

Министерство земледелия и водного хозяйства СССР
СРЕДНЕАЗИАТСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ИРРИГАЦИИ ИМЕНИ
В.Д.ЛУТИНА (САМОНКИ)

"СОГЛАСОВАНО"

Директор института
"Угидроводхоз"

В.Д.ЛУТИН
"28" _____ 1985 г.

"УТВЕРЖДАЮ"

Заместитель министра
МинВХ УССР

Д.И.АКИМОВ
"30" _____ 1985 г.

МЕТОДИЧЕСКОЕ УКАЗАНИЕ
ПО РАСЧЕТУ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИИ СИСТЕМЫ
ВЕРТИКАЛЬНОГО ДРЕНАЖА

Настоящие "Методические указания" являются дополнением существующего ВСН П-8-74; Здесь приведены подбор и расчет оптимальных конструктивных элементов водоприемной части скважины вертикального дренажа, обеспечивающих надежность и высокие эксплуатационные показатели системы.

"Методические указания" разработаны в ордена Трудового Красного Знамени научно-исследовательском институте ирригации (САИИРИ) им. В.Д.Журина на основании многолетних натурных и лабораторных исследований; предп. значены для проектировщиков, строителей и эксплуатационных организаций. Настоящий документ рассмотрен и одобрен Ученым советом секции мелиорации и водохозяйственных проблем САИИРИ (протокол № 21 от 1 августа 1984г.) и утвержден ММВХ УзССР (протокол № 214 от 30 мая 1985г.).

Замечания и предложения просим присылать по адресу: 700187, Ташкент, массив Карасу 4 дом II, САИИРИ

Исполнители: 1. Х.И.Якубов - канд.техн.наук;
2. А.Абиров - канд.техн.наук;
3. В.Г.Насонов - канд.геол.-мин.наук.

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Со времени утверждения и введения ВСН-П-8-74 и "Методического руководства по выбору типа водозаборных сооружений для вертикального дренажа на орошаемых землях" появились новые разработки нашедшие отражение в рассматриваемых "Методических указаниях". В частности, подбор и расчет элементов водоприемной части скважины, выполненные САИИРИ, более полно учитывают специфические условия работы вертикального дренажа.

Водоприемная часть скважины, представленная фильтрами различных конструкций, - наиболее ответственное звено подземного сооружения.

Выбор конструкции фильтра зависит как от конкретного литологического строения (гранулометрического состава и мощности каптируемого пласта и покровного мелкозем, химического состава подземных вод), так от хозяйственного назначения скважины.

Конструктивные элементы скважины определяются также заданным дебитом и глубиной, типом водоподъемного оборудования и поверхностным устройством устья.

Дебит скважины устанавливается гидродинамической схемой притока подземных вод к колодцам по данным опытных откачек или по зависимости удельных дебитов от водопроводимости водоносного горизонта.

Для нормальной работы вертикального дренажа конструкция фильтров скважины должна удовлетворять следующим требованиям:

1. Диаметр фильтрового каркаса должен позволять свободный монтаж и демонтаж насосно-сигзового оборудования и приборов автоматики и телемеханики;

2. Водоприемная часть скважины должна, во-первых, обеспечить максимальный водозабор при минимальных входных сопротивлениях в прифильтровой зоне; во-вторых, предотвратить длительную суффозию грунта водоносного пласта и, тем самым, сохранить устойчивость устья и улучшить условия работы насоса; в-третьих, обеспечить долговременную и бесперебойную работу вертикального дренажа. Скважины, удовлетворяющие этим требованиям, позволяют свести к минимуму затраты на подъем воды.

Указанным требованиям лучше всего отвечает гравийно-песчаный фильтр с рыхлой обсыпкой в сочетании с фильтрующим каркасом из некоордируемых материалов, обеспечивающих бесперебойную и долговременную работу скважин вертикального дренажа.

Так, по результатам исследований САНИИРИ работоспособности скважин вертикального дренажа, оборудованных различными типами фильтров, установлено, что гравийно-песчаные фильтры обладают максимальным коэффициентом полезной работы, который характеризуется зависимостью

$$\eta_{\phi} = \left(1 - \frac{\Delta S}{S}\right).$$

Для различных типов фильтров:

	η_{ϕ}
- щелевого каркаса с окатанной речной гравийно-песчаной обсыпкой со скважностью 15%	- 0,77±0,90
- то же со смесью гравия с угловатыми кварцевыми песками	- 0,65±0,75
- гравийно-сетчатого	- 0,40±0,65
- дырчатого с проволочной обмоткой с гравийно-песчаной обсыпкой	- 0,32±0,42
- кожухово-гравийного	- 0,42±0,61

- пластмассового щелевого из водонита - 0,19±0,23
- блочно-керамического и пористого с гравийно-песчаной обсыпкой - 0,12±0,39.

При проектировании конструктивных элементов водопримной части скважин заранее должны быть известны дебит скважины и полная характеристика водоносного горизонта: мощность и коэффициент фильтрации водоносного пласта; гранулометрический состав пород, химический состав подземных вод.

Расчетом должны быть определены следующие конструктивные параметры: фракционный состав и толщина гравийно-песчаной обсыпки; длина, диаметр, скважность и режим перфорации, а также глубина скважины.

2. РАСЧЕТ ВОДОПРИЕМНОЙ ЧАСТИ СКВАЖИН

2.1. Проектирование фильтровой обсыпки для высокодебитных скважин вертикального дренажа

Основным принципом проектирования фильтровой обсыпки является обеспечение ее достаточной водопроницаемости и предупреждение механической суффозии по контакту с дренируемым грунтом. Главнейший критерий удовлетворительной работы фильтровой обсыпки высокодебитных скважин вертикального дренажа — сохранение ими постоянства расчетного значения водопропускной способности.

Исходя из вышеназванных принципов проектирования фильтра, гравийно-песчаная обсыпка для вертикального дренажа должна удовлетворять следующим требованиям:

1. Водопроницаемость гравийно-песчаной обсыпки должна быть значительно больше таковой грунта водоносного пласта.
2. Гравийно-песчаная обсыпка должна предотвращать механическую суффозию грунта водоносного пласта и не должна сама коагулировать, т.е. размеры ее пор должны свободно пропускать через себя "допустимое" (10–15%) количество мелких частиц грунта дренируемого пласта (только в период формирования фильтра).
3. Фракционный состав грунта и гравийно-песчаной обсыпки должен обладать достаточной механической и химической прочностью и иметь минимальные входные сопротивления при расчетных дебитах скважины.

При выборе параметров гравийно-песчаной обсыпки гранулометрический состав водоносного горизонта является определяющим фактором. Следует учитывать как крупность и неоднород-

ность породы, так и ее суффозионную устойчивость.

2.1.1. Оценка суффозионной устойчивости дренируемой водоносной породы.

Наиболее приемлемым способом определения суффозионной устойчивости дренируемых грунтов является метод В.Н.Кондратьева, основанный на представлении водоносного грунта в виде двухфракционной модели, состоящей из скелета и заполнителя.

Для оценки суффозионной устойчивости вначале для грунта водоносного пласта в полулогарифмической шкале строится дифференциальная кривая гранулометрического состава (рис.1). Если эта кривая имеет разрывы или прогибы в содержании отдельных фракций, то водоносная порода является суффозионной. Для окончательного решения этого вопроса необходимо грунт водоносного пласта разделить по месту разрыва или прогиба дифференциальной кривой на скелет и заполнитель. Для подсчета процентного содержания отдельных фракций в заполнителе и в скелете используется зависимость

$$P_L = \frac{P'_L}{P_{\Sigma, \text{ск}}} \cdot 100\% \quad (1)$$

где P'_L — содержание отдельных фракций в исходной породе, %;
 $P_{\Sigma, \text{ск}}$ — суммарное содержание фракций заполнителя и скелета в породе, %.

Далее следует построить интегральные кривые скелета и заполнителя, определить средний диаметр частиц заполнителя, а затем рассчитать пористость и гидравлический эквивалент пор скелета.

Расчетная пористость скелета определяется по формуле

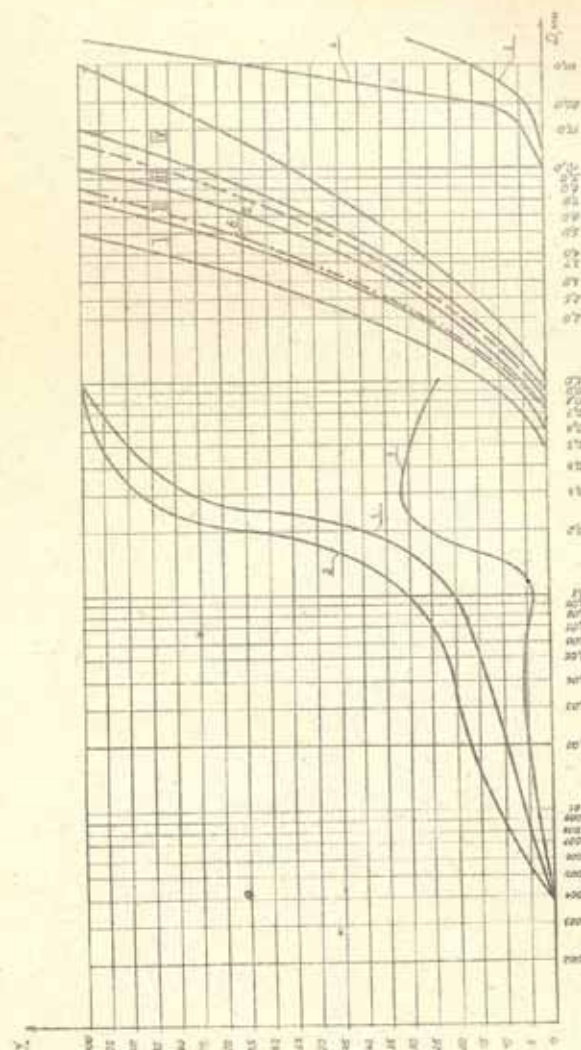


Рис. 1. Прямая расчета остатка гранулометрического состава для скелета зернистого грунта

- 1 - интегральная прямая грунта водонесного скелета в примере 1; 2 - то же, грунт водонесного скелета в примере 2; 3 - дифференциальная прямая грунта водонесного скелета в примере 1; 4 - интегральная прямая "скелета" грунта в примере 1; 5 - дифференциальная прямая "скелета" грунта в примере 1; 6 - то же, грунт водонесного скелета в примере 2; 7 - дифференциальная прямая "скелета" грунта в примере 2; 8 - прямая расчета остатка гранулометрического состава для скелета зернистого грунта в примере 1; 9 - то же, грунт водонесного скелета в примере 2; 10 - прямая расчета остатка гранулометрического состава для скелета зернистого грунта в примере 1; 11 - то же, грунт водонесного скелета в примере 2; 12 - то же, грунт водонесного скелета в примере 1; 13 - то же, грунт водонесного скелета в примере 2; 14 - то же, грунт водонесного скелета в примере 1; 15 - то же, грунт водонесного скелета в примере 2; 16 - то же, грунт водонесного скелета в примере 1; 17 - то же, грунт водонесного скелета в примере 2.

$$m_{ск} = \left(1 - \frac{\delta \cdot \Pi_{ск}}{\gamma}\right) \cdot 100\% \quad (2)$$

Здесь δ - объемная масса скелета породы, т/м^3 ;

γ - плотность скелета породы, т/м^3 ;

$\Pi_{ск}$ - суммарное содержание скелета в породе, доли единицы.

Рассчитывается гидравлический эквивалент пор "скелета" по зависимости В.Н.Кондратьева:

$$D_s = 0.24 \cdot \eta' \cdot D_{so}^{0.5}, \quad (3)$$

где η' - параметр неоднородности "скелета", определяется по зависимости

$$\eta' = \frac{D_{50}'}{D_{20-100}'} \quad (4)$$

$D_{20-100}' = D_{20-100} - m_{ск}$ - диаметры частиц "скелета" грунта, соответствующие по размерам его пористости, которые определяются по интегральной кривой гранулометрического состава "скелета";

D_{50}' - диаметр частиц "скелета", соответствующий 50% содержанию, который определяется по кривой гранулометрического состава "скелета", мм.

Достаточное условие возникновения механической суффозии в породе определяется неравенством

$$\frac{D_{50}'}{d_{ср}} \geq 2 + \delta \quad (5)$$

где $d_{ср}$ - диаметр сводообразующих частиц грунта водонесного пласта (заполнителя).

При известном коэффициенте неоднородности "заполнителя" (который находится по интегральной кривой заполнителя $Z_s = \frac{d_{es}}{d_{10}}$) по графику (рис.2) определяется процентное содержание сводообразующих частиц ($P_s, \%$) и с помощью интегральной кривой породы (заполнителя) - d_{cr} .

В гидротехнической практике принято, что устойчивые сводки образуются в случае, когда диаметр пор фильтра ("скелета") превышает диаметр сводообразующих частиц не более, чем в 1,8 раза.

Натурные исследования работоспособности водопримной части высокодебитных скважин вертикального дренажа показали, что при значениях $Z_s^{ex} \leq (2 + 3) \cdot d_{cr}$ наблюдается устойчивая и надежная работа фильтра.

Если условие (5) подтверждается, то грунт считается суффозионным и проектирования фракционного состава гравийно-песчаной обсыпки для скважин вертикального дренажа производится на заполнитель в следующей последовательности.

Определяется расчетный диаметр частиц (в мм) проектируемой гравийно-песчаной обсыпки по уточненной зависимости ВНИИГ им.Б.Е.Ваденеева:

$$d_{cr} = \frac{1}{0,182 \cdot \sqrt[4]{Z_s}} \cdot \frac{1 - m_{\phi}}{m_{\phi}} \cdot d_{cr} \quad (6)$$

Здесь коэффициент 0,182 в знаменателе формулы получен из зависимости (5) вместо 0,252 в формуле ВНИИГ следующим образом:

$$d_{cr} = (0,5 - 0,33) \cdot d_s \approx 0,4 \cdot d_s, \quad (7)$$

где d_s - средний расчетный диаметр фильтрационных пор гравийно-песчаного грунта (в мм), определяется по формуле М.П.Павлича:

$$d_s = C \cdot \frac{m}{1 - m} \cdot d_n; \quad (8)$$

Отсюда C - безразмерный коэффициент, который так же устанавливается по формуле М.П.Павлича:

$$C = 0,455 \cdot \sqrt[4]{Z} \quad (9)$$

Подставляя значения d_s и C в формулу (7), получим

$$d_{cr} = 0,4 \cdot 0,455 \cdot \sqrt[4]{Z} \cdot \frac{m}{1 - m} \cdot d_n =$$

$$0,182 \cdot \sqrt[4]{Z} \cdot \frac{m}{1 - m} \cdot d_n, \quad (10)$$

где Z - коэффициент неоднородности грунта;

m - пористость грунта, доли единицы;

d_n - диаметр частиц грунта или гравийно-песчаной обсыпки, соответствующий 17% содержанию в ее составе, мм.

При этом допустимая пористость m_{ϕ} принимается в зависимости от Z_{ϕ} по графику (рис.3). Коэффициент неоднородности проектируемой гравийно-песчаной обсыпки (Z_{ϕ}), по данным строительства опытно-эксплуатационных скважин вертикального дренажа с последующим исследованием их работоспособности в натурных условиях, назначается в пределах 4-8. Меньшее значение коэффициента неоднородности (Z_{ϕ}) рекомендуется при подборе состава обсыпки для скважин вертикального дренажа, закладываемых в мелкозернистых водонасыщенных грунтах, а большее - в средне- и крупнозернистых.

Далее определяется минимальный диаметр частиц обсыпки по зависимости М.П.Павлича:

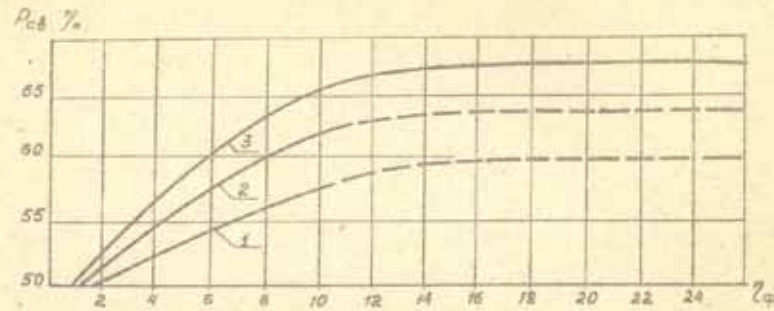


Рис. 2. График зависимости процентного содержания осодообразующих частиц от коэффициента неоднородности грунта.

песок тонкозернистый — 1;
мелкозернистый — 2;
средне-и-крупнозернистый — 3.

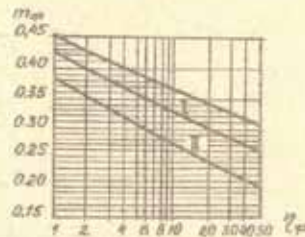


Рис. 3. График $m_\phi = f(Z_\phi)$ допустимой пористости грунтов укладываемых в фильтры

I — область щебеночных грунтов,
II — область песчано-гравийногалечниковых грунтов

$$D_{min} = \frac{D_{17}}{1 + (a \cdot P_{17})^x \cdot \frac{2\phi - 1}{5\eta_\phi}} \quad (11)$$

где x — показатель степени,

$$x = 1 + 1,28 \lg \eta_\phi \quad (12)$$

или при $\eta_\phi = 4 + 8$ $x = 1,77 + 2,15$.

Диаметр частиц обсыпки, соответствующий 10% содержанию их определяется по формуле

$$D_a = D_{min} \cdot (a \cdot P_a)^x \cdot D_{min} \cdot \frac{2\phi - 1}{5\eta_\phi} \quad (13)$$

Далее по равенству $\eta_\phi = \frac{D_{60}}{D_{10}}$ устанавливается диаметр частиц обсыпки, соответствующий 60% содержанию в ее составе:

$$D_{60} = D_{10} \cdot \eta_\phi$$

Фракционный состав гравийно-песчаной обсыпки считается удовлетворительно подобранным, когда в нем имеются частицы всех размеров. Логарифмическая кривая гранулометрического состава обсыпки должна быть плавной и огнотермальной. Коэффициент кривизны обсыпки для вертикального дренажа должен быть в пределах $0,75 + 1,25$:

$$C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{10} \cdot D_{60}} = 0,75 + 1,25 \quad (14)$$

Находим по зависимости (14) диаметр частиц обсыпки, соответствующий 30% содержанию в ее составе:

$$D_{30} = \sqrt{0,75 + 1,25} \cdot D_{10} \cdot D_{60} \quad (15)$$

Междуслойные коэффициенты при проектировании скважин в тонко- и мелкозернистых водоносных грунтах должны удовлетворять условие

$$C_N = \frac{D_{50}}{d_{50}} = 15-20; \quad (16)$$

в мелко- и среднезернистых грунтах -

$$C_N = \frac{D_{50}}{d_{50}} = 20-25; \quad (17)$$

в средне- и крупнозернистых -

$$C_N = \frac{D_{50}}{d_{50}} = 25-35 \quad (18)$$

Далее, согласно зависимостям (16), (17), (18) определяется диаметр частиц обсыпки, соответствующей 50% содержанию в ее составе

$$D_{50} = C_N \cdot d_{50} \quad (19)$$

Верхний предел значения диаметров частиц гравийно-песчаной обсыпки, по опыту строительства высококачественных скважин, а также технологии изготовления фильтрового материала, принимается равным 10, 20, 30 мм, соответственно, для мелко-, мелкозернистых, мелко-, среднезернистых и средне-, крупнозернистых грунтов водоносного пласта.

Таким образом, зная значения диаметров частиц $D_{10}, D_{17}, D_{30}, D_{50}, D_{60}$ и верхний предел гравийно-песчаной обсыпки, проводим расчетную кривую подбираемого фильтра на полулогарифмической шкале. Примеры расчета состава гравийного фильтра для скважин вертикального дренажа приведены в таблице.

Если водоносный грунт несуггезионный, то при проектировании фильтровой обсыпки за расчетный диаметр частиц грунта водоносного пласта принимается диаметр, определяемый по интегральной кривой неразделенного на "скелет" и наполнителя грун-

Т а б л и ц а
Расчет состава гравийных обсылок вертикального дренажа для различных литологических условий объекта

1. Характеристика грунта водоносного пласта

Диаметр скважины	Содержание фракций, %	Диаметр, мм	Диаметр характерных частиц грунта				
			$d_{50}, \text{мм}$	$d_{60}, \text{мм}$	$d_{80}, \text{мм}$	$d_{90}, \text{мм}$	$\gamma_{\text{ф}}$
"Скелет"	40-20	1-0,25	0,05-0,01	0,01-0,005	0,01-0,005	0,01-0,005	1,55
	20-10	0,25-0,1	0,1-0,05	0,05-0,01	0,01-0,005	0,01-0,005	1,8
"Заполнитель"	20-10	1-0,25	0,05-0,01	0,01-0,005	0,01-0,005	0,01-0,005	1,55
	10-7	0,25-0,1	0,1-0,05	0,05-0,01	0,01-0,005	0,01-0,005	1,8
"Заполнитель"	20-10	1-0,25	0,05-0,01	0,01-0,005	0,01-0,005	0,01-0,005	1,55
	10-7	0,25-0,1	0,1-0,05	0,05-0,01	0,01-0,005	0,01-0,005	1,8

П. Расчеты состава гравийной обсыпки

Диаметр скважины	Содержание фракций, %	Диаметр, мм	Диаметр характерных частиц обсыпки					$\gamma_{\text{ф}}$	$m_{\text{ф}}$
			$D_{10}, \text{мм}$	$D_{17}, \text{мм}$	$D_{30}, \text{мм}$	$D_{50}, \text{мм}$	$D_{60}, \text{мм}$		
119	20	17	1,4	1,61	2,00	3,2	4,5	4	0,35
35	-	25	0,92	1,13	1,3	2,24	3,20	4	0,35

та водоносного пласта. Дальнейший ход расчета гранулометрического состава гравийно-песчаной обсыпки для несуггезионных пород осуществляется таким же способом, как для суггезионных.

На основании строительства многочисленных опытных высокодебитных скважин в различных литологических условиях водоносного грунта Голодной степи и последующих исследований их работоспособности в период эксплуатации, когда наблюдалась устойчивая, без пескования, работа вертикального дренажа, а также изучения закономерности формирования фильтровой обсыпки на фильтрационных моделях нами составлен график допустимой области подбора оптимального состава гравийно-песчаного фильтра для различных гидрогеолого-литологических условий территории (рис. 4).

2.2. Толщина фильтра

Многолетними исследованиями САННИПИ, ВНИИВОДГЕО и других институтов установлено, что с увеличением толщины слоя гравийной обсыпки возрастает дебит и продолжительность работы скважины. С одной стороны, мощный слой обсыпки увеличивает суггезионную устойчивость водоносных пород в зоне фильтра, обеспечивая минимальные потери напора, с другой - обеспечивает более спокойный (близкий к ламинарному) режим движения воды в фильтровой зоне и, тем самым, способствует более продолжительной работе скважины, устойчивости их дебита.

На основании натурных исследований работоспособности дренажных скважин, построенных в различных литологических строениях водоносного пласта Х.И. Якубовым предложена эмпирическая зависимость видоизмененной формулы С.В. Ивбаева и Л.И. Коз-

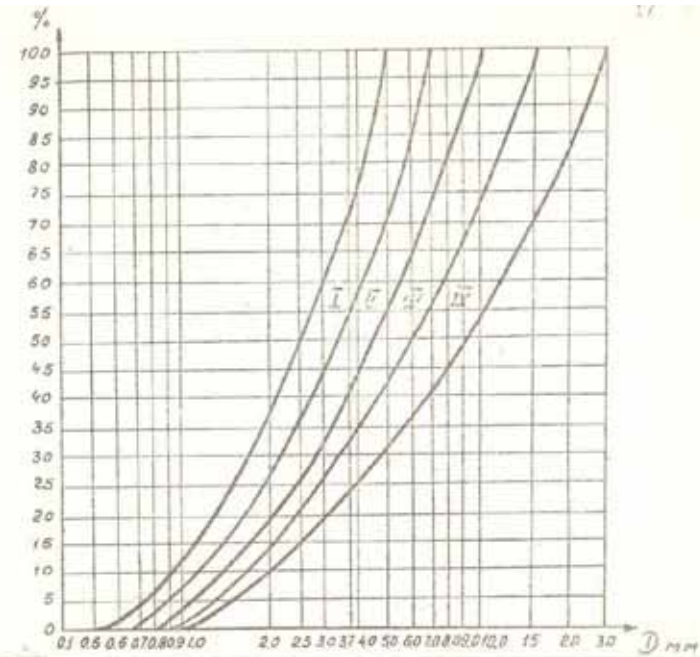


Рис. 4. Рекомендации по подбору оптимального состава обсыпки для высокодебитных скважин вертикального дренажа

- | | | |
|---|-----------------------------------|---------------------------------|
| I - Зона глинистых и тонкозернистых песков | } $\frac{D_{50}}{d_{50}} = 15-20$ | |
| II - Зона тонкозернистых и мелкозернистых песков | | |
| III - Зона мелкозернистых и среднезернистых песков | | |
| IV - Зона среднезернистых, крупнозернистых и гравелистых песков | } $\frac{D_{10}}{d_{10}} = 20-25$ | |
| | | |
| $\eta_p = 4 \div 8$ | | $\frac{D_{20}}{d_{20}} = 25-35$ |

ливой, определяющей внешний диаметр колодца, при котором соблюдается ламинарное движение потока к фильтровому каркасу:

$$D_{\text{скв}} = \frac{Q}{\lambda \cdot K \cdot C_{\text{ф}}} \cdot \left(\frac{D_{\text{скв}}}{2} \right)^2 \quad (20)$$

где λ — безразмерный эмпирический коэффициент, зависящий от длины фильтра, коэффициента фильтрации водоносного пласта и фракционного состава гравийной обсыпки. Величина его колеблется в широких пределах — $\lambda = 4500-16500$. Для оптимальной длины фильтрового каркаса ($\ell_{\text{ф}} = 20+25$ мм) значение его можно принимать равным $\lambda = 7000 + 7500$.

Отсюда толщина фильтровой обсыпки

$$\tau = \frac{D_{\text{скв}} \ell_{\text{ф}} - d_{\text{ф}} \cdot \pi}{\pi} \quad (21)$$

Вычисленные значения толщины фильтровой обсыпки этим методом для различных составов водоносных грунтов изменяются в пределах 350 + 600 мм. Причем большее значение его относится к тонко-, и мелкозернистым песчаным сложенным водоносным грунтам, а меньшее — к крупнозернистым.

2.3. Длина фильтра

При проектировании скважин вертикального дренажа в зависимости от мощности картируемого водоносного пласта назначается различная длина фильтра (от 10-15 до 45 и более метров).

Результаты обследования технического состояния скважин, построенных в различных природных условиях, и анализ величины восходящей скорости потока внутри колонны, рассчитанной по данным расходомерии, показывают, что нижняя часть фильт-

рового каркаса при длине $\ell_{\text{ф}} > 25$ м не только не участвует в формировании дебита скважины, но и полностью завалотся, так как в нижней части фильтрового каркаса величина восходящей скорости потока намного меньше скорости оседания частиц, увлекаемых откачиваемой водой.

Величина скорости восходящего потока (Ив.п.) для нормального выноса песка должна быть в 1,5-2,0 раза больше скорости естественного оседания (Ис.о.) или удовлетворять следующим условиям:

$$U_{\text{в.п.}} = (1.5-2) \cdot U_{\text{с.о.}} \approx (15-19) \quad (22)$$

Для условий работы вертикального дренажа величина Ис.о. изменяется в пределах 9-10 см/с.

В реальных условиях неравномерность притока по длине фильтра проявляется гораздо больше, чем это доказано теоретически. Причем, чем длиннее фильтр, тем больше неравномерность притока. В скважине с длиной фильтра более 25 м значительная часть ее остается незагруженной, и, как следствие, отмечается малая скорость восходящего потока в фильтровсей колонне, что способствует быстрому заилению нижней части фильтра.

Исходя из вышесказанного, оптимальную длину фильтрового каркаса для различных гидрогеолого-литологических условий рекомендуется назначать следующим образом.

Для предотвращения размыва покровного и подстилающего мелкозернистой длины фильтра назначается в зависимости от мощности пласта (m) в следующих пределах:

$$\text{при } m \text{ до } 10 \text{ м} \quad \ell_{\text{ф}} = m - (1 + 2) \text{ м};$$

$$\begin{aligned} \text{При } m \text{ до } 20 \text{ м} \quad \ell_{\phi} &= m - (2 + 3) \text{ м}; & 23) \\ \text{при } m > 20 \text{ м} \quad \ell_{\phi} &= m - (3 + 5) \text{ м}. \end{aligned}$$

Для гидродинамически несовершенных скважин длину фильтра рекомендуется принимать равной $\ell_{\phi} = (0,7 + 0,8)m$, но не более 25 м.

2.4. Диаметр фильтрового каркаса

Диаметр фильтрового каркаса назначается из условия пропуска максимального расхода и обеспечения свободного монтажа и демонтажа насосно-силового оборудования, размещения средств автоматики и телемеханики и удобства проведения профилактических мероприятий в скважине.

Внутренний диаметр фильтрового каркаса по условиям эксплуатации погружных электронасосов должен быть на 100 мм больше диаметра насосно-силового оборудования.

Диаметр фильтрового каркаса скважин вертикального дренажа следует выбирать не только по габаритам насосно-силового оборудования, но и рассчитывать из условия сохранения линейного закона движения потока в прифильтровой зоне. Кроме того, допустимые скорости движения воды в фильтровой колонне и водоподъемных трубах не должны превышать 1,5-2 м/с.

В.Н.Щелкачев, заменив действующий диаметр (определение которого в неоднородных грунтах оказалось не вполне четким) в формуле Н.Н.Павловского корнем квадратным из коэффициента проницаемости и произведи пересчет данных Н.Н.Павловского, предложил определить число Рейнольдса по следующей формуле:

$$Re_{\phi} = \frac{10}{m \ell_{\phi}} \cdot \frac{V \cdot \sqrt{K_{\phi}}}{\gamma},$$

$$K_{\phi} = K_{\phi} \cdot \frac{\gamma}{g}$$

Итак, допустимая скорость движения воды в прифильтровой зоне (в см/с) определяется по видоизмененной формуле Н.Н.Павловского и В.Н.Щелкачева:

$$V_{\phi \text{ доп}} = \frac{Re_{\phi} \cdot m \ell_{\phi}^2 \sqrt{g \cdot \gamma}}{10 \cdot \sqrt{K_{\phi}}}$$

или

$$V_{\phi \text{ доп}} = 0,328 \cdot \frac{Re_{\phi} \cdot m \ell_{\phi}^2}{\sqrt{K_{\phi}}}, \quad (24)$$

где g — ускорение силы тяжести, равное 981 см/с²;
 γ — коэффициент кинематической вязкости, который при температуре подземных вод в Голодной степи 17-19° равен 0,011 см²/с;
 Re_{ϕ} — критическое число Рейнольдса, значение которого для различных групп пористых сред колеблется в следующих интервалах:

однородная дробь — $Re_{\phi} = 13 + 14$;

однородный крупно-зернистый песок — $Re_{\phi} = 3 + 10$;

мелкозернистый песок с преобладанием зерен менее 0,1 мм

— $Re_{\phi} = 0,034 + 0,24$;

m_{ϕ} — пористость обсыпки, доли единицы;

K_{ϕ} — коэффициент фильтрации обсыпки, см/с.

По условиям водопроницаемости минимальный коэффициент фильтрации подобранного фильтра (обсыпки) не должен быть меньше значения K_{ϕ}^{min} , вычисленного по зависимости

$$K_{\phi} \geq K_{\phi}^{min} = (2 + \sqrt{2 \ell_{\phi}} \cdot K_r)$$

Здесь K_r — коэффициент фильтрации водоносного грунта;

K_{ϕ}^{min} — минимальное значение допустимого коэффициента

фильтрации гравийной обсыпки, определенное по экспериментальной зависимости М.П.Павлича:

$$K_{\text{ф}}^{\text{пл}} = \frac{3,99 \cdot \eta}{\sqrt{\eta}} \cdot \sqrt{\frac{\eta}{\rho \cdot (1 - m_{\text{ос}})}} \cdot Q_{\text{ит}}$$

По данным натурных исследований работоспособности вертикального дренажа, при скоростях входа в фильтровый каркас 1-4 см/с наблюдается устойчивая работа без пескования скважин.

Как показывает практика проектирования дренажных скважин в США, Индии, для обеспечения длительного срока службы фильтровой части вертикального дренажа скорость потока у входа должна составлять от 1 до 6 см/с.

Исходя из вышесказанного, оптимальный диаметр скважины из условия обеспечения ламинарного движения потока при подходе к фильтровому каркасу определяется так:

$$Q_{\text{max}} = v_{\text{дон}} \cdot \omega \quad (25)$$

или

$$d_{\text{ф.к}} = \frac{Q_{\text{max}}}{K \cdot \ell_{\text{ф}} \cdot v_{\text{дон}} \cdot \eta_{\text{ф.к}}} \quad (26)$$

Здесь $\eta_{\text{ф.к}}$ - скважность фильтрового каркаса, доли единицы;

Q_{max} - максимальный дебит скважины, м³/с;

$\ell_{\text{ф}}$ - длина фильтра, м.

Для определения диаметра фильтрового каркаса также можно использовать критерий $\frac{\ell_{\text{ф}}}{d_{\text{ф.к}}}$, значение которого устанавливается из уравнения

$$\frac{\ell_{\text{ф}}}{d_{\text{ф.к}}} = \frac{1}{5,66 \cdot K} \cdot \arctg \operatorname{th} \sqrt{\frac{K_{\text{ф}}}{2}} \quad (27)$$

где $\varepsilon_{\text{ф}}$ - коэффициент потерь фильтра, который находят из зависимости

$$\varepsilon_{\text{ф}} = \frac{\Delta h_{\text{ф}}}{Q^2 / g W^2}$$

Здесь $\Delta h_{\text{ф}}$ - разность уровней воды внутри фильтра и снаружи стенки, см;

g - ускорение силы тяжести, равное 981 см/с²;

W - площадь поперечного сечения фильтрового каркаса, см²;

$K_{\text{ф.к}}$ - обобщенный коэффициент, характеризующий конструкцию водопримных отверстий и наложение частиц породы на проходные отверстия фильтра;

K - коэффициент расхода, среднее значение которого по данным исследований равно 0,05-0,1.

Рекомендуемое оптимальное значение критерия $\frac{\ell_{\text{ф}}}{d_{\text{ф.к}}}$ для высокодебитных скважин вертикального дренажа, оборудованных гравийно-обсыпными фильтрами на основе трубчатых каркасов, составляет

$$\frac{\ell_{\text{ф}}}{d_{\text{ф.к}}} = 40-50 \quad (28)$$

2.5. Скважность фильтрового каркаса

Влияние скважности на дебит будет сказываться в большей степени в водах с неустойчивым химическим составом, склонных к осадкообразованию на фильтрах и в прифильтровой зоне. Для нахождения оптимального его значения воспользуемся зависимостью

$$Q = \frac{\pi D^2}{4} \cdot \sqrt{g \Delta h} \cdot \operatorname{th} 5,66 \cdot \frac{K \cdot \ell_{\text{ф}}}{d_{\text{ф.к}}} \quad (29)$$

Из этого уравнения следует, что максимальное значение дебита (Q) при прочих равных условиях может быть достигнуто при

$$t h 5,66 \cdot \frac{K \cdot \ell_{\phi}}{d_{\phi \kappa}} = 1 ; \quad (30)$$

откуда

$$5,66 \cdot \frac{K \cdot \ell_{\phi}}{d_{\phi \kappa}} = 3 \quad (31)$$

Подставляя в (31) значения $\frac{\ell_{\phi}}{d_{\phi \kappa}} = 40 + 50$, получим максимальное значение K :

$$K = \frac{3}{5,66 \cdot 283} \approx \eta ; \quad (32)$$

Отсюда предельное расчетное значение η при $K = 0,05-0,1$ будет равно

$$\eta = 20 + 22,5 \%$$

Для различных материалов при сохранении их механической прочности В.М. Гаврилко рекомендует предельную скважность фильтров в следующих пределах:

Фильтры труб Предельная скважность,

%

стальных.....	- 30
чугунных.....	- 15
асбестоцементных.....	- 25
деревянных и глиняных.....	- 15
виниловых.....	- 25
гончарных.....	- 17
перфорных.....	- 5

Однако в производственных условиях нарезку щелей на стальных трубах зачастую исполняют автогенно, что, по сравнению с фильтрами, изготовленными в заводских условиях, при разных значениях скважности намного снижает их механическую прочность.

В связи с этим, рекомендуемая скважность фильтров, изготовленных на местах автогенно, составляет 12-15%.

Подбор размеров и формы проходных отверстий фильтрового каркаса

Размеры и форму проходных отверстий подбирают в зависимости от фракционного состава грунта, прилегающего непосредственно к фильтровому каркасу. Размеры проходных отверстий при устройстве фильтров с гравийной обсыпкой рекомендуется назначать по следующим зависимостям:

для круглой перфорации -

$$d_{\text{отк}} = (1,2 - 1,5) \cdot D_{50} ;$$

для щелевой -

$$b_{\text{щ}} = (0,75 - 1,0) \cdot D_{50} ;$$

$$\ell_{\text{щ}} = (2,5 - 3,5) \cdot D_{50} ;$$

(33)

где D_{50} - средний диаметр фракции гравийно-песчаной обсыпки, мм;

$b_{\text{щ}}, \ell_{\text{щ}}$ - соответственно ширина и длина щелей, мм.

Круглые отверстия на фильтровом каркасе рекомендуется располагать в шахматном порядке, щелевые - винтообразно с углом наклона 15° .

Число отверстий, соответствующее заданной скважности фильтрового каркаса на I погонный метр длины, для круглой перфорации определяется по зависимости

$$n = \frac{4 \cdot d_{ф.к} \cdot 10000 \eta}{d_{ср}^2}; \quad (34)$$

Для щелевой —

$$n = \frac{2 \cdot d_{ф.к} \cdot 1000 \cdot \eta}{b_{ш} - l_{ш}}; \quad (35)$$

Фильтры с щелевой и дырчатой перфорацией при одинаковой скважности имеют, примерно, одинаковые сопротивления; с гидравлической же точки зрения наиболее рациональным следует признать фильтр с отверстиями, имеющими округлые формы, обеспечивающими высокий коэффициент расхода.

Но с учетом реальной возможности забивки и закупорки дырчатых отверстий частицами гравия и грунта водоносного пласта, для вертикального дренажа целесообразным считается щелевой каркас, причем нарезка щелей или отверстий должна производиться путем штампования или фрезерования.

В практике до настоящего времени для предотвращения заноса частиц обсыпки и уменьшения величины отверстий поверх фильтрового каркаса часто применяют проволоочную обмотку.

Исследования САИВЕРИ в Голодной степи на скважинах, оборудованных различными конструкциями фильтров, показали, что проволоочная обмотка поверх фильтрового каркаса увеличивает потери напора на 20-40% в зависимости от шага витка. В связи с этим при оборудовании скважин гравийно-песчаной обсыпкой применять проволоочную обмотку поверх фильтрового каркаса не следует. Устойчивость обсыпки и уменьшение опасности механической суффозии грунта водоносного пласта обеспечивается соответствующим подбором гранулометрического состава гравия.

Для центровки фильтровой колонны в скважине (с целью

получения одинаковой толщины гравийной обсыпки) необходимо предусматривать центрирующие фонари. Последние необходимо проектировать из полосовой стали шириной 50 ± 60 мм и толщиной 5-7 мм. Фонари привариваются с трех сторон по окружности колонны и устанавливаются через каждые 12-15 м при металлических трубах и 6-8 м — при асбестоцементных, бетонных и полимербетонных. Обязательным является приваривание направляющих (центрирующих) фонарей от начала и конца фильтрового каркаса на расстоянии 1-1,5 м. Если фильтровой каркас имеет длину больше 12-15 м, то необходимо ставить направляющие фонари и в середине его, желательно на месте соединения труб.

Длина отстойника во всех случаях назначается равной 0,5-1 м.

Фильтровая обсыпка устраивается однослойной и проектируется на всю глубину скважины, так как в период длительной эксплуатации возможно оседание и растекание гравийного материала в интервале расположения фильтрового каркаса.

При подсчете нужного объема (W) гравийно-песчаного материала для устройства фильтра необходимо пользоваться соотношением

$$W = 0,785 (D_s^2 - d_{ф.к}^2) H K_y \beta, \quad (36)$$

где D_s — диаметр бурения, м;

$d_{ф.к}$ — диаметр фильтрового каркаса, м;

H — глубина скважины, м;

K_y — коэффициент, учитывающий уплотнение и растекание обсыпки при стрелочных откачках, значение которого, по данным исследований, колеблется в пределах 1,25-1,5;

β - коэффициент, учитывающий возможное увеличение диаметра бурения во время проходки против проектной величины. Этот коэффициент при проходке скважин методом прямой промывки с применением глиняного раствора равен 1, а при всасывающем методе бурения чистой водой изменяется в пределах 1,2-1,25.

При оборудовании дренажных скважин гравийно-песчаной обсыпкой следует применять гравитационный способ загрузки материала. При обсыпке гравийно-песчаной смеси происходит отжатие воды из затрубного пространства и надфильтровой колонны. Поэтому необходимо над надфильтровой колонной устанавливать приемный кожух для временного отвода воды. Для предотвращения расслаивания гравийно-песчаной смеси и достижения равномерного формирования фильтра интенсивность ее загрузки должна быть в пределах 20-30 кг/с. Скорость гидравлической подачи должна быть не менее 1 м/с. Эти параметры выдерживаются только при применении принудительного метода подачи гравийно-песчаной смеси, который можно осуществить путем отсачивания воды из скважины сiphонным при одновременной засыпке. Сильно такой метод засыпки является удорожит строительство.

В настоящее время САННТИН рекомендуется для загрузки фильтровой обсыпки и забой съемная "бадья", которая легко прикрепляется после проходки ствола скважины к кондуктору. "Бадья" изготавливается из листовой стали толщиной 3-4 мм, в плане представляет собой 3/4 части окружности с изменяющимся уклоном. На 1/4 части окружности сделаны ворота для подталкивания обсыпки бульдозером. Уклон "бадья" со стороны ворот увеличивается в противоположную сторону, что позволяет производить равномерную загрузку фильтрового материала по

всей окружности яруса. Такой способ загрузки фильтрового материала намного облегчит процесс строительства скважин.

3. ГЛУБИНА СКВАЖИН

Установление оптимальной глубины скважины вертикального дренажа зависит от мощности покровного мелкозема и длины фильтра. Поэтому рациональная глубина скважины назначается в зависимости от конкретных природных условий орошаемого массива.

1. Для случая расположения насоса над фильтром -

$$H_{скаб} = S_{доп} + \Delta H_{ст} + \Delta H_n + \ell_{ф} + \ell_{отс} + \Delta H_{ф} + \sum \ell_{гф}; \quad (37)$$

2. Для расположения насоса в фильтре -

$$H_{скаб} = S_{доп} + \Delta H_{ф} + \ell_{ф} + \ell_{отс} + \ell_{га} + \sum \ell_{гф}; \quad (38)$$

3. Для расположения насоса в отстойнике -

$$H_{скаб} = S_{доп} + \Delta H_{ф} + \ell_{ф} + \ell_{отс} + \sum \ell_{гф}. \quad (39)$$

$$\ell_{отс} \geq H_n,$$

где $H_{скаб}$ - глубина скважины, м;

$S_{доп}$ - допустимое понижение в скважине, м;

$\Delta H_{ст}$ - высота водного столба над рабочей частью насоса, м;

ΔH_n - длина рабочей части насоса, м;

$\Delta H_{ф}$ - гидравлические потери в фильтре, м;

$\ell_{ф}$ - длина фильтра, м;

$\ell_{отс}$ - длина отстойника, м;

$2\ell_{гд}$ — длина глухой части трубы, перекрывающей водоносный пласт в месте расположения насоса, м;
 $\Sigma\ell_{гдф}$ — длина глухой части фильтра, перекрывающей в каптируемом пласте линзы покровных мелкоземов, м.

СОДЕРЖАНИЕ

	стр.
1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ	3
2. РАСЧЕТ ВОДОПРИЕМНОЙ ЧАСТИ СКВАЖИНЫ.....	6
2.1. Проектирование фильтровой обсадки для высокодебитных скважин вертикального дренажа.....	6
2.2. Толщина фильтра.....	16
2.3. Длина фильтра.....	18
2.4. Диаметр фильтрового каркаса.....	20
2.5. Сквозность фильтрового каркаса.....	23
3. ГЛУБИНА СКВАЖИНЫ.....	29