

ВОПРОСЫ ГИДРОТЕХНИКИ

ВЫПУСК

17

ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НАУК УЗБЕКСКОЙ ССР

ЎЗБЕКИСТОН ССР ФАНЛАР АКАДЕМИЯСИ

СУВ ПРОБЛЕМАЛАРИ ВА ГИДРОТЕХНИКА ИНСТИТУТИ

ГИДРОТЕХНИКА МАСАЛАЛАРИ

17-КИТОБ

ЕР МАЙДОНЛАРИНИ СУҒОРИШ
ВА УЛАРНИНГ МЕЛИОРАЦИЯСИ

ЎЗБЕКИСТОН ССР „ФАН“ НАШРИЁТИ

ТОШКЕНТ - 1964

А К А Д Е М И Я Н А У К У З Б Е К С К О Й С С Р

ИНСТИТУТ ВОДНЫХ ПРОБЛЕМ И ГИДРОТЕХНИКИ

ВОПРОСЫ ГИДРОТЕХНИКИ

ВЫПУСК 17

ОРОШЕНИЕ И МЕЛИОРАЦИЯ
ЗЕМЕЛЬ

ИЗДАТЕЛЬСТВО „НАУКА“ УЗБЕКСКОЙ ССР

ТАШКЕНТ • 1964

В сборнике приведены результаты наблюдений за работой вертикального и горизонтального дренажа в Голодной степи, на основе которых определены технико-экономические показатели этих дренажей; описаны методы расчета оптимальных глубин, диаметров скважин и расстояний между ними; предложено решение задачи о неустановившейся фильтрации к скважине, вскрывающей произвольное число взаимосвязанных напорных горизонтов; указаны пути дальнейшего уменьшения стоимости как горизонтального, так и вертикального дренажа.

Освещен опыт изучения химической дефолиации при помощи дождевания.

Книга предназначена для научных работников, сотрудников проектных и эксплуатационных организаций, гидрогеологов, аспирантов, преподавателей и студентов, специализирующихся в области гидротехники и мелиорации.

Редакционная коллегия

З. Х. ХУСАН-ХОДЖАЕВ (отв. редактор), член-корреспондент АН УзССР М. С. ВЫЗГО, С. Г. ЗАПРОМЕТОВ, Е. Д. РОЖДЕСТВЕНСКИЙ, А. М. МУХАМЕДОВ, М. В. БУТЫРИН, М. В. ВАСИЛЬЕВ, И. И. ГОРОШКОВ, Н. Ф. ЦВЕТИКОВА, Г. Г. ВАЛЕНТИНИ.

В. А. БАРОН

НЕУСТАНОВИВШИЙСЯ ПРИТОК ПОДЗЕМНЫХ ВОД К СКВАЖИНЕ В ПРОИЗВОЛЬНОМ ЧИСЛЕ ВЗАИМОСВЯЗАННЫХ НАПОРНЫХ ГОРИЗОНТОВ

В работе В. А. Эмиха [1] излагается вопрос об установившейся фильтрации подземных вод к скважине, вскрывающей n взаимосвязанных напорных горизонтов. Рассмотрим этот же вопрос для случая не установившейся фильтрации.

Пусть скважина вскрывает n хорошо проницаемых напорных горизонтов, отделенных друг от друга слабопроницаемыми прослойками грунта (рис. 1). Примем ось скважины за полярную ось. Тогда уравнение неразрывности потока для i -го пласта, характеризуемого напором h_i , примет вид [2, 3]

$$\sigma_i \frac{\partial h_i}{\partial t} = \beta_i \left(\frac{\partial^2 h_i}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial h_i}{\partial r} \right) + \gamma_{i-1} h_{i-1} - (\gamma_{i-1} + \gamma_i) h_i + \gamma_i h_{i+1}, \quad (1)$$

где

$$\beta_i = k_i m_i; \quad \gamma_i = \frac{\lambda_i}{\mu_i};$$

σ_i — эффективная порозность грунта, слагающего i -й пласт;

h_0 и h_{n+1} — напоры в нулевом и $n+1$ -м горизонтах, принимаемые постоянными.

При начальных условиях

$$\Delta h_i = 0, \quad \frac{\partial h_i}{\partial t} = 0$$

система (1) превращается в систему алгебраических уравнений первого порядка, однозначно определяющих частные решения (1),

$$h_i = h_i^{(1)} = \text{const}, \quad i = 1, \dots, n,$$

соответствующие статическому состоянию пластов [1].

Для решения системы дифференциальных уравнений в частных производных (1) применим к ней преобразование Лапласа по t [4],

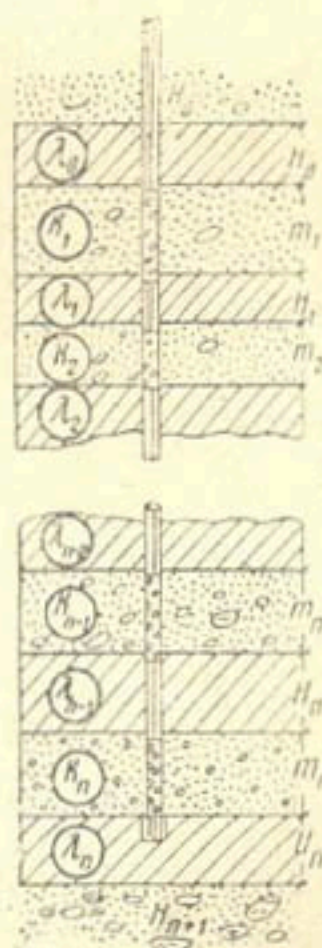


Рис. 1. Схема заложения скважины в n пластах.

учитывая, что при $t=0$ $h_i = h_i^{(1)}$. Теперь получим новую систему уравнений первого порядка:

$$\beta_i \Delta H_i + \gamma_{i-1} H_{i-1} - (\gamma_{i-1} + \gamma_i + p\sigma_i) H_i + \gamma_i H_{i+1} = -\sigma_i h_i^{(1)}, \quad (2)$$

где $h_i = H_i$ и $i = 1, \dots, n$.

Общее решение системы (2) является суммой частных решений ее и решений однородной системы уравнений, соответствующей системе (2). Очевидно, что частными решениями системы (2) будут постоянные $H_i^{(1)}$, определяемые уравнениями

$$H_i^{(1)} = \frac{\Delta_i}{\Delta}, \quad (3)$$

где

$$\Delta_i = \begin{vmatrix} -(\gamma_0 + \gamma_1 + p\sigma_1) & \gamma_1 & 0 \dots 0 & 0 \\ \gamma_1 & -(\gamma_1 + \gamma_2 + p\sigma_2) & \gamma_2 \dots 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 \dots \gamma_{i-2} - (\gamma_{i-2} + \gamma_{i-1} + p\sigma_{i-1}) & \\ 0 & 0 & 0 \dots 0 & \gamma_{i-1} \\ 0 & 0 & 0 \dots 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 \dots 0 & 0 \\ -\sigma_1 h_1^{(1)} - \frac{\gamma_0 H_0}{p} & 0 & 0 \dots 0 & 0 \\ -\sigma_2 h_2^{(1)} & 0 & 0 \dots 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ -\sigma_{i-1} h_{i-1}^{(1)} & 0 & 0 \dots 0 & 0 \\ -\sigma_i h_i^{(1)} & \gamma_i & 0 \dots 0 & 0 \\ -\sigma_{i+1} h_{i+1}^{(1)} - (\gamma_i + \gamma_{i+1} + p\sigma_{i+1}) & \gamma_{i+1} \dots 0 & & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ -\sigma_n h_n^{(1)} - \frac{\gamma_n H_{n+1}}{p} & 0 & 0 \dots \gamma_{n-1} - (\gamma_{n-1} + \gamma_n + p\sigma_n) & \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ -(\gamma_0 + \gamma_1 + p\sigma_1) & \gamma_1 & 0 \dots 0 & 0 \\ \gamma_1 & -(\gamma_1 + \gamma_2 + p\sigma_2) & \gamma_2 \dots 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 \dots \gamma_{i-2} - (\gamma_{i-2} + \gamma_{i-1} + p\sigma_{i-1}) & \\ 0 & 0 & 0 \dots 0 & \gamma_{i-1} \\ 0 & 0 & 0 \dots 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 \dots 0 & 0 \end{vmatrix}$$

$$\begin{vmatrix}
0 & 0 & 0 \dots 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 \dots 0 & 0 \\
\vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\
\gamma_{i-1} & 0 & 0 \dots 0 & 0 \\
-(\gamma_{i-1} + \gamma_i + p\sigma_i) & \gamma_i & 0 \dots 0 & 0 \\
\gamma_i & -(\gamma_i + \gamma_{i+1} + p\sigma_{i+1}) & \gamma_{i+1} \dots 0 & 0 \\
\vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\
0 & 0 & 0 \dots \gamma_{n-1} & -(\gamma_{n-1} + \gamma_n + p\sigma_n)
\end{vmatrix}$$

Решение однородной системы уравнений, соответствующей системе (2), будем искать в виде

$$H_i = A_i K_0(\omega r) + B_i I_0(\omega r), \quad (3')$$

где $I_0(\omega r)$ и $K_0(\omega r)$ — функции Бесселя первого и второго рода мнимого аргумента нулевого порядка.

