтров величина K_1 находится в пределах 0,42–I,8 см/с при соответствующем изменении скважности от 4,7 до 25%. Фильтры с водоприемной поверхностью из штампованного листа имели размер отверстий, близкий по величине к зазору проволочной обмотки, скважность их изменялась от 2,3 до I7,5%, соответствующие предельные значения коэффициента водопроницаемости составили 0,23 и 0,52 см/с. Сетчатые фильтры изготовлены на основе сеток галунного плетения № 48 и 7/70. Коэффициент водопроницаемости сетчатых фильтров (при трубчатом каркасе) изменяется от 0,08 до 0,37 см/с. При наложении сетки на стержневой каркас было получено среднее значение K_1 = = 0,4I см/с.

4.2. Обобщение данных о закономерностях изменения коэффициента водопроницаемости исследованных типов фильтров от скважности указывают на улучшение гидравлических свойств при ее увеличении. Аппроксимирующая функция имеет степенной вид с дробным показателем [2].

4.3. Весьма показательным является опробование фильтров пред –

лагаемых новых конструкций. В качестве таковых был определен K_1 многослойных проволочных фильтров на трубчатом каркасе и трубофильтров из пористого бетона. Для первых получено среднее значение коэффициента водопроницаемости в пределах 0,14 см/с, для вторых – 0,04 и 0,007 см/с. Полученные данные показывают отсутствие каких-либо гидравлических преимуществ предлагаемых конструкций фильтров по сравнению с выпускаемыми серийно.

4.4. Сравнение коэффициентов водопроницаемости фильтров с фильтрационными свойствами осушаемых пород показано в табл.2.

Таблица 2

$-lg\Delta$ при $K_1 = 1\frac{см}{с}$	Тип фильтра	Породы	Характеристика породы
0 I	Каркасно-стержневой Проволочный	Гравий	Хорошо проницаемые
2	Сетчатые, с водоприемной поверхностью из штампованного листа	Крупнозернистый и среднезернистый	Проницаемые
3 4 5 6 7 8	Блочные	Мелкозернистый и тонкозернистый песок	Проницаемые

Из таблицы следует, что применение каркасно-стержневых и проволочных фильтров в водоносных горизонтах, представленных среднезернистыми, мелкозернистыми и тонкозернистыми песками должно производиться с проведением мероприятий по улучшению фильтрационных свойств прифильтровой зоны (например, сооружение гравийной обсыпки) в противном случае будем иметь весьма нерациональное сочетание двух проницаемых сред.

5.5. Требования к конструкциям фильтров, которые следуют из сравнительной оценки коэффициентов водопроницаемости сводятся к следующему: должна быть одна фильтрующая поверхность, скважность фильтра не менее 10%, форма входных отверстий должна способствовать уменьшению контактных потерь.

В последнее время при оборудовании водоприемной части скважин

находят применение витые дренажные трубы из жесткого поливинилхлорида [5, I6], стеклопластиковые фильтры [I0] и фильтры с волокнисто-пористым полиэтиленовым покрытием. Все эти конструкции характеризуются весьма неопределенной формой и сложной конфигурацией входных отверстий, что делает невозможным использование для характеристики их гидравлических свойств такого показателя как скважность. Разработанная методика определения коэффициента водопроницаемости применима для данных конструкций и позволяет найти рациональную область их использования исходя из сравнительной характеристики фильтров по этому показателю. В качестве примера можно указать, что в определенных гидрогеологических условиях несмотря на относительно низкие гидравлические свойства волокнисто-пористого полиэтиленового покрытия, оно может применяться для предотвращения выноса песка из водопонижающих скважин.

5. СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПАРАМЕТРОВ КОЛЬМАТАЖА РАЗЛИЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ВОДОПРИЕМНОЙ ЧАСТИ СКВАЖИН

5.I. Расчеты параметров кольматажа дренажных скважин Южно-Лебединского месторождения КМА (I6 водопонижающих скважин), Южно-Белозерского на Украине (I0 водопонижающих скважин) и Соколовского в Казахстане (I4 восстающих скважин и II сквозных фильтров) по зависимости (I2) даны в табл.3 - 5.

Таблица 3

Показатель	Среднее арифметическое	Среднеквадратическое отклонение	Коэффициент вариации, %	Доверительные пределы
Коэффициент старения, $мес^{-I}$	0,049	0,0I8	37	$\pm$0,0096
Начальный удельный дебит, $м^3/ч \cdot м$	3,370	I,3I0	39	$\pm$0,56

5.2. Анализ приведенных данных свидетельствует о преимуществе дренажных скважин, имеющих уширенный контур гравийной обсыпки, до I000 мм, [8]. Коэффициент старения для них составляет в основном

Таблица 4

Номер скважины	Тип фильтра и конструкция водоприемной части	Начальный удельный дебит, $м^3/ч \cdot м$	Коэффициент старения, $\beta \cdot 10^{-2} мес^{-1}$
98	Проволочный с уширенным контуром гравийной обсыпки	7,33	I,3
I49	То же	5,56	2,4
I47	-"-	6,63	5,0
99	Фильтр с водоприемной поверхностью из штампованного листа с уширенным контуром гравийной обсыпки	6,24	2,6
94	То же	3,76	I,8
I07	Проволочный	4,58	5,I
II0	То же	3,95	6,7
II3	Сетчатый	7,3	9,8
I39	Фильтр с водоприемной поверхностью из штампованного листа	3,78	4,2
I34	Проволочный и с водоприемной поверхностью из штампованного листа	0,9I	4,I0

$(I,3-2,6) \cdot 10^{-2} мес^{-1}$, что свидетельствует о минимальной интенсивности процессов кольматажа. Наибольшие значения β получены по скважинам без гравийной обсыпки: так, при установке сетчатого фильтра $\beta = 9,8 \cdot 10^{-2} мес^{-1}$.

Для водопонижающих скважин Южно-Лебединского карьера, оборудованных проволочными фильтрами с гравийной обсыпкой, коэффициент старения в среднем составляет $(0,049 \pm 0,0036) мес^{-1}$. На Соколовском месторождении средний коэффициент старения для восстающих скважин, водоприемная часть которых оборудована проволочным фильтром, равен $(0,036 \pm 0,006) мес^{-1}$, для сквозных фильтров, где установлены проволочные фильтры с гравийной обсыпкой, $-(0,047 \pm \pm 0,0I4)\ мес^{-1}$.

Таблица 5

Тип дренажного устройства	Среднее арифметическое	Среднеквадратическое отклонение	Коэффициент вариации, %	Доверительные пределы
	Коэффициент старения, $мес^{-1}$			
Сквозные фильтры	0,047	0,021	43,0	±0,014
Восстающие скважины	0,036	0,009	25,4	±0,006
	Начальный удельный дебит, $м^3/ч \cdot м$			
Сквозные фильтры	0,42	0,26	59,5	±0,14
Восстающие скважины	0,35	0,18	51,5	±0,09

5.3. На рис.10 представлены графики для оценки периода, когда исходя из технического состояния водоприемной части скважины, следует проводить ремонтные работы для увеличения их производитель -

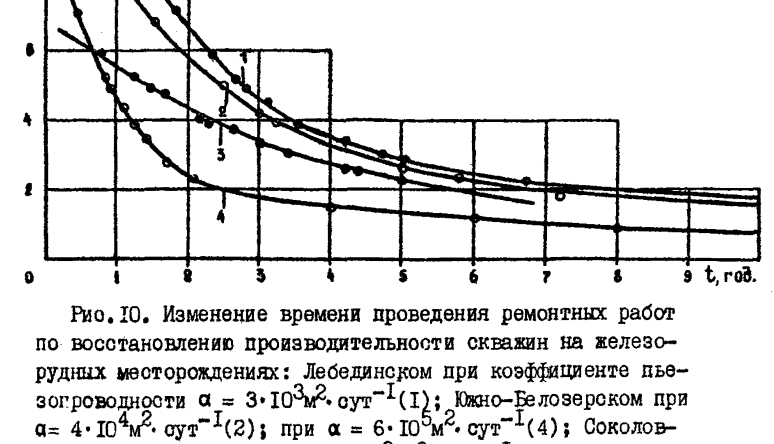


Рис.10. Изменение времени проведения ремонтных работ по восстановлению производительности скважин на железорудных месторождениях: Лебединском при коэффициенте пьезопроводности $\alpha = 3 \cdot 10^3 м^2 \cdot сут^{-1}$(1); Южно-Белозерском при $\alpha = 4 \cdot 10^4 м^2 \cdot сут^{-1}$(2); при $\alpha = 6 \cdot 10^5 м^2 \cdot сут^{-1}$(4); Соколовском при $\alpha = 2{,}4 \cdot 10^2 м^2 \cdot сут^{-1}$(3)

ности. В зависимости от величины коэффициента старения этот период изменяется от одного года до 5–7 лет по обследованным железорудным месторождениям.

5.4. Исходя из параметров кольматажа дренажных скважин и межремонтного периода следует наиболее перспективным в конструкции водоприемной части считать сочетание проволочных фильтров с уширенным контуром гравийной обсыпки. Коэффициент старения для этих скважин имеет минимальные значения. Применение скважин с сооружением мощной гравийной обсыпки удлиняет срок их службы и сокращает эксплуатационные расходы.

5.5. Формулируя в целом требования, вытекающие из рекомендаций по применению рациональных типов фильтров, следует указать основные положения, которые нужно учитывать при разработке типовых конструкций водоприемной части дренажных скважин. К ним относятся: установка фильтров с высокими гидравлическими показателями для данных гидрогеологических условий; коэффициент водопроницаемости фильтра должен в 20–30 раз превышать коэффициент фильтрации пласта; применение фильтров на основе трубчатого каркаса и дополнительной водоприемной поверхности (проволочная обмотка, штампованный лист и так далее) должно обосновываться необходимостью увеличения прочностных характеристик; конструктивно скважность (суммарная скважность) фильтра при эксплуатации дренажных устройств более 2–3 лет должна быть не менее 10%; в большинстве случаев фильтр должен иметь антикоррозийное покрытие; применение мощных гравийных обсыпок (до 1000 мм на сторону); расчет фильтров из условия выноса до 70% частиц водоносного горизонта (формирование водоприемных каверн).

Литература

1. Алексеев В.С., Волков Ю.И. Оценка гидравлических характеристик фильтров скважин индикаторным методом. Гидротехника и мелиорация, 1980, № 3, с.71–74.

2. Алексеев В.С., Волков Ю.И. Оценка коэффициента водопроницаемости фильтров с водоприемной поверхностью из штампованного листа и проволочной обмотки. – В сб.: Гидрогеологические исследования водозаборных, водопонизительных и дренажных систем. М., ВОДГЕО, 1980, с.85–92.

3. Алексеев В.С., Гребенников В.Т., Астрова Н.В. Гидрогеологическое обоснование методов восстановления производительности сква-

жин на воду. Итоги науки и техники, сер. Гидрогеология. Инженерная геология, т.6, М., ВИНИТИ, 1979, 90 с.

4. Алексеев В.С., Никольская Е.А. Зарубежный опыт конструирования и расчета фильтров скважин на воду. Итоги науки и техники. Гидрогеология. Инженерная геология. М., 1972, с.5-68.

5. Аннилов В.Е., Пономаренко Ю.В. Опыт осушения лессовых грунтов лучевыми горизонтальными скважинами. Гидротехническое строительство, 1979, № 7, с.26-28.

6. Волков Ю.И. Опыт оценки параметров кольматажа и межремонтного периода дренажных скважин карьеров КМА. Труды ВОДГЕО, вып. 74, М., ВОДГЕО, 1978, с.81-88.

7. Волков Ю.И. Выбор схемы моделирования и оценка точности определения гидравлических параметров фильтров дренажных устройств на основе индикаторных исследований. - Тезисы докл. семинара "Охрана и рациональное использование подземных вод в горнорудных районах при разработке месторождений полезных ископаемых". Белгород, ВИОГЕМ, 1979, с.107-110.

8. Волков Ю.И., Воронцов В.И. Исследование работы дренажных устройств при осушении месторождений полезных ископаемых. Сб.трудов Гипроруды, вып.6, Л., Гипроруда, 1980, с.61-64.

9. Воронцов В.И., Волков Ю.И., Павленко Г.М.,и др. Анализ применения различных типов фильтров дренажных устройств при осушении месторождений. Сб. трудов ВИОГЕМ, вып.25. Белгород, ВИОГЕМ, 1978, с.15-19.

10. Воронцов В.И., Шабер Г.Б. Интенсификация работы дренажных устройств при осушении месторождений полезных ископаемых. М., Недра, 1975, 205 с.

11. Гаврилко В.М., Алексеев В.С. Фильтры буровых скважин, М., Недра, 1976, 344 с.

12. **Klotz D. Hydraulische Eigenschaften handelsüblicher Brunnenfilterrohre. Z. Dtsch. geol.,** 1975, 126, **Teil 2.**

13. **Klotz D. Hydraulische Eigenschaften der Johnsonfilterrohre. "Bohrtechnik, Brunnenbau, Rohrleitungsbau",** 1971, № 9, S.323-328.

14. Коль С.А. Определение скорости фильтрации подруслового потока. Труды Ленинградского гидрогеологич. ин-та (ГПИ), вып.8(62). Л., Гидрометеоиздат, 1968, с.175-187.

15. Огильви Н.А., Федорович Д.И. Электролитический метод опре-

деления скорости фильтрации подземных вод и условия его практической применимости, вып.I4. М., ВСЕГИНГЕО, I963, с.43.

I6. Осипчук Л.Н., Карпенко К.К. Рекомендации по определению параметров гибких витых дренажных труб из жесткого поливинилхлорида. Киев , НИИСП Госстрой УССР, I973, 20 с.

I7. Шестаков В.М., Динамика подземных вод. М., МГУ, I979, 388 с.

С О Д Е Р Ж А Н И Е

Введение 3
1. Гидравлические параметры фильтров скважин 4
2. Оценка коэффициентов водопроницаемости фильтров скважин 5
3. Параметры кольматации фильтров скважин I8
4. Сравнительная характеристика фильтров дренажных скважин I9
5. Сравнительная характеристика параметров кольматажа различных конструкций водоприемной части 22
Литература 25

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ
ПО ОЦЕНКЕ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ФИЛЬТРОВ,
ПРИМЕНЯЕМЫХ ПРИ СООРУЖЕНИИ ДРЕНАЖНЫХ СКВАЖИН

Научный редактор канд.геол.-мин.наук В.Е.Аншилов

Литературный редактор Л.А.Порубай
Технический редактор А.Г.Воронцова
Корректор В.А.Старкова
Художник Б.М.Попов

Подписано к печати I4 сентября I982 г.
Объем I,6 уч.-изд.л. Тираж 230 экз. Заказ № 832.
ВНИИ ВИОГЕМ, Белгород, Б.Хмельницкого, 86

Цена 24 коп.

gost.e-ecolog.ru