



МИНИСТЕРСТВО  
МЕЛИОРАЦИИ  
И ВОДНОГО  
ХОЗЯЙСТВА СССР

ЦЕНТРАЛЬНОЕ  
БЮРО  
НАУЧНО-  
ТЕХНИЧЕСКОЙ  
ИНФОРМАЦИИ  
ЦБНТИ

МЕЛИОРАЦИЯ  
И ВОДНОЕ  
ХОЗЯЙСТВО

ИЗЫСКАНИЯ  
И ПРОЕКТИРОВАНИЕ  
ГИДРОМЕЛИОРАТИВНЫХ  
СИСТЕМ

9  
СЕРИЯ

ЭКСПРЕСС

ИНФОРМАЦИЯ

2  
ВЫПУСК

5203

РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВОДОПРИЕМНОЙ ЧАСТИ  
ВЫСОКОДЕБИТНЫХ СКВАЖИН-УСИЛИТЕЛЕЙ  
КОМБИНИРОВАННОГО ДРЕНАЖА

В условиях неоднородного строения почвогрунтов, когда слабопроницаемые покровные мелкоземы мощностью более 3 м подстилаются сильнопроницаемыми гравелисто-песчаными отложениями, весьма перспективно применение комбинированного дренажа, позволяющего отводить грунтовые воды с помощью самоизливающихся скважин-усилителей, питающихся из подстилающего слоя. Самоизлив осуществляется под действием напора естественным путем и при инфильтрационном питании за счет подъема грунтовых вод в междреньи выше уровня воды, в горизонтальных дренах и коллекторах, к которым они подключены. До недавнего времени применение комбинированного дренажа из-за низкого дебита скважин ограничивалось опытными участками. Низкий дебит скважин был вызван большими гидравлическими потерями в системе усилитель-пласт и примитивной технологией строительства (табл. I).

Одним из важных резервов повышения эффективности комбинированного дренажа является разработка оптимальных конструкций скважин-усилителей и рациональной технологии строительства, так как даже незначительное сокращение фильтрационных потерь при малых величинах действующих напоров обеспечивает заметное увеличение дебита.

Исследования САНИИРИ, проводимые в 1975-1980 гг. на опытно-производственных участках комбинированного дренажа в Каршинской степи и в лабораторных условиях, позволяют сделать некоторые выводы, касающиеся проектирования высокодебитных скважин-усилителей, которые предлагается выполнять в виде буровых скважин, обсаженных неметаллическими трубами с песчано-гравийным фильтром большой толщины. Такая конструкция усилителей при бурении без применения глинистого раствора с последующей обсадкой, обсыпкой и незамедлительной откачкой в едином технологическом цикле обеспечивает значительное повышение их водозахватной способности.

Т а б л и ц а I

Характеристика основных конструктивных показателей  
опытных скважин-усилителей, монтируемых в различных зонах  
орошаемого земледелия

| Территория                                             | Мощ-<br>ность<br>покро-<br>вого<br>мелко-<br>земья,<br>м | Прони-<br>цаемость<br>покро-<br>вого мел-<br>коземья,<br>м/сут | Прово-<br>димость<br>полости<br>скважины,<br>м <sup>2</sup> /сут | Метод<br>бурения                  | Диам-<br>метр<br>буре-<br>ния,<br>м | Конст-<br>рукция<br>водо-<br>прием-<br>ной ча-<br>сти                           | Диам-<br>метр<br>филь-<br>товой<br>части,<br>м | Длина<br>филь-<br>товой<br>части,<br>м | Стро-<br>итель-<br>ная<br>смет-<br>ка | Удель-<br>ный<br>дебит,<br>л/с |
|--------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|----------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------|
| Чувакская долина (Кир-<br>гизская ССР)                 | 5-20                                                     | 0,7-1,0                                                        | 15-25                                                            | Ручной                            | 0,15                                | Негидро-<br>нравная<br>по-<br>лость                                             | -                                              | 3,0                                    | -                                     | 0,05-<br>0,02                  |
| Ташаузский оазис<br>(Туркменская ССР)                  | 5-9                                                      | 0,6-1,0                                                        | 250-400                                                          | Ручной<br>гидро-<br>раз-<br>рыв   | 0,15                                | Металли-<br>ческая<br>перфорир-<br>ованная<br>труба с<br>сетчатой<br>фильтром   | 0,1                                            | 5,5-7,8                                | -                                     | 1,19-<br>1,32                  |
| Паркент-Чувакская<br>долина (Таджики-<br>станская ССР) | 5-15                                                     | 0,5-3,0                                                        | 15000-<br>35000                                                  | То же                             | 0,15                                | -                                                                               | -                                              | 0,1-0,2                                | -                                     | 0,5                            |
| Караинская степь<br>(Узбекская ССР)                    | 5-15                                                     | 0,5-2,5                                                        | 250-400                                                          | Прямой<br>проник-<br>ной<br>урб-3 | 0,50<br>проник-<br>ной<br>урб-3     | Неметал-<br>лические<br>перфорир-<br>ованные<br>трубы с<br>сетчатой<br>фильтром | 0,1-<br>0,125                                  | 8-10                                   | 0,5                                   | 3,0-4,0<br>3,0-4,5             |

Результаты исследований, направленных на изучение работоспособности усилителей при разных диаметрах бурения, различной толщине обсыпки, разных конструкциях водоприемной части и различных расстояниях между ними позволили не только выбрать оптимальные параметры скважин-усилителей для условий Карпинской степи (табл. I), но и отработать общую методику расчета конструктивных элементов водоприемной части.

Общий порядок расчета основных конструктивных элементов водоприемной части скважин-усилителей наглядно можно представить в виде блок-схемы (рис. I). Дебит самонизливающейся скважины определяется литологическим строением пластов, их составом и проницаемостью, а также хозяйственными условиями, в том числе глубиной горизонтальной дренажной сети, и необходимыми понижениями грунтовых вод. Натурные исследования показали существование линейной зависимости между дебитом и понижениями уровня грунтовых вод (рис. 2). При заданных параметрах расчетных расходов, на которые проектируется водоприемная часть усилителей, это позволило вычислить удельный дебит  $Q$ , м<sup>3</sup>/сут:

$$\frac{Q}{\alpha S} = T \text{ или } Q = \alpha T S, \quad (I)$$

где  $T$  - проводимость водоносной толщи, м<sup>2</sup>/сут;

$S$  - глубина понижения грунтовых вод, м;

$\alpha$  - коэффициент, изменяющийся от I до I,5.

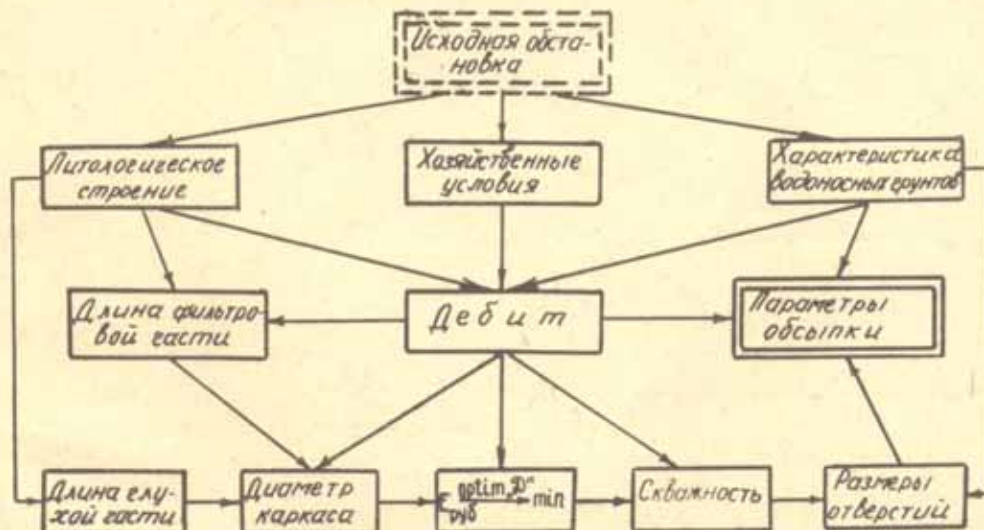
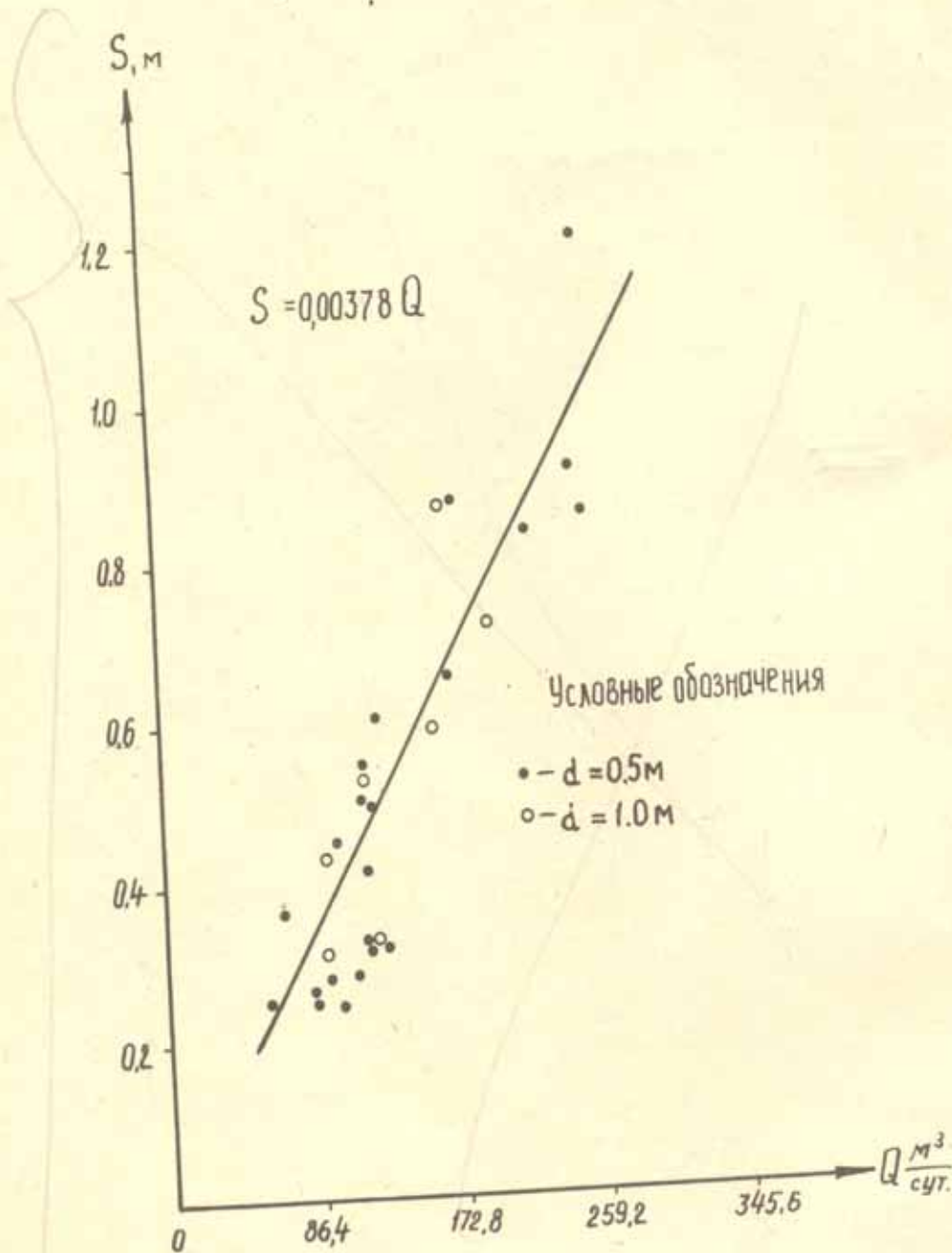


Рис. I. Блок-схема подбора конструктивных элементов водоприемной части высокодебитных скважин-усилителей



Длина фильтровой части скважин-усилителей при известном дебите выбирается в зависимости от литологического строения и принимается равной мощности водоносного пласта при его высоте до 10 м. Если мощность водоносного горизонта превышает 10 м, дальнейшее увеличение длины фильтра представляется нецелесообразным, так как не вызовет существенного увеличения дебита усилителя при постоянной величине действующих напоров. При большой длине водоприемной части усилителя заметно возрастают потери напора на перенос объема жидкости внутри фильтра, вызванные преодолением сил внутреннего трения и прохождением потока через стенку фильтра.

Как показывают наблюдения, даже при рекомендуемом размере фильтра действие этих потерь приводит к формированию большой неравномерности нагрузки по длине фильтра (рис. 3).

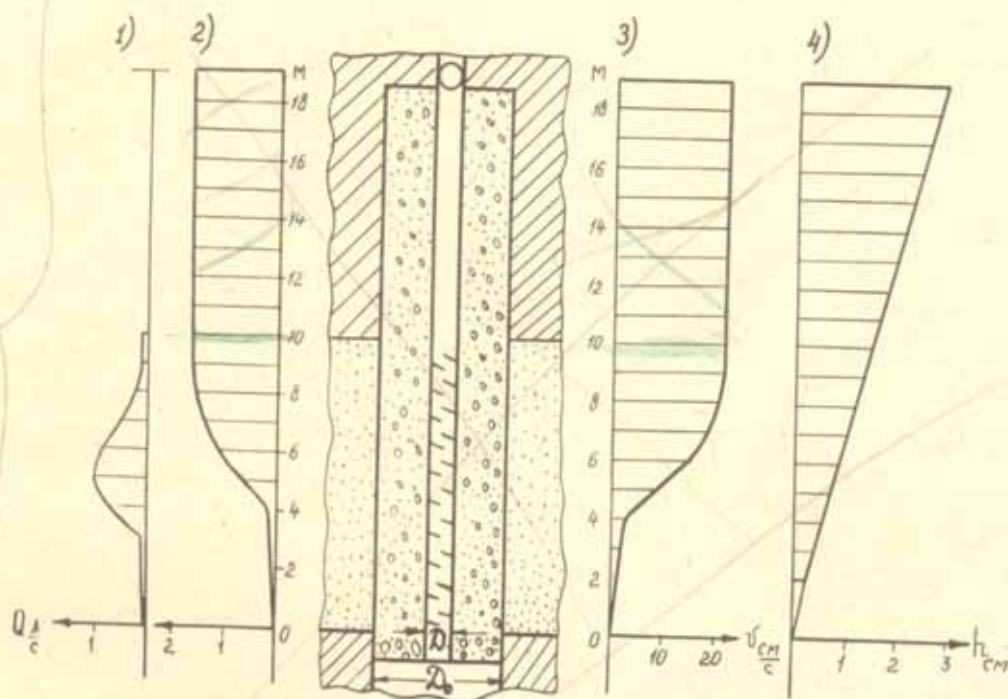


Рис. 3. Конструкция высокодебитного усилителя с эпорами распределения единичных (1) и суммарных (2) расходов, скоростей (3) и потерь напора (4) по длине водоподъемной трубы

При увеличении длины фильтра нижняя часть практически не участвует в заборе воды, и весь приток формируется в верхней части фильтра. В общем случае гидравлические потери на трение в глухой трубе и в фильтре определяются по зависимости:

$$h_{r(\varphi)} = \frac{8Q^2 L_{r(\varphi)}}{g\pi^2 D^5} \lambda_{r(\varphi)}, \quad (2)$$

где  $Q$  — расход усилителя, м<sup>3</sup>/с;

$L_{r(\varphi)}$  — длина, соответствующая глухой или фильтровой части водоподъемной трубы, м;

$D$  — диаметр водоподъемной трубы, м;

$\lambda_{r(\varphi)}$  — коэффициент сопротивления соответственно для глухой или фильтровой части водоподъемной трубы (табл. 2);

$\lambda_{\varphi} = \lambda_r \cdot \zeta_0$ , где  $\zeta_0$  — суммарный поправочный коэффициент, учитывающий влияние прироста скорости потока вдоль фильтра (табл. 2).

Таблица 2  
Расчетные значения коэффициентов сопротивления для усилителей  
сделанных из асбестоцементных и полимерных труб

| Показатель         | Коэффициенты сопротивления при $Q$ , м <sup>3</sup> /с |         |         |         |         |         |        |         |         |
|--------------------|--------------------------------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|---------|---------|
|                    | 0,001                                                  |         |         | 0,003   |         |         | 0,06   |         |         |
|                    | D=0,080                                                | D=0,100 | D=0,125 | D=0,080 | D=0,100 | D=0,125 | D=0,80 | D=0,100 | D=0,125 |
| $\lambda_r$ а/а тр | 0,031                                                  | 0,025   | 0,023   | 0,032   | 0,026   | 0,024   | 0,033  | 0,027   | 0,024   |
| $\lambda_r$ п/а тр | 0,034                                                  | 0,027   | 0,023   | 0,036   | 0,028   | 0,024   | 0,038  | 0,029   | 0,025   |
| $\zeta_0$          | 0,599                                                  | 0,456   | 0,403   | 0,616   | 0,496   | 0,436   | 0,633  | 0,533   | 0,466   |

Как видно из зависимости (2), уменьшение диаметра фильтрового каркаса вызывает увеличение потерь, что требует дополнительных затрат для обеспечения проектного дебита. Увеличение диаметра сокращает потери, но увеличивает капитальные затраты. Оптимальный диаметр определяется минимумом функции

$$E = \left[ L_{\varphi} \bar{\ell}_{\varphi}(D) + L_r \bar{\ell}_r(D) + L_{\varphi} \frac{\pi}{4} (D_0^2 - D^2) \bar{C} \right] n \rightarrow \min, \quad (3)$$

- где  $\bar{\ell}_\phi$  — удельная стоимость фильтровой части трубы в зависимости от диаметра  $D$ , руб;  
 $\bar{\ell}_r$  — удельная стоимость глухой части трубы в зависимости от диаметра  $D$ , руб;  
 $D_o$  — диаметр обсыпки (бурения), м;  
 $\bar{c}$  — удельная стоимость 1 м<sup>3</sup> функционирующего фильтра, руб;  
 $n$  — коэффициент, представляющий собой отношение максимально возможного дебита  $Q_{max}$  к дебиту  $Q_i$ , определяемому с учетом величины суммарных потерь в фильтре и глухой части водоподъемной трубы при различных диаметрах  $D$ .

По результатам натурных наблюдений за усилителями, устроенными вдоль дрен и коллекторов в совхозах Карпинской степи, установлено, что их дебиты при возможных величинах действующих напоров в пределах 1–2 м равны 3–6 л/с. При таких дебитах усилителей и возможной длине глухой части водоподъемной колонны до 20 м оптимальное значение диаметра фильтрового каркаса составляет 0,1–0,125 м.

Основным условием, обеспечивающим длительную и эффективную работоспособность водоприемной части скважин-усилителей при минимальных потерях напора является сохранение линейного режима фильтрации у входа воды в фильтровый каркас.

При заданном диаметре фильтрового каркаса это условие выполняется путем подбора необходимой величины скважности фильтрового каркаса  $P$  по формуле:

$$P = \frac{\mathcal{J} \cdot Q \cdot \alpha}{\pi D L_\phi \varepsilon_\kappa}, \quad (4)$$

где  $\mathcal{J}$  — коэффициент, учитывающий неравномерность притока по длине фильтрового каркаса,  $\mathcal{J} = 0,4–0,5$ ;

$\varepsilon_\kappa$  — допустимая погрешность в расчетах определения коэффициента фильтрации;

$\alpha$  — определяется двумя способами;

при использовании в расчетах коэффициента фильтрации обсыпки  $\kappa$  по формуле:

$$\alpha = \rho \sqrt{\frac{\kappa}{\nu g}}, \quad \text{где} \quad \rho = \frac{0,09}{n^2(1-n)};$$

при применении в расчетах значения диаметра зерен  $d$  по зависимости:

$$\lambda = 0,0025 \frac{d}{n^2(1-n)\nu},$$

здесь  $n$  — пористость грунта,  $\nu$  — кинематический коэффициент вязкости.

Расчетная скважность фильтрового каркаса по приведенным результатам наблюдений при оптимальном значении диаметра  $D = 0,100-0,125$  м составляет 3-6%. Однако с учетом длительности срока службы усилителей и возможности кольматации скважность фильтрового каркаса должна составлять не менее 6%.

Размеры водоприемных отверстий рассчитываются для фильтрового каркаса, наполненного крупнозернистыми песками со средним диаметром  $d_{50}$  не менее 2 мм, по соотношениям:

$$d_0 = (3,5-4) d_{50} \quad \text{— при наличии круглых отверстий и}$$

$$\delta = (1,5-2) d_{50} \quad \text{— при наличии щелевых отверстий.}$$

Для обеспечения большей пропускной способности с сохранением достаточной прочности при принятых диаметре и скважности форму отверстий рекомендуется принимать в виде спиралеобразно размещенных щелей с размерами  $\delta = 3-4$  мм и  $\ell = 100$  мм.

Проектирование фильтровой обсыпки скважин-усилителей осуществляется исходя из условия сохранения устойчивости в двух наиболее ответственных зонах: "перфорация труб — фильтр" и "защищаемый грунт — фильтр".

Работа скважин-усилителей характеризуется невысокими значениями удельных дебитов, входных скоростей и градиентов, что позволяет при подборе состава фильтровой обсыпки снизить требования, предъявляемые к фильтрам вертикального дренажа.

Согласно представлениям, сложившимся в результате лабораторных и полевых опытов, предотвратить попадание частиц контактного грунта в перфорацию можно за счет устройства над водоприемными отверстиями сводиков из частиц, для которых выполняется условие  $d \geq 0,6 \delta$ . Диаметр частиц фильтровой обсыпки при строительной откачке принимается равным  $D_{min} = 1,8$  мм, так как при нем обеспечивается условие сводообразования на стыке перфорационных труб. Максимальный диаметр частиц фильтровой обсыпки определяется с учетом условий строительного производства и технологии изготовления гравийного материала для скважин-усилителей в различных зонах.

В результате широких лабораторных и натурных исследований установлены оптимальные параметры фильтровой обсыпки, обеспечивающие минимальные сопротивления водоприемной части скважин-усилителей (табл. 3).

Т а б л и ц а   3

Рекомендуемые параметры фильтровой обсыпки высоко-  
дебитных скважин-усилителей

| Дренаруемые<br>грунты                                      | Диаметр обсыпки скважин-усилителей, мм |          |          |          |          |          |           |                             |
|------------------------------------------------------------|----------------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|-----------------------------|
|                                                            | $\frac{D_{50}}{d_{50}}$                | $D_{10}$ | $D_{17}$ | $D_{50}$ | $D_{60}$ | $D_{85}$ | $D_{100}$ | $l = \frac{D_{60}}{D_{10}}$ |
| Крупнозернистые<br>пески<br>$d_{50}=2-1$ мм                | 35-40                                  | 5,0-8,0  | 6,0-13,0 | 17-35    | 20-38    | 26-39    | 30-40     | 3-7                         |
| Среднезернистые<br>пески<br>$d_{50}=1-0,5$ мм              | 25-35                                  | 2,8-5,0  | 3,0-6,0  | 6-17     | 8-20     | 15-26    | 20-30     | 3-7                         |
| Мелкозернистые<br>пески<br>$d_{50}=0,5-0,25$ мм и<br>менее | 20-25                                  | 1,9-2,8  | 2,0-3,0  | 2,5-6    | 3,5-8    | 7-15     | 10-20     | 3-7                         |

Надежность конструкции скважин-усилителей при принятых соотношениях размеров частиц обсыпки и водоносного грунта определяется также гидродинамическими условиями движения воды в контакте "фильтр-порода" в зависимости от проектного дебита и размеров водоприемной поверхности. Оптимальные размеры водоприемной поверхности, обеспечивающие скорости, допустимые на контакте "порода-обсыпка", определяются соотношением

$$D_0 = \frac{Q}{5000 K L_{\phi}} \left( \frac{D_{50}}{d_{50}} \right)^2,$$

где  $Q$  - дебит скважины-усилителя, м<sup>3</sup>/сут;

$K$  - коэффициент фильтрации породы, м/сут;

$L_{\phi}$  - длина фильтра, м.

Толщина фильтровой обсыпки вычисляется по формуле:

$$T = \frac{D_0 - D}{2}.$$

Натурные наблюдения за работоспособностью усилителей в условиях Карпинской степи показали, что высокая водозахватывающая способность и достаточная надежность конструкции водоприемной части обеспечиваются уже при диаметре бурения 0,5 м (при толщине обсыпки до 200 мм). Дальнейшее увеличение диаметра бурения представляется нецелесообразным.

#### Л и т е р а т у р а

А л ь т ш у л ь А.Д. Гидравлические сопротивления. М., "Недра", 1970.

*Bea r J. Dynamics of Fluids of Porous Media, 1972.*

М и р о н е н к о В.А., Ш е с т а к о в В.М. Теория и практические методы интерпретации опытно-фильтрационных работ. М., "Недра", 1978.

Канд. техн. наук В.А. Духовный,  
канд. техн. наук Х.И. Якубов,  
канд. геол.-минерал. наук  
В.Г. Насонов, П.Д. Умаров  
(САННИИРИ)