Вследствие условия ограниченности H_i при $r \rightarrow \infty$ в выражении (3') следует положить $B_i = 0$ [2] (так как при $r \rightarrow \infty I_0(\omega r) \rightarrow \infty$). Таким образом, решение однородной системы, соответствующей уравнениям (2), нужно искать в виде

$$H_i = A_i K_0(\omega r). \quad (4)$$

Подставив значение H_i из системы (4) в однородную систему (2), после сокращения на $K_0(\omega r)$ получим

$$\begin{aligned}
\gamma_{i-1} A_{i-1} + (\beta_i \omega^2 - \gamma_{i-1} - \gamma_i - p\sigma_i) A_i + \gamma_i A_{i+1} &= 0 \\
(i = 1, \dots, n; A_0 = A_{n+1} = 0).
\end{aligned} \quad (5)$$

Так как для существования отличных от нуля решений системы (5) определитель ее должен быть равен нулю, то из этого условия можно вывести уравнение для определения ω^2 :

$$0 = \begin{vmatrix}
\beta_1 \omega^2 - \gamma_0 - \gamma_1 - p\sigma_1 & \gamma_1 & & \\
\gamma_1 & \beta_2 \omega^2 - \gamma_1 - \gamma_2 - p\sigma_2 & \gamma_2 & \\
\vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\
0 & 0 & 0 \dots \gamma_{n-1} & \beta_n \omega^2 - \gamma_{n-1} - \gamma_n - p\sigma_n
\end{vmatrix}. \quad (6)$$

В. А. Эмих доказал, что уравнение (6) имеет n простых положительных корней. Решив это уравнение, получим $\omega_1, \dots, \omega_n$. Подставив каждое значение ω_k в систему (5) и решив ее относительно A_{ik} , найдем решения $\{A_{1k}, A_{2k}, \dots, A_{nk}\}$, используя которые, можем записать решения системы (2) в таком виде:

$$H_i = H_i^{(1)} + \sum_{k=1}^n A_{ik} K_0(\omega_k r) \quad (i = 1, \dots, n), \quad (7)$$

где постоянные A_{ik} определяются величиной напора на границе со

скважиной в каждом пласте. Применив к системе (7) теорему обращения L -изображения [4], получим систему уравнений, определяющих пьезометрические напоры в n дренируемых взаимосвязанных пластах.

В качестве примера рассмотрим случай, когда скважина дренирует два водоносных пласта, ограниченных сверху и снизу слабопроницаемыми грунтами.

Пусть $\gamma_0 = \gamma_1 = \gamma_2 = \gamma$; $\beta_1 = \beta_2 = \beta$. Тогда частными решениями системы (1), характеризующими статическое состояние пластов, будут

$$\left. \begin{aligned} h_1^{(1)} &= \frac{2h_0 + h_3}{3} \\ h_2^{(1)} &= \frac{h_0 + 2h_3}{3} \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

П. Я. Полубаринова-Кочина [2] отметила, что $h_1^{(1)}$ и $h_2^{(1)}$ определяют такие пьезометрические напоры в первом и втором пластах, которые должны здесь установиться при заданных напорах h_0 и h_3 , если подземные воды находятся в равновесии. Таким образом, задача о неустановившейся фильтрации к скважине, дренирующей два пласта, сводится к интегрированию системы (1) (где $i = 1, 2$) при начальном условии (8).

Применив к системе (1) преобразование Лапласа по t , получим

$$\left. \begin{aligned} \beta \Delta H_1 - (2\gamma + p\sigma) H_1 + \gamma H_2 &= -\sigma h_1^{(1)} - \frac{\gamma h_0}{p} \\ \beta \Delta H_2 + \gamma H_1 - (2\gamma + p\sigma) H_2 &= -\sigma h_2^{(1)} - \frac{\gamma h_3}{p} \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

Частным решением этой системы являются уравнения

$$\left. \begin{aligned} H_1^{(0)} &= \frac{ap^2 + bp + c}{(dp^2 + zp + f)p} \\ H_2^{(0)} &= \frac{a_1p^2 + b_1p + c_1}{(dp^2 + zp + f)p} \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

где

$$\begin{aligned} a &= \sigma^2 h_1^{(1)}, \quad a_1 = \sigma^2 h_2^{(1)}; \\ b &= \sigma\gamma \frac{8h_0 + 6h_3}{3}, \quad b_1 = \sigma\gamma \frac{4h_0 + 8h_3}{3}; \\ c &= \gamma^2 (2h_0 + h_3), \quad c_1 = \gamma^2 (2h_3 + h_0); \\ d &= \sigma^2; \quad z = 4\sigma\gamma; \quad f = 3\gamma^2. \end{aligned}$$

Решение однородной системы уравнений, соответствующей системе (9), будем искать в виде

$$H_1 = A_1 K_0(\omega r), \quad H_2 = A_2 K_0(\omega r).$$

После подстановки этих решений в однородную систему получим

$$\left. \begin{aligned} (\omega^2\beta - 2\gamma - p\sigma) A_1 + \gamma A_2 &= 0 \\ \gamma A_1 + (\omega^2\beta - 2\gamma - p\sigma) A_2 &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

Отсюда следует уравнение

$$\left| \begin{array}{cc} \omega^2 \beta - (2\gamma + p\sigma) & \gamma \\ \gamma & \omega^2 \beta - (2\gamma + p\sigma) \end{array} \right| = 0,$$

из которого можно определить

$$\omega_1^2 = \frac{3\gamma + p\sigma}{\beta}, \quad \omega_2^2 = \frac{\gamma + p\sigma}{\beta}.$$

Подставив значения ω_1^2 и ω_2^2 в систему (11), получим с точностью до постоянного множителя соответственно из первого и второго уравнений

$$H_1^{(1)} = C_1 K_0(\omega_1 r), \quad H_2^{(1)} = -C_1 K_0(\omega_1 r)$$

и

$$H_1^{(2)} = C_2 K_0(\omega_2 r), \quad H_2^{(2)} = C_2 K_0(\omega_2 r).$$

Таким образом, решения системы (2) будут иметь вид

$$\left. \begin{aligned} H_1 &= \frac{ap^2 + bp + c}{(dp^2 + \kappa p + f)p} + C_1 K_0(\omega_1 r) + C_2 K_0(\omega_2 r) \\ H_2 &= \frac{a_1 p^2 + b_1 p + c}{(dp^2 + \kappa p + f)p} - C_1 K_0(\omega_1 r) + C_2 K_0(\omega_2 r) \end{aligned} \right\}, \quad (12)$$

где C_1 и C_2 — постоянные, определяемые из граничных условий.

Для определения этих постоянных предположим, что скважина откачивает из первого пласта Q_1 воды, а из второго — Q_2 . Так как

$$Q_i = -2\pi r_0 \beta_i \left. \frac{\partial h_i}{\partial r} \right|_{r=r_0}$$

(r_0 — радиус скважины), то после преобразования Лапласа получим

$$\left. \begin{aligned} \frac{Q_1}{p} &= -2\pi r_0 \beta [\omega_1 C_1 K_1(\omega_1 r_0) + \omega_2 C_2 K_1(\omega_2 r_0)] \\ \frac{Q_2}{p} &= -2\pi r_0 \beta [-\omega_1 C_1 K_1(\omega_1 r_0) + \omega_2 C_2 K_1(\omega_2 r_0)] \end{aligned} \right\}. \quad (13)$$

Отсюда

$$\left. \begin{aligned} C_1 &= \frac{Q_2 - Q_1}{4\pi r_0 \beta \omega_1 p K_1(\omega_1 r_0)} \\ C_2 &= -\frac{Q_1 + Q_2}{4\pi r_0 \beta \omega_2 p K_1(\omega_2 r_0)} \end{aligned} \right\}. \quad (14)$$

Подставив выражения для C_1 и C_2 из системы (14) в (12), найдем решение уравнений (12):

$$\begin{aligned}
H_1 &= \frac{ap^2 + bp + c}{(dp^2 + zp + f)p} + \frac{Q_2 - Q_1}{4\pi r_0 \sqrt{\beta} p \sqrt{3\gamma + \sigma p}} \times \\
&\times \frac{K_0(\omega_1 r)}{K_1(\omega_1 r_0)} - \frac{Q_1 + Q_2}{4\pi r_0 \sqrt{\beta} p \sqrt{\gamma + p\sigma}} \frac{K_0(\omega_2 r)}{K_1(\omega_2 r_0)} \\
H_2 &= \frac{a_1 p^2 + b_1 p + c_1}{(dp^2 + zp + f)p} - \frac{1}{4\pi r_0 \sqrt{\beta} p} \left[\frac{Q_2 - Q_1}{\sqrt{3\gamma + \sigma p}} \frac{K_0(\omega_1 r)}{K_1(\omega_1 r_0)} + \right. \\
&\quad \left. + \frac{Q_1 + Q_2}{\sqrt{\gamma + \sigma p}} \frac{K_0(\omega_2 r)}{K_1(\omega_2 r_0)} \right]
\end{aligned} \quad (15)$$

Применив к (15) теорему об $\mathcal{L}$ -изображении, получим

$$\begin{aligned}
h_1 &= \left(\frac{a}{d} - \frac{c}{f} \right) e^{-\frac{x}{2d}t} \cos \sqrt{\frac{f}{d} - \left(\frac{x}{2d} \right)^2} - \\
&- \left(\frac{ax}{2d^2} - \frac{b}{d} - \frac{cx}{2fd} \right) e^{-\frac{x}{2d}t} \sin \sqrt{\frac{f}{d} - \left(\frac{x}{2d} \right)^2} + \frac{c}{f} + \\
&+ \frac{1}{4\pi r_0 \sqrt{\beta}} \left[\frac{Q_2 - Q_1}{2\pi i} \int_{d-i\infty}^{d+i\infty} \frac{K_0(\omega_1 r)}{K_1(\omega_1 r_0)} \frac{e^{\lambda t} d\lambda}{\lambda \sqrt{3\gamma + \sigma \lambda}} - \right. \\
&\quad \left. - \frac{Q_1 + Q_2}{2\pi i} \int_{d-i\infty}^{d+i\infty} \frac{K_0(\omega_2 r)}{K_1(\omega_2 r_0)} \frac{e^{\lambda t} d\lambda}{\lambda \sqrt{\gamma + \sigma \lambda}} \right] \\
h_2 &= \left(\frac{a_1}{d} - \frac{c_1}{f} \right) e^{-\frac{x}{2d}t} \cos \sqrt{\frac{f}{d} - \left(\frac{x}{2d} \right)^2} - \left(\frac{a_1 x}{2d^2} - \frac{b_1}{d} - \frac{c_1 x}{2fd} \right) \times \\
&\times e^{-\frac{x}{2d}t} \sin \sqrt{\frac{f}{d} - \left(\frac{x}{2d} \right)^2} + \frac{c_1}{f} + \frac{1}{4\pi r_0 \sqrt{\beta}} \times \\
&\times \left[\frac{Q_2 - Q_1}{2\pi i} \int_{d-i\infty}^{d+i\infty} \frac{K_0(\omega_1 r)}{K_1(\omega_1 r_0)} \frac{e^{\lambda t} d\lambda}{\lambda \sqrt{3\gamma + \sigma \lambda}} + \right. \\
&\quad \left. + \frac{Q_2 + Q_1}{2\pi i} \int_{d-i\infty}^{d+i\infty} \frac{K_0(\omega_2 r)}{K_1(\omega_2 r_0)} \frac{e^{\lambda t} d\lambda}{\lambda \sqrt{\gamma + \sigma \lambda}} \right]
\end{aligned} \quad (16)$$

Для вычисления интеграла

$$\frac{1}{2\pi i} \int_{d-i\infty}^{d+i\infty} e^{\lambda t} \frac{K_0(\omega r)}{K_1(\omega r_0)} \cdot \frac{d\lambda}{\lambda \omega},$$

где $\omega = \sqrt{a + \lambda}$, рассмотрим контур интегрирования (рис. 2). Внутри этого контура подынтегральная функция нигде полюсов не имеет и

поэтому

$$\int_{B'}^B + \int_B^A + \int_A^F + \int_F^{-a-r} + \int_{\gamma_r}^{-a+r} + \int_{c_r}^{-r} + \int_{-r}^{r-a} + \int_{\gamma_r'}^{-a-r} + \int_{-a-r}^E + \int_E^{A'} + \int_{A'}^{B'} = 0.$$

Перейдем к $R \rightarrow \infty$, а $r \rightarrow 0$. Тогда по лемме Жордана [4] будем иметь

$$\int_B^A = \int_A^F = \int_E^{A'} = \int_{A'}^{B'} = 0, \quad \int_{B_1}^B = I.$$

Положим $\lambda = \rho^2 e^{i\pi} - a$ на FC_r и $\lambda = \rho^2 e^{-i\pi} - a$ на C_rE , получим

$$\begin{aligned} \int_F^{-a-r} + \int_{-a-r}^E &= ie^{-at} \int_a^\infty e^{\rho^2 t} \left[\frac{K_0\left(\rho e^{\frac{i\pi}{2}}\right)}{K_1\left(\rho e^{\frac{i\pi}{2}}\right)} + \frac{K_0\left(\rho e^{-\frac{i\pi}{2}}\right)}{K_1\left(\rho e^{-\frac{i\pi}{2}}\right)} \right] \frac{2\rho d}{\rho^2 e^{i\pi} - a} = \\ &= 2ie^{-at} \int_a^\infty e^{-\rho^2 t} \left[\frac{K_0\left(\rho e^{\frac{i\pi}{2}}\right)}{K_1\left(\rho e^{\frac{i\pi}{2}}\right)} + \frac{K_0\left(\rho e^{-\frac{i\pi}{2}}\right)}{K_1\left(\rho e^{-\frac{i\pi}{2}}\right)} \right] \frac{d\rho}{\rho^2 + a}. \end{aligned}$$

Так как

$$K_0\left(ze^{\pm \frac{i\pi}{2}}\right) = \pm \pi i \left[J_0(z) \pm iY_0(z) \right]$$

и

$$K_1\left(ze^{\pm \frac{i\pi}{2}}\right) = -\frac{1}{2} \pi \left[J_1(z) \pm iY_1(z) \right],$$

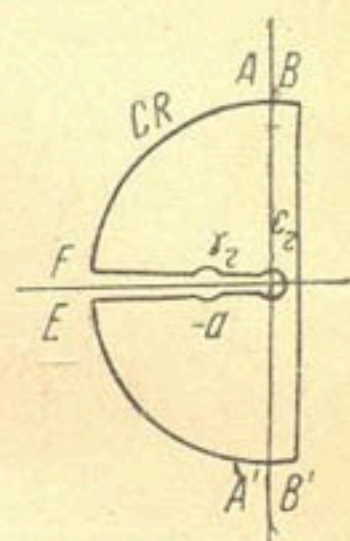


Рис. 2.

то сумма этих двух интегралов равна

$$+ 8ie^{-at} \int_a^\infty e^{-\rho^2 t} \frac{J_0(\rho) Y_1(r_0 \rho) - J_1(r_0 \rho) Y_0(\rho)}{J_1^2(r_0 \rho) + Y_1^2(r_0 \rho)} \cdot \frac{d\rho}{\rho^2 + a}.$$

Аналогично можно вычислить сумму

$$\int_{-a+r}^{-r} + \int_{-r}^{r-a}.$$

В этом случае будем иметь

$$\int_F^{-a-r} + \int_{-a-r}^E + \int_{-a+r}^{-r} + \int_{-r}^{r-a} = 8ie^{-at} \int_0^\infty e^{-\rho^2 t} \frac{J_0(\rho) Y_1(r_0 \rho) - J_1(r_0 \rho) Y_0(\rho)}{J_1^2(r_0 \rho) + Y_1^2(r_0 \rho)} \frac{d\rho}{\rho^2 + a}.$$

Так как

$$\int_{\gamma_r} = \int_{\gamma_r'} = 0, \quad \lim_{\omega \rightarrow \infty} \frac{K_0(\omega r)}{K_1(\omega r)} = 0,$$

$$\int_{C_r} e^{\lambda t} \frac{K_0(\omega r)}{K_1(\omega r)} \frac{d\lambda}{\lambda \omega} = 2\pi i \frac{K_0(r\sqrt{a})}{\sqrt{a} K_1(r_0 \sqrt{a})},$$

то

$$I = 8e^{-at} \int_0^{\infty} e^{-\rho^2 t} D(r, r_0, \rho) \frac{d\rho}{\rho^2 + a} - \frac{2\pi t}{\sqrt{a}} \frac{K_0(r\sqrt{a})}{K_1(r_0\sqrt{a})}, \quad (17)$$

где

$$D(r, r_0, \rho) = \frac{J_0(r\rho)Y_1(r_0\rho) - J_1(r_0\rho)Y_0(r\rho)}{J_1^2(r_0\rho) + Y_1^2(r_0\rho)}.$$

Подставив найденное значение I в формулу (16), получим уравнения, определяющие напоры в дренируемых пластах:

$$\begin{aligned} h_1 = & \left(\frac{a}{d} - \frac{c}{f} \right) e^{-\frac{x}{2d}t} \cos \sqrt{\frac{f}{a} - \left(\frac{x}{2d} \right)^2} - \left(\frac{ax}{2d^2} - \frac{b}{d} - \frac{cx}{2fd} \right) \times \\ & \times e^{-\frac{x}{2d}t} \sin \sqrt{\frac{f}{a} - \left(\frac{x}{2d} \right)^2} + \frac{c}{f} + \frac{c}{\pi^2 r_0 \sqrt{\beta}} \left[(Q_2 - Q_1) \times \right. \\ & \times e^{-\sqrt{3\gamma}t} \int_0^{\infty} e^{-\frac{\rho^2 t}{3\gamma}} D(r, r_0, \rho) \frac{d\rho}{\rho^2 + 3\gamma\sigma^2} - \\ & \left. - (Q_1 + Q_2) e^{-\sqrt{\gamma}t} \int_0^{\infty} e^{-\frac{\rho^2 t}{\gamma}} D(r, r_0, \rho) \frac{d\rho}{\rho^2 + \gamma\sigma^2} \right] - \\ & - \frac{1}{4\pi r_0 \sqrt{\beta}} \left[\frac{Q_2 - Q_1}{\sqrt{3\gamma}} \frac{K_0(r\sqrt{3\gamma})}{K_1(r_0\sqrt{3\gamma})} - \frac{Q_1 + Q_2}{\sqrt{\gamma}} \frac{K_0(r\sqrt{\gamma})}{K_1(r_0\sqrt{\gamma})} \right], \quad (18) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} h_2 = & \left(\frac{a_1}{d} - \frac{c_1}{f} \right) e^{-\frac{x}{2d}t} \cos \sqrt{\frac{f}{a} - \left(\frac{x}{2d} \right)^2} - \\ & - \left(\frac{a_1 x}{2d^2} - \frac{b_1}{d} - \frac{c_1 x}{2fd} \right) \cdot e^{-\frac{x}{2d}t} \sin \sqrt{\frac{f}{a} - \left(\frac{x}{2d} \right)^2} + \\ & + \frac{c_1}{f} - \frac{c}{\pi^2 r_0 \sqrt{\beta}} \int_0^{\infty} \left[\frac{Q_2 - Q_1}{\rho^2 + 3\gamma\sigma^2} e^{-\left(\sqrt{3\gamma} + \frac{\rho^2}{\sigma^2} \right)t} + \right. \\ & \left. + \frac{Q_1 + Q_2}{\rho^2 + \gamma\sigma^2} e^{-\left(\sqrt{\gamma} + \frac{\rho^2}{\sigma^2} \right)t} \right] D(r, r_0, \rho) d\rho + \\ & + \frac{1}{4\pi r_0 \sqrt{\beta}} \left[\frac{Q_2 - Q_1}{\sqrt{3\gamma}} \frac{K_0(r\sqrt{3\gamma})}{K_1(r_0\sqrt{3\gamma})} + \frac{Q_1 + Q_2}{\sqrt{\gamma}} \frac{K_0(r\sqrt{\gamma})}{K_1(r_0\sqrt{\gamma})} \right]. \quad (19) \end{aligned}$$

Если вода откачивается только из одного горизонта, например из первого, то, положив в уравнениях (18), (19) $Q_2 = 0$, получим функции, определяющие напоры в них. При $t \rightarrow \infty$ из уравнений (18) и (19) вытекают зависимости, характеризующие установившуюся фильтрацию

к скважине:

$$h_1 = \frac{2h_0 + h_3}{3} - \frac{1}{4\pi r_0 \sqrt{\gamma\beta}} \left[\frac{Q_1 - Q_2}{\sqrt{3}} \frac{K_0(r\sqrt{3\gamma})}{K_1(r_0\sqrt{3\gamma})} - (Q_1 + Q_2) \frac{K_0(r\sqrt{\gamma})}{K_1(r_0\sqrt{\gamma})} \right], \quad (20)$$

$$h_2 = \frac{2h_3 + h_0}{3} + \frac{1}{4\pi r_0 \sqrt{\gamma\beta}} \left[\frac{Q_1 - Q_2}{\sqrt{3}} \frac{K_0(r\sqrt{3\gamma})}{K_1(r_0\sqrt{3\gamma})} + (Q_1 + Q_2) \frac{K_0(r\sqrt{\gamma})}{K_1(r_0\sqrt{\gamma})} \right]. \quad (21)$$

Положив в формулах (20), (21) $Q_2 = 0$, получим зависимости, уже выведенные П. Я. Полубариновой-Кочиной [2].

В случае неустановившейся фильтрации к системе скважин решение задачи представляет сумму функций типа (18) и (19).

ЛИТЕРАТУРА

1. Эмих В. А. ПМТФ, 1962, № 5.
2. Полубаринова-Кочина П. Я. Теория движения грунтовых вод, М., Гостехиздат, 1952.
3. Барон В. А. Неустановившийся приток подземных вод к скважине вертикального дренажа, В сб. „Вопросы гидротехники“, вып. 3, Ташкент, АН УзССР, 1962.
4. Лаврентьев М. А. и Шабат Б. В. Методы теории функций комплексного переменного, М., Госиздат, 1958.

Х. ЯКУБОВ, В. А. БАРОН

ИЗ ОПЫТА СТРОИТЕЛЬСТВА СКВАЖИН ВЕРТИКАЛЬНОГО ДРЕНАЖА В ГОЛОДНОЙ СТЕПИ

Первые годы строительства и эксплуатации вертикального дренажа на опытно-производственных участках в Голодной степи позволили проверить различные рекомендации по подбору гравийных фильтров в условиях мелкозернистого песка и дать рекомендации по плановому размещению скважин. Полученные результаты исследований и приводятся в настоящей работе.

Общеизвестно, что фильтры являются основной и наиболее ответственной частью водозаборных сооружений: от правильной конструкции их зависит срок проведения строительной откачки, долговечность скважины, эксплуатационные затраты и т. д.

При проектировании скважины необходимо учитывать, что выбор конструкции фильтра зависит как от конкретных гидрогеологических и гидрохимических условий, так и от хозяйственного назначения скважины. Кроме того, для нормальной эксплуатации скважин необходимо обязательное соблюдение следующих условий:

1) фильтр должен быть таким, чтобы, с одной стороны, не забивался грунтом каптируемого горизонта, а с другой,— препятствовал выносу грунта, что необходимо для продления службы насосного оборудования и избежания опасности обвалов вокруг скважины;

2) по возможности между фильтром скважины и грунтом водоносного горизонта нужно устранить возникновение электрохимических процессов;

3) для удешевления эксплуатации скважин их фильтр должен создавать минимальные входные сопротивления.

В настоящее время для предотвращения длительного пескования скважины на воду и при глубоком водопонижении широко применяются различные конструкции блочных пористых фильтров: керамические, силикатные, песчано-битумные, гравийные (на основе клея БФ-2 и БФ-4), из пористого бетона и другие, что намного ускоряет и облегчает процесс строительства скважин. Однако вследствие достаточно быстрой кольматации и повышенных входных сопротивлений эти фильтры [1], по сравнению с гравийными фильтрами рыхлой обсыпки, не могут найти широкого применения при строительстве высокодебитных и долговечных скважин. А именно такими свойствами и должны в первую очередь обладать скважины вертикального дренажа, строящиеся для мелиорации, поэтому они, как правило, имеют гравийные фильтры рыхлой обсыпки.

Большинство исследователей рекомендуют подбирать гранулометрический состав обсыпки гравийного фильтра на основе критических со-

отношений средних диаметров грунта обсыпки и водоносного пласта. По мнению различных авторов, состав гравия, указанный в табл. 1, обеспечит нормальную работу скважин, построенных в мелкозернистых песках со средним диаметром фракций 0,17—0,19 мм. Как следует из этой таблицы, для гравийной обсыпки скважин, построенных в мелкозернистых песках, требуется гравий с размерами частиц от 0,5 до 4 мм.

Таблица 1

Рекомендации по подбору состава гравийных фильтров

Автор	Соотношение диаметров гравия	Толщина обсыпки, мм	Необходимый средний размер фракций обсыпки, мм	Примечание
С. К. Абрамов	$D_{50}:d_{50}=5$	30—50	0,9	—
В. М. Гаврилко	$D_{50}:d_{50}\leq 15$	50÷150	до 2,7	$\eta = \frac{D_{60}}{D_{10}} = 2\div 4$
М. М. Гришин	$D_{60}:d_{40}=8\div 10$	—	1,7÷1,8	$\eta \leq 5\div 10$
И. П. Грибанов	$D_{50}:(d_{40}\div d_{60})=20$	80÷100	до 4,0	$d_{40}, d_{35}, d_{50}, d_{60}$ — диаметры частиц, меньше которых в грунте содержится соответственно 35, 40, 50 и 60% фракций
И. В. Гусак	$D_{50}:d_{50}=8\div 12$	20	1,4 ÷ 2,2	
И. Ф. Володько	$D_{50}:d_{50}=7\div 15$	50	1,25÷2,7	
Г. М. Шахуньянц	$D_{50}:d_{50}=4\div 6$	—	0,72÷1,1	
Т. С. Печенкин	$D_{35}:d_{35}=4\div 10$	—	0,6÷1,5	—
А. Н. Патрашев,	$D_{35}:d_{35}=12\div 15$	—	—	—
С. М. Кулиев		—	2,2	—
С. М. Кулиев	$D_{50}:d_{50}=12$	—	1,9	—
В. С. Оводов	$D_{50}:d_{50}=10$	5÷20	—	Размеры пор обсыпки не должны превышать 1 мм
В. С. Истомина	$D_{50}^0:d_{50}^0=5$	—	—	—
А. М. Магрудумов	—	25	—	—

Однако на территории Узбекистана в настоящее время нет карьеров с гравием, фракционный состав которых удовлетворял бы указанным требованиям. Крупность частиц гравия из лучших естественных карьеров в Голодной степи во много раз превышает необходимые размеры фракций (табл. 2), причем этот гравий считается

Таблица 2

Гранулометрический состав гравия из карьеров Голодной степи

Карьер	Содержание фракций гравия (%) размером (мм)								Размер характерных частиц, мм		
	18	18—10	10—7	7—5	5—3	3—2	2—1	1	D_{10}	D_{50}	D_{60}
Чиназский	7	71,50	15,15	3,92	0,85	0,11	0,10	1,2	8,0	1,4	15
Беговатский	2,0	50,9	29,9	13,3	6,9	1,01	1,0	1,0	4,8	9,2	25

отсортированным, так как все частицы крупнее 30 мм из него отсеяны. Если из этого гравия сформировать фильтр согласно рекомендациям (табл. 1), то для 60—70-метровой скважины необходимо будет пропустить через сито 3—3,5 тыс. м³ гравия, что значительно усложнит и удорожит строительство скважин. Кроме того, применение такого мелкого гравия потребует изготовления мелких отверстий на

фильтровом каркасе скважин и, следовательно, приведет к удорожанию ее и увеличению входных сопротивлений фильтра.

С другой стороны, по мнению, например, И. Ф. Володько [2], «фильтр можно формировать из любого имеющегося под рукой естественного гравия после отсева частиц размером мельче 1—2 мм и крупнее 15—18 мм». И это действительно так: практика строительства высокодебитных скважин в Голодной степи показала, что подбирать состав гравия для обсыпки скважин только по коэффициенту неоднородности нельзя, так как гравий может быть очень однородным, обладать низким коэффициентом неоднородности и не иметь в своем составе фракций, необходимых для нормального формирования фильтра.

Следовательно, гранулометрический состав гравийной обсыпки должен подбираться с учетом допустимых скоростей в прифильтровой зоне скважин, причем величину допустимой скорости можно регулировать двумя путями:

а) уменьшением размеров частиц обсыпки, так как чем меньше размер частиц, тем больше потери напора воды при ее движении;

б) увеличением площади соприкосновения обсыпки с водоносным грунтом, т. е. бурением скважин большими диаметрами.

В связи с этим наше внимание привлекла формула С. В. Избаш и Л. И. Козловой [3], позволяющая определять допустимые градиенты, не вызывающие контактного выпора породы водоносного горизонта (представленного однородным песком) в гравийный фильтр:

$$i_{\text{доп}} = 1000 \left(\frac{d_{50}}{D_{50}} \right)^2, \quad (1)$$

где d_{50} и D_{50} — соответственно средний диаметр зерен песка и гравийной обсыпки скважины.

Опираясь на эту формулу, В. М. Гаврилко [3] предложил определять размеры водоприемной части скважин из неравенства

$$\frac{Q}{F} \leq 1000k \left(\frac{d_{50}}{D_{50}} \right)^2, \quad (2)$$

где Q — дебит скважины;

F — внешняя поверхность затопленной части фильтра, соприкасающейся с водосодержащей породой;

k — коэффициент фильтрации каптируемого пласта.

Пользуясь формулой (1), для различных участков Голодной степи мы вычислили диаметры гравийных фильтров, при которых не должно происходить пескования скважин, и полученные результаты сравнили с фактически наблюдаемыми диаметрами гравийных фильтров, при которых не наблюдалось пескования скважин. Оказалось, что для условий г. Гулистана расчетный диаметр гравийного фильтра в 2,28—7,35 раз был больше фактически образовавшегося, при котором не отмечалось пескования скважин (табл. 3).

Величина $\frac{r_{\text{расч}}}{r_{\text{факт}}}$ по сравнению с $r_{\text{факт}}$ увеличивается в 2,66—9,05 раза.

На Шурузякском опытно-производственном участке значения $\frac{r_{\text{расч}}}{r_{\text{факт}}}$ тоже изменяются в пределах 3,6—8,8 (табл. 4).

Данные табл. 4 показывают, что фактические диаметры скважин в 1,5—2 раза превышают расчетные, при этом для расчетов был принят средневзвешенный диаметр грунта, слагающего водоносные горизонты.

Таблица 3

Номер скважины	$Q, \text{ м/сутки}$	$T, \text{ м}$	$l, \text{ м}$	$k, \text{ м/сутки}$	$d_{50}, \text{ мм}$	$D_{50}, \text{ мм}$	$V, \text{ м}^3$	$r_{\text{расч}}, \text{ м}$	$r_{\text{факт}}, \text{ м}$	$r'_{\text{факт}}, \text{ м}$	$\frac{r_{\text{расч}}}{r_{\text{факт}}}$	$\frac{r_{\text{расч}}}{r'_{\text{факт}}}$
1	67,27	19,55	15,8	27,1	0,24	7,0	23,8	1,46	0,66	0,55	2,22	2,66
2	61,66	17,10	15,4	29,5	0,18	8,0	34,2	3,12	0,82	0,67	3,81	4,16
3	66,00	17,9	14,42	33,6	0,22	14,0	38,0	6,24	0,85	0,69	7,35	9,05
4	82,0	9,05	9,9	45,1	0,6	9,0	28,0	0,60	1,01	0,82	—	—
5	71,0	20	20,78	27,5	0,23	7,75	42,9	1,95	0,86	0,7	2,28	2,79

Примечание: T — мощность каптируемого пласта; l — длина фильтровой колонны скважины;

V — объем гравия, необходимый для образования фильтра; $r_{\text{расч}}$ — расчетный радиус фильтра;

$r_{\text{факт}}$ — фактический радиус фильтра, определенный без учета уплотнения гравийной обсыпки;

$r'_{\text{факт}}$ — фактический радиус фильтра, полученный с учетом уплотнения гравийной обсыпки с коэффициентом 1,5, как это рекомендует В. М. Гаврилко [3].

Таблица 4

Номер скважины	$Q, \text{ л/сек}$	$l, \text{ м}$	$k, \text{ м/сутки}$	$d_{50}, \text{ мм}$	$D_{50}, \text{ мм}$	$r_{\text{расч}}, \text{ м}$	$r_{\text{факт}}, \text{ м}$
1	140	23,3	42,8	1,32	7,7	0,19	0,35
2	200	25,0	45,7	1,35	7,4	0,205	0,45
3	140	34,0	45	1,12	8,4	0,235	0,61
4	160	35,85	42	0,96	6,6	0,212	0,45
5	200	39,3	41,5	1,84	10,1	0,215	0,35
6	130	37,0	45	1,23	8,9	0,218	0,45

Величины диаметров скважин, полученные расчетным путем и представленные в табл. 4, удовлетворяли бы требованиям, предъявляемым к фильтрам, если бы водоносный горизонт был сложен только из гравелистых материалов со средним диаметром фракций 1—2 мм. При таком составе водоносного горизонта фильтровой каркас диаметром 400—450 мм вполне предохраняет скважину от длительного пескования, так как в таких грунтах образуются естественные гравийные фильтры.

Однако при строительстве скважин вертикального дренажа на Шурузякском участке даже при диаметрах 700—900 мм в процессе откачек в скважины приходилось досыпать 10—35 м³ гравия. Такая необходимость объясняется тем, что водоносный горизонт Шурузякского массива состоит из прослоек разномелкозернистых песков, при этом мощность отдельных прослоек мелкозернистых песков иногда достигает 10 м, поэтому во время откачек из этих прослоек усиленно выносятся песок.

Следовательно, если в толще водоносного горизонта имеются отдельные прослойки более мелкого песка и их мощность значительна,

то диаметр скважин должен быть рассчитан на критические скорости для песков, а не для средневзвешенных величин, характеризующих весь каптируемый горизонт, чтобы не получить завышенных критических скоростей на входе в гравийный фильтр. Нужно учесть, что при расчете диаметра скважин необходимо брать не средневзвешенный диаметр частиц, а средний диаметр d_{50} мелкозернистого песка, поэтому расчетный диаметр скважин в подобных условиях должен определяться на основании значения d_{50} мелкозернистых песков. В этом случае на Шурузяке расчетный диаметр скважин оказывался в 2,8—6,2 раза больше фактического (табл. 5).

Таблица 5

Номер скважины	Q , л/сек	l , м	k , м/сутки	d_{50} , мм	D_{50} , мм	$\gamma_{расч}$, м	$\gamma_{факт}$, м	$\frac{\gamma_{расч}}{\gamma_{факт}}$
1	140	23,3	42,8	0,23	7,7	2,16	0,35	6,2
2	200	25,0	45,7	0,21	7,4	2,62	0,45	5,8
3	140	34,0	45	0,22	8,4	2,39	0,61	3,9
4	160	35,85	42	0,36	6,6	1,27	0,45	2,82
5	200	39,3	41,5	1,84	10,1	0,215	0,35	0,615
6	130	37	45	0,23	8,9	2,35	0,45	5,2

С 1958 по 1961 г. в Сардобинском понижении Голодной степи сотрудниками Узбекского гидрогеологического треста проводились исследования по выявлению возможности применения вертикального дренажа в этом районе. Четвертичные отложения Сардобинского понижения в общих чертах характеризуются следующей картиной: с поверхности до глубины 21—25 м залегают суглинки и супесь; ниже следует слой мелкозернистого песка мощностью 13—16,2 м; на глубине 36—38 м песчаный слой подстилается толщей связных пород, представленных суглинком и глиной.

Рассматриваемая нами скв. 9 с поверхности до глубины 28 м обсажена глухой 246 мм трубой, которая дальше, через сальник, переходит в перфорированную трубу длиной 10,55 м и диаметром 324 мм, служащую фильтром. К фильтровой части трубы приварен отстойник длиной 11 м.

В процессе бурения этой скважины гранулометрический состав породы, в которую закладывалась скважина, не определялся. Однако в 15 м от этой скважины был установлен пьезометр 31, при бурении которого был вскрыт первый песчаный водоносный горизонт с механическим составом, указанным ниже:

Диаметр фракций, мм	Вес фракций, % от общего веса
1—0,5	0,33
0,5—0,25	25
0,25—0,1	43
0,1—0,05	9,66
0,05—0,001	1,33
0,01	10,67

Согласно этим цифрам средний диаметр зерен песка первого песчаного водоносного горизонта равен 0,2 мм. Такой диаметр мы приняли для скв. 9.

Для образования гравийного фильтра скважины был использован гравий следующего механического состава¹:

Диаметр фракций, мм	Вес фрак- ций, % от общего веса
20—10	66,4
10— 7	11,6
7— 5	4,8
5— 3	2
3— 1	0,8
1—0,5	2,2
0,5	12,2

На основании этих данных можно определить средний диаметр гравийной обсыпки; он составляет 12 мм. Диаметр гравийного фильтра, обеспечивающего нормальную работу скважины, по формуле (2) должен быть равным 18,3 м (при $Q = 34$ л/сек и $k = 16,29$ м/сутки). А на практике скважина диаметром 2,32 м уже совершенно не песковала при $Q = 34$ л/сек даже после резких остановок и пусков компрессора.

Таким образом, и на Сардобинском участке расчетный диаметр гравийного фильтра оказался в 7,9 раз больше фактического.

Таблица 6

Номер сква- жины	Q , л/сек	l , м	d_{50} , мм	D_{50} , мм	$r_{расч}$ м	$r_{факт}$, м	$\frac{r_{расч}}{r_{факт}}$
1	57	22	0,10	6,0	1,24	1,0	1,24
5	60	20,0	0,19	10	3,83	0,450	8,5
7	55	25	0,19	15	6,48	0,643	10
9	65	40	0,19	17	5,7	0,613	9,3
10	65	33	0,19	22	12,6	0,675	18
13	45	40	0,18	14	3,12	—	—
14	60	36	0,19	12	3,06	0,450	6,8
17	55	23	0,18	10,2	3,52	0,237	7,8
19	65	26	0,17	12	5,75	0,723	8,0
21	55	30	0,20	11	2,56	0,633	4,0
22	65	31	0,19	13	14,5	0,818	5,5
24	55	18	0,19	9,2	3,21	0,5	6,42
27	60	22,5	0,19	9,7	3,21	0,5	6,42

Примечание. Всюду $k=30$ м/сутки.

Чтобы выяснить возможность использования формулы (2) для определения поверхности водоприемных частей скважин, нами был проанализирован материал по строительным откачкам скважин вертикального дренажа в совхозе «Пахтаарал», где отношение $\frac{r_{расч}}{r_{факт}}$ (табл. 6) изменялось в пределах от 4—5 до 18 и в среднем в 6—8 раз превышает $r_{факт}$.

Таким образом, расчетные радиусы гравийных фильтров, определяемые по формуле (2), оказались больше фактических в гидрогеоло-

¹ В работе [4] дан несколько иной механический состав гравийной обсыпки. Это объясняется тем, что гравий, предназначенный для образования фильтра скв. 9, был подвезен шестью партиями. Мы взяли средний механический состав для всех шести партий, а в указанной работе он дан для одной.

гических условиях г. Гулистана в 2,66—9,05 раз, Шурузякского понижения — в 2,8—6,2, Сардобинского понижения — в 7,9 и совхоза «Пахтаарал» — в 4—18 раз.

Следовательно, при проектировании вертикального дренажа с гравийными фильтрами допустимые критические скорости могут быть приняты по крайней мере в 2,5 раза больше, чем значения этих скоростей, вычисленные по формуле (2). Внешнюю поверхность затопленной части гравийного фильтра, соприкасающуюся с водосодержащей породой, необходимо определять из неравенства

$$\frac{Q}{F} \leq 4000k \left(\frac{d_{50}}{D_{50}} \right)^2. \quad (3)$$

Пользуясь формулой (3), можно вычислить такую поверхность водоприемной части скважины, которая обеспечит нормальную эксплуатацию скважины. Из неравенства (3) следует, что для предотвращения пескования скважины при выбранном фракционном составе гравийной обсыпки и известном среднем диаметре грунта водоносного горизонта диаметр фильтра должен определяться из неравенства

$$d \geq \frac{Q}{12560kl} \left(\frac{D_{50}}{d_{50}} \right)^2, \quad (4)$$

где l — длина фильтра скважины.

Процесс строительства высокодебитной скважины с гравийным фильтром представляет собой непрерывный цикл работ: бурение скважины, обсадка ее рабочей колонной труб, засыпка гравия в затрубное пространство и проведение строительной откачки, в процессе которой из гравия сформируется фильтр скважины. Опыт строительства вертикального дренажа в Голодной степи показал, что для нормальной работы скважины и возможного удешевления ее этот цикл ни в коем случае нельзя прерывать.

Особенно недопустимы разрывы во времени между окончанием засыпки гравия в затрубное пространство и началом проведения строительной откачки. В случае такого разрыва наблюдается заиливание гравийной обсыпки и самой скважины до 50—60% от ее глубины, что приводит к резкому увеличению срока строительной откачки. Так, в совхозе «Пахтаарал» строительные откачки скв. 7 и 8, начатые сразу по окончании бурения и засыпки гравия в затрубное пространство, продолжались всего 40—50 машиносмен. А срок строительных откачек скв. 21 и 22, находящихся на территории того же совхоза, в таких же гидрогеологических условиях, с гравийным фильтром, формировавшимся из того же материала, что и скв. 7 и 8, растянулся почти до 300 машиносмен. Это объясняется только тем, что строительные откачки скв. 21 и 22 были начаты не сразу после окончания бурения.

Режим строительных откачек устанавливается на основании данных о гранулометрическом составе грунта каптируемого пласта и его мощности, способа строительства гравийного фильтра, а также характеристики фильтра (длины, скважности, толщины гравийной обсыпки и ее состава).

Очевидно, что количество и темпы выноса грунта из скважины зависят от скорости движения воды в прифилтровой зоне. Регулируя дебит скважины, можно создать наилучшие условия для формирования гравийного фильтра.

Высокий дебит скважины в начальный период строительной откачки создает на грани контакта гравийной обсыпки с водоносным грунтом большие скорости, которые способствуют усиленному пескованию

скважины, обычно предшествующему просадочным явлениям. Поэтому откачку следует начинать с минимального дебита.

После полного осветления откачиваемой воды и стабилизации динамического уровня в скважине в течение одной смены можно переходить на следующее понижение динамического уровня путем увеличения дебита скважины на 10—15 л/сек.

В такой последовательности дебит скважины постепенно следует довести до максимальной величины, при этом нужно учитывать следующее: в процессе откачек в период усиленного выноса песка не рекомендуется останавливать компрессор, так как в противном случае взвешенные частицы, находящиеся в скважине, осаждаются на дно ее, уменьшая рабочую площадь фильтра, а иногда захватывая и воздуходувную колонну; даже при вынужденных остановках компрессора дебит скважин необходимо снижать постепенно путем уменьшения количества подаваемого воздуха. При пуске компрессора откачка начинается снова с первоначального дебита, т. е. с минимального расхода.

В случае сильного пескования скважины дебит ее следует несколько уменьшить, а после осветления воды—снова увеличить. Благодаря соблюдению указанных несложных правил можно в значительной степени сократить срок строительных откачек, а следовательно и удешевить стоимость скважины.

Когда скважины были сильно забиты грунтом или слабо поддавались разглинizations, мы с успехом применяли сочетание эрлифта с доливом воды в скважины, а в особенно трудных случаях — расшарошивание ее (в скважину погружали шарошку на 1—2 дюйма меньше внутреннего диаметра обсадной трубы при непрерывной циркуляции чистой воды).

При проектировании вертикального дренажа наряду с вопросом о правильном выборе конструкции скважин, подборе гравийного фильтра и его размеров большое значение имеет правильный выбор местоположения скважин для обеспечения равномерного рассоляющего действия вертикального дренажа на почво-грунты рассматриваемой территории.

Так, для изучения мелиоративного влияния вертикального дренажа на водно-солевой баланс Шурузякского опытно-производственного участка сотрудниками Института водных проблем и гидротехники Академии наук УзССР в 1960 г. были заложены три стационарные точки, около которых проводятся постоянные наблюдения за динамикой запасов солей во всей толще покровных отложений. Наблюдения заключаются в периодическом бурении скважин с отбором образцов около этих точек и проведении полного химического анализа образцов. Мы воспользуемся наблюдениями только в районе двух точек — 1 и 2.

Точка 1 расположена на перелогe в 50 м от скв. 1 [4]. Механический состав покровных отложений характеризуется суглинками с небольшой прослойкой глин на глубине 18—20 м.

Точка 2 расположена на посеве трехлетней люцерны в 500 м от ближайшей работающей скв. 2. Для всего профиля покровных отложений свойственны суглинки с небольшой прослойкой глин на глубине 10—11 м.

Таким образом, обе динамические точки имеют в общем одинаковый профиль по механическому составу. Это же подтверждается и значением среднего коэффициента фильтрации, одинакового для всей толщи покровных отложений около этих точек — 0,07 м/сутки.

Однако несмотря на кажущуюся идентичность гидрогеологических условий точек 1 и 2, наблюдения за солевым балансом на территории

около этих точек (табл. 7) показали, что к скв. 1 подтягиваются соли.

Такая же картина наблюдалась и на опытно-производственном участке вертикального дренажа в совхозе «Пахтаарал». В табл. 8 приведены данные о запасе солей в 100- и 160-сантиметровом слое почвы

Таблица 7

Содержание солей по двум динамическим точкам на Шурузьякском опытно-производственном участке вертикального дренажа

Номер точки	Дата отбора проб	Содержание солей, <i>т/га</i>						
		в 1-метровом слое		в 5-метровом слое		во всей толще покровных мелкоземов		
		1960 г.	1961 г.	1960 г.	1961 г.	1960 г.	1961 г.	изменение запаса солей
1	Март	—	183,4	—	375,7	—	508,8	—
	Июль-август	216,0	179,6	393,1	413,3	832,1	874,7	+42,6
	Октябрь-ноябрь	303,0	277,3	710,3	569,4	1105,5	1038,8	-66,75
2	Март	—	215,0	—	403,6	—	564,1	—
	Июль-август	364,1	167,8	575,05	338,2	898,9	668,9	-230,0
	Октябрь-ноябрь	388,9	198,4	698,0	582,0	969,8	876,2	-92,6

Примечание. Для марта 1961 г. запасы солей даны на глубину 12 м, для второго и третьего срока бурения 1960—1961 г. в точке 1—на глубину 18 м, а в точке 2—17 м.

на различных расстояниях от действующей скважины (при дебите 55 л/сек) на два срока. В интервале между этими сроками была проведена промывка грунтов с нормой 3 000 м³/га.

Таблица 8

Распределение солей в грунтах совхоза «Пахтаарал»

Номер точки	Расстояние от скважины, м	Содержание солей (<i>т/га</i>) в слое (<i>см</i>)				Изменение запаса солей (<i>т/га</i>) в слое (<i>см</i>)	
		0—100		0—160		0—100	
		6. X 1961 г.		8. XII 1961 г.		0—100	0—160
1	24	123,65	169,71	108,45	136,43	-15,2	-33,28
2	43,5	168,45	240,17	134,33	190,57	-34,12	-49,6
3	71	45,49	55,46	41,04	49,51	-4,35	-5,95

Как видно из этой таблицы, для всей рассматриваемой территории характерно снижение запасов солей в верхней части покровных мелкоземов. Однако ближе к скважине относительное уменьшение запасов солей оказывается меньше, чем при удалении от нее (для точки 3 эта закономерность не соблюдается только потому, что вследствие недостаточной спланированности участка поверхность земли, где заложена эта точка, в период промывок была все время сухой).

К аналогичному выводу о более медленном изменении запасов солей в толще покровных отложений непосредственно около скважины

пришли и сотрудники Центральной опытно-мелиоративной станции Института хлопководства КазССР, которые также проводят наблюдения за рассолением почво-грунтов рассматриваемого участка.

С другой стороны, хорошо известно, что на распределение запасов солей по профилю участка большое влияние могут оказать как механический состав, так и водопроницаемость покровных мелкоземов: более легкий профиль с лучшей водопроницаемостью промывается легче, чем профиль тяжелый, содержащий глинистые прослойки.

Однако, кроме этого, при анализе многочисленных данных по засолению почво-грунтов и изменению его в различных точках поливных участков на Шурузякском понижении, в г. Гулистане, Сардобинском понижении и совхозе «Пахтаарал» достаточно четко прослеживается такая закономерность. Наиболее опресненными являются грунтовые воды, почвы и вся толща покровных отложений вдоль крупных постоянно действующих оросителей и в верхних частях поливных участков. В нижних же частях поливных участков вся толща покровных мелкоземов оказывается наиболее засоленной. Так, например, химический анализ керн, полученного при бурении наблюдательной скв. 1 в верхней части поливного участка отделения Ильича совхоза «Пахтаарал», показал следующее содержание солей ($t/га$): в 1-метровой толще — 103,21; в 5-метровой — 262,3; всего в покровных отложениях — 952,01. Для наблюдательной скв. 4, расположенной в нижней части поливного участка, в результате подобного анализа получены соответственно цифры 201,28; 549,9 и 1576,43 $t/га$.

Таким образом, в связи с частичным передвижением солей к действующей скважине вертикального дренажа, с одной стороны, и рассоляющим влиянием существующей ирригационной сети, с другой, для достижения наиболее равномерного мелиоративного эффекта скважины вертикального дренажа следует устанавливать вблизи оросительных каналов, но не ближе 15—20 м (вследствие возможных просадок грунта в процессе строительства скважин). Такое расположение скважин позволит снизить затраты, связанные с отведением откачиваемой воды. Однако этот вывод требует еще практического обоснования.

ВЫВОДЫ

1. В мелкозернистых грунтах размеры гравийного фильтра и его гранулометрический состав следует определять на основании формулы (3).

2. Благодаря правильному выбору режима строительных откачек можно в значительной степени удешевить стоимость скважины.

3. В случае сильного заиливания скважины для ускорения завершения строительной откачки с успехом может быть применено сочетание эрлифта с доливом воды в скважину.

ЛИТЕРАТУРА

1. Водопонижение на строительстве Волжской гидроэлектростанции имени XXII съезда КПСС, М., Гидропроект, 1962.
2. Володько Н. Ф. Гравийные фильтры буровых скважин, В кн. «Фильтры водозаборных скважин», М., Госиздат, 1962.
3. Гаврилко В. М. Фильтры водозаборных, водопонизительных и гидрогеологических скважин, М., Госстройиздат, 1961.
4. Якубов Х. Опыт строительства гравийных фильтров для вертикальных скважин в мелкозернистых песках, В сб. «Вопросы энергетики, гидротехники и горного дела», Ташкент, АН УзССР, 1961.
5. Якубов Х. «Социалистическое сельское хозяйство», 1960, № 4.

В. А. БАРОН

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАССТОЯНИЙ МЕЖДУ СКВАЖИНАМИ ВЕРТИКАЛЬНОГО ДРЕНАЖА

В республиках Средней Азии мелиорация засоленных земель, составляющих примерно половину орошаемых массивов, приобретает все большее значение. Обычно для мелиорации засоленных земель наряду с агротехническими мероприятиями широко используются и гидротехнические, направленные на изменение неблагоприятного водно-солевого баланса орошаемой территории.

До недавнего времени основным таким гидротехническим мероприятием был окрытый горизонтальный дренаж. Однако в последние годы установлено, что для ряда районов Средней Азии более целесообразно применять вертикальный дренаж, строительство которого началось, например, в Голодной степи, Бухарской области, Арзаянкой степи Армянской ССР и Ферганской долине.

Как правило, при использовании вертикального дренажа в целях мелиорации на больших площадях скважины размещаются равномерно. Расстояния между ними определяются ежегодными затратами на мелиорацию 1 га засоленной территории.

Этот вопрос уже рассматривался И. В. Минаевым [1] для случая, когда насосные колодцы работают в безнапорных условиях и питание их происходит за счет инфильтрации осадков, оросительной воды и сработки вековых запасов грунтовых вод, определяемых нормой осушения.

В настоящей работе мы попытаемся дать решение указанного вопроса для случая, когда скважина каптирует хорошо проницаемый пласт II с напорными подземными водами, подстилающий слабопроницаемые покровные отложения — пласт I (рис. 1). Снизу в дренируемый пласт поступает вода из пласта IV через слабопроницаемую прослойку III вследствие разности пьезометрических напоров в этих пластах.

Очевидно, что при равномерном размещении скважин по площади можно считать, что любая из этих скважин, за исключением скважин, находящихся на контуре дренируемой территории, будет обслуживать вполне определенную площадь S_i (рис. 2). На рис. 2 показана площадь, обслуживаемая i -й скважиной.

Пусть в каптируемый пласт сверху поступает грунтовая вода с постоянной скоростью v , определяемой мелиоративным заданием вертикальному дренажу, а снизу — со скоростью

$$v = \lambda_2 \frac{H - h_{\text{ср}}}{T_2}, \quad (1)$$

где H — пьезометрический напор в пласте IV;
 $h_{\text{ср}}$ — средний пьезометрический напор в каптируемом пласте, образующийся при работе скважин, а все остальные обозначения, употребляемые в тексте, указаны на рис. 1.

При этих условиях дебит i -й скважины будет равен

$$Q = \pi R^2 \left(\varepsilon + \lambda_2 \frac{H - h_{\text{ср}}}{T_2} \right) \frac{1}{\alpha}, \quad (2)$$

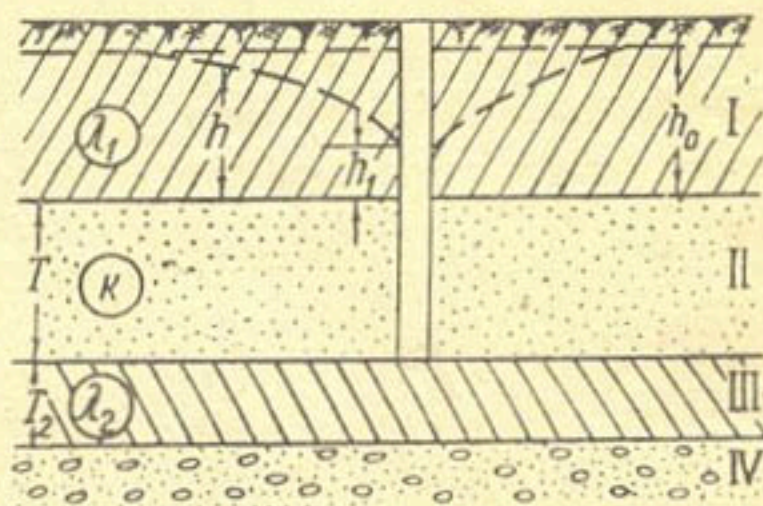


Рис. 1. Схема работы скважины вертикального дренажа.

если учесть, что в выражении (2) R — приведенный радиус площади S_p , а α — количество воды в процентах от дебита скважины, поступающее к ней только благодаря проницаемости кровли и подошвы каптируемого пласта.

При работе системы скважин в рассматриваемых нами гидрогеологических условиях питание их происходит за счет притока воды сверху в каптируемый пласт (q_1), по дренируемому пласту II (q_2) и снизу (q_3) из нижележащего водоносного горизонта IV.

Приток воды сверху и снизу в каптируемый пласт определяется соответственно формулами (2)

$$q_1 = F\varepsilon \quad (3)$$

$$q_3 = F\lambda_2 \frac{H - h_{\text{ср}}}{T_2}, \quad (4)$$

и

где F — площадь, на которой размещается система скважин.

Приток подземных вод к системе скважин по дренируемому пласту выражается формулой

$$Q = \pi R^2 \left(\varepsilon + \lambda_2 \frac{H - h_{\text{ср}}}{T_2} \right), \quad (5)$$

где R — приведенный радиус площади S_i ;

$$\omega = \sqrt{\frac{\lambda_2}{k T T_2}};$$

$K_0(\omega R)$ и $K_1(\omega R)$ — функции Бесселя мнимого аргумента второго рода соответственно нулевого и первого порядков.

Очевидно, что из формул (3), (4) и (5) следует

$$\alpha = \frac{1}{1 + \frac{2\pi R T k \omega \Delta h_{\text{ср}}}{F} \frac{K_1(\omega R)}{K_0(\omega R)} \frac{H - h_{\text{ср}}}{\varepsilon + \lambda_2 \frac{H - h_{\text{ср}}}{T_2}}}. \quad (6)$$

Дебит скважины в рассматриваемых условиях можно найти не только по формуле (2), но и таким образом [3, 4]:

$$Q = \frac{2\pi kTS}{\ln \frac{1,12}{\omega r_0}}, \quad (7)$$

где r_0 — радиус колодца.

Сравнив равенства (2) и (7), получим

$$\pi R^2 \left(\varepsilon + \lambda_2 \frac{H - h_{\text{ср}}}{T_2} \right) = \frac{2\pi kTaS}{\ln \frac{1,12}{\omega r_0}}, \quad (8)$$

откуда приведенный радиус площади, обслуживаемой одной скважиной, равен

$$R = \sqrt{\frac{2kTaS}{\left(\varepsilon + \lambda_2 \frac{H - h_{\text{ср}}}{T_2} \right) \ln \frac{1,12}{\omega r_0}}}. \quad (9)$$

Определим экономически наивыгоднейшее понижение уровня воды в скважине из условия минимальных эксплуатационных затрат на предполагаемую мелиорацию 1 га земли. Ежегодные затраты на эксплуатацию скважины выражаются зависимостью [1]

$$P_s = P_k p_1 + P_p + P_N, \quad (10)$$

где P_s — эксплуатационные затраты;

P_k — капитальные затраты на строительство и оборудование скважин;

p_1 — отчисления на восстановление и капитальный ремонт скважины и насосно-силового оборудования за рассматриваемый период времени;

P_p — затраты по содержанию эксплуатационного штата;

P_N — затраты на подъем воды из скважины:

$$P_N = \frac{\gamma Q L t \sigma}{102 \eta}; \quad (11)$$

здесь γ — объемный вес воды;

t — время работы насосов в рассматриваемый период;

σ — стоимость 1 квт·ч;

$$\eta = \eta_{\text{дв}} \cdot \eta_{\text{н}},$$

$\eta_{\text{дв}}$ — к. п. д. двигателя;

$\eta_{\text{н}}$ — к. п. д. насоса;

L — общая высота подъема воды из скважины:

$$L = S + h_1 + h_{\text{тр}},$$

где $h_{\text{тр}}$ — потери напора на трение в трубах и на воздухе.

Из уравнений (10) и (11) следует, что эксплуатационные затраты за время t на 1 га земли определяются уравнением

$$\bar{P}_s = 10^4 \left[\frac{(P_k p_1 + P_p) \left(\varepsilon + \lambda_2 \frac{H - h_{\text{ср}}}{T_2} \right)}{2\pi kTaS} \ln \frac{1,12}{\omega r_0} \right]. \quad (12)$$

Подставив в это уравнение значения πR^2 из выражения (8) и Q из (7), найдем

$$\bar{P}_s = 10^4 \left[\frac{(p_1 P_k + P_p) \left(\epsilon + \lambda_2 \frac{H - h_{cp}}{T_2} \right)}{2\pi k T S \alpha} \ln \frac{1,12}{\omega r_0} + \frac{\gamma (S + h_1 + h_{тр}) T \sigma}{102 \gamma \alpha} \left(\epsilon + \lambda_2 \frac{H - h_{cp}}{T_2} \right) \right]. \quad (13)$$

Взяв производную по S от $\bar{P}_s$ и приравняв ее к нулю, получим выражение, определяющее понижение динамического уровня воды в скважине при минимуме эксплуатационных затрат. После всех преобразований это выражение примет вид

$$S = \sqrt{\frac{16,24 \gamma (p_1 P_k + P_p)}{k T \gamma t \sigma} \ln \frac{1,12}{\omega r_0}}. \quad (14)$$

Определив из выражения (14) величину понижения S и подставив ее в формулу (5), найдем приведенный радиус площади, которую с минимальными эксплуатационными затратами может обслуживать один колодец. Если же известен приведенный радиус этой площади, то не составляет труда определить и расстояние между скважинами.

Для примера вычислим, какие должны быть расстояния между скважинами, строящимися в отделении им. Ильича совхоза „Пахтаарал“ Пахтааральского района Сырдарьинской области УзССР, если эта территория характеризуется следующими гидрогеологическими параметрами: $T = 35$ м; $T_2 = 10$ м; $k = 30$ м/сутки; $\lambda_2 = 0,01$ м/сутки.

По мелиоративному заданию скважины диаметром 0,4 м должны работать 8 мес. в году (5936 час.) таким образом, чтобы под действием откачек произошло понижение пьезометрического напора на 2,5 м, $H - h_{cp} = 3$ м и $\epsilon = 0,005$ м/сутки.

Капитальные затраты на строительство и оборудование одной скважины составляют $P_k = 15000$ руб.; амортизация — 10% ($p_1 = 0,1$); $P_p = 1000$ руб.; стоимость 1 квт·ч $\sigma = 0,008$ руб. (по расценкам льготного тарифа для водопонижения).

Допустим, что скважины будут оборудованы насосами АТН-14-1-3 с 55 киловаттными насосами. Тогда для них

$$\eta_{п} = 0,65 \cdot \eta_{э}, \quad \eta_{лв} = 0,9,$$

где $\eta_{э}$ — отношение потерь напора в водоподъемных трубах ко всему напору, создаваемому насосом.

По наблюдениям Н. Н. Омелина, $\eta_{э} = 0,8$ для насоса АТН-14-3. Учитывая это, для выбранного нами насосно-силового оборудования вычислим $\eta = 0,47$.

Так как в рассматриваемых гидрогеологических условиях

$$\omega = \sqrt{\frac{0,01}{30 \cdot 10 \cdot 35}} = 9,5 \cdot 10^{-4},$$

то из выражения (10) следует

$$S = \sqrt{\frac{16,24 \cdot 0,47 (0,1 \cdot 15000 + 1000) \ln \frac{1,12}{0,2 \cdot 9,5} 10^4}{3 \cdot 48 \cdot 10^4 \cdot 35 \cdot 1000 \cdot 5936 \cdot 0,008}} = 16,9 \text{ м.}$$

Отделение им. Ильича занимает площадь $23,89 \text{ км}^2$, приведенный радиус которой по формуле В. М. Шестакова равен $2,35 \text{ км}$. По формуле (6) получим $a = 81$ и по формуле (9) найдем приведенный радиус такой площади, которую экономически выгодно подвешивать к одной скважине. В рассматриваемом случае $R = 650 \text{ м}$.

Если предположить, что скважины будут размещаться по квадратной сетке, т. е. $S_i = a^2$ (см. рис. 2), то расстояние между скважинами должно определяться величиной a . Эта величина находится из соотношения $a^2 = \pi R^2$, откуда $a = 810 \sqrt{\pi} = 1150 \text{ м}$.

Таким образом, при проектировании систем скважин в целях мелиорации вопрос о выборе расстояний между скважинами может быть решен на основе принципа минимальных эксплуатационных затрат. При этом, если работа скважин проектируется в безнапорных условиях, то расстояния между скважинами следует определять по формуле И. В. Минаева [1]; а если в напорных условиях, то по приведенным нами выше формулам.

ЛИТЕРАТУРА

1. Минаев И. В. „Гидротехника и мелиорация“, 1958, № 10.
2. Барон В. А. Определение суммарного дебита системы скважин, В сб. „Вопросы гидротехники“, вып. 3, Ташкент, АН УзССР, 1961.
3. Васильев В. А. и Решеткина Н. М. ДАН УзССР, 1958, № 2.
4. Барон В. А. Неустановившийся приток подземных вод к скважине вертикального дренажа, „Вопросы гидротехники“, вып. 3, Ташкент, АН УзССР, 1961.

В. А. БАРОН, Х. Я. ЯКУБОВ

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ОПТИМАЛЬНЫХ ГЛУБИН И ДИАМЕТРОВ СКВАЖИН ВЕРТИКАЛЬНОГО ДРЕНАЖА

В настоящее время в республиках Средней Азии широко развернулось строительство скважин вертикального дренажа для мелиорации и использования откачиваемой воды на орошение земель. При этом перед проектирующими организациями очень часто возникает вопрос о выборе такого диаметра скважины и степени вскрытия ею пласта, при которых эксплуатационные затраты были бы минимальными. Пока еще этот вопрос решается каждым проектировщиком индивидуально на основе различных субъективных предположений.

В настоящей работе предлагается довольно простой метод расчета, позволяющий с достаточной степенью точности решить затронутый вопрос.

Ежегодные затраты на эксплуатацию скважины вертикального дренажа выражаются зависимостью [1]

$$P_{\Sigma} = P_{\kappa} p_1 + P_p + P_N, \quad (1)$$

где P_{Σ} — эксплуатационные затраты;

P_{κ} — капитальные затраты на строительство и оборудование;

p_1 — отчисления на восстановление и капитальный ремонт скважины и насосно-силового оборудования за рассматриваемый период времени;

P_p — затраты на содержание эксплуатационного штата;

P_N — затраты на эксплуатацию по подъему воды из скважины:

$$P_N = \frac{\gamma Q L t \sigma}{102 \eta}, \quad (2)$$

здесь γ — объемный вес воды;

t — время работы насосов в рассматриваемый период;

σ — стоимость 1 квт·ч;

L — общая высота подъема воды из скважины;

η — к. п. д. насосно-силового оборудования;

Q — дебит скважины.

Рассмотрим, из чего складываются капитальные затраты на строительство и оборудование скважин.

Сам процесс строительства скважин вертикального дренажа включает следующие операции:

- 1) подготовительные работы;
- 2) бурение и установку фильтрового каркаса скважин;
- 3) засыпку отсортированного гравия в забой скважины;
- 4) разглинизацию стенок скважин и формирование устойчивого гравийного фильтра.

К подготовительным работам в основном относятся установка кондуктора, подготовка приямков для глинистого раствора и самого глинистого раствора, монтаж бурового станка, подготовка каркаса скважины и ее фильтровой части.

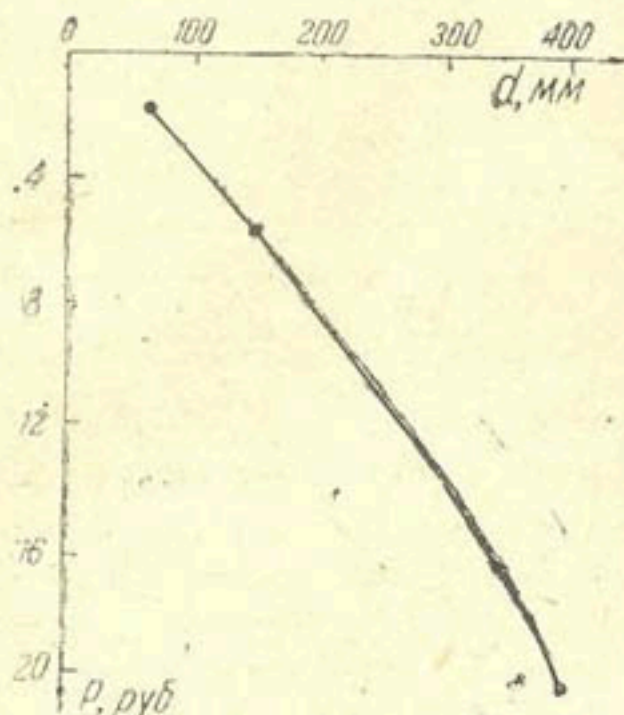


Рис. 1. График изменения стоимости трубы в зависимости от ее диаметра.

Затраты, связанные с установкой кондуктора, рытьем приямков для глинистого раствора и монтажом станка, не зависят от глубины бурения скважин, а с увеличением диаметра скважин изменяются незначительно, поэтому обозначим эти затраты через P_a и будем считать их постоянными.

Стоимость обсадных труб, используемых для каркаса скважин, находится в прямой зависимости от их диаметра и предполагаемой глубины скважины. Очевидно, что при постоянном диаметре труб эта стоимость будет возрастать прямо пропорционально глубине скважины:

$$P_{\beta} = al \quad (3)$$

(a — стоимость 1 пог. м обсадной трубы, l — общая длина ее), а с увеличением диаметра — по нормам 1956 г. согласно кривой (рис. 1), которая с точностью до 2—3% может быть заменена прямой и тогда при $l = \text{const}$

$$P_{\beta} = l(0,515d - 1,86); \quad (4)$$

здесь d — диаметр обсадной трубы.

Затраты на подготовку фильтровой части каркаса скважины (нарезку щелей или сверление отверстий и окраску труб с внешней и внутренней сторон) при постоянном диаметре скважины возрастают прямо пропорционально увеличению длины фильтра:

$$P_{\gamma} = bl_{\phi}, \quad (5)$$

где b — стоимость 1 пог. м приготовления фильтра.

С увеличением диаметра обсадной трубы затраты на приготовление фильтровой части скважины увеличиваются пропорционально диаметру скважины. Так, например, затраты на изготовление щелевого фильтра с размером отверстий 250×5 мм и скважностью 20% нарастают следующим образом:

Диаметр каркаса, мм	Окраска 1 пог. м трубы, руб.	Нарезка ще- лей, руб.	Увеличение, %	
			диаметра скважины	затрат на подготовку фильтра
273	3,25	26,4	100	100
325	3,88	31,4	119	119
373	4,45	36,0	136	136
426	5,1	41,2	156	156

Следовательно, зависимость стоимости подготовки фильтровой части скважины от ее диаметра можно выразить так:

$$P_{\gamma} = \pi b_1 l_{\phi} d, \quad (6)$$

где b_1 — стоимость приготовления 1 м² фильтровой части обсадной трубы.

Обычно затраты, связанные с бурением скважины и установкой ее каркаса, зависят как от способа бурения и категории грунта, так и от глубины и диаметра проходки. По расценкам Узгипроводхоза стоимость 1 пог.м бурения скважин диаметром 900 мм ударно-канатным способом с применением глинистого раствора для грунтов I категории составляет 54,97 руб., или 100%, II категории — соответственно 62,995, или 119, и III категории — 76,6, или 128,5.

Известно, что с увеличением глубины бурения в пределах первых 100 м затраты на проходку каждого погонного метра изменяются только с изменением категории грунта и его мощности. От глубины бурения они не зависят, так как согласно известным нам сметам и калькуляциям при использовании глинистого раствора производительность станка почти не меняется.

Таким образом, затраты на бурение скважины в зависимости от глубины проходки можно представить в виде равенства

$$P_6 = \sum_{i=1}^n c_i l_i, \quad (7)$$

в котором c_i — стоимость 1 пог. м проходки в грунте i -й категории;

l_i — толщина грунта i -й категории, пройденного в процессе бурения скважины.

Затраты на бурение скважины ударно-канатным способом в зависимости от ее диаметра изменяются в следующих пределах:

Диаметр бурения, мм	Стоимость 1 пог.м проходки в грунте I категории, руб.	Увеличение, %	
		диаметра скважины	стоимости бурения 1 пог. м породы
600	46,3	100	100
700	49,26	116,7	106,2
900	54,97	150	118,5
1200	82,7	200	184

Приведенные цифры свидетельствуют о том, что при изменении диаметра бурения в пределах 600—900 мм затраты увеличиваются незначительно (на 18%), а в пределах 900—1200 мм они резко (на 68,5%) возрастают, что объясняется снижением производительности станка.

Это подтверждается практикой: в совхозе „Пахтаарал“ при бурении скважин диаметром 900 мм станком УКС-30 проходка в грунте II категории составляла 2,7—3,0 м/смена, а при бурении скважин диаметром 1200 мм она уменьшалась почти на 50%—1,2—1,5 м/смена.

В изменении затрат на бурение скважин роторно-вращательным способом наблюдается в основном такая же закономерность, как и при ударно-канатном способе (рис. 2). Эта закономерность сохраняется и при изменении категории грунта, только общая стоимость бурения уменьшается на 40—50%.

Следовательно, зависимость стоимости бурения скважины от глубины равна

$$P_{\lambda} = \sum_{i=1}^n l_i (2,45d - d^2). \quad (8)$$

Для строительства высокодебитных скважин в условиях Средней Азии широко применяются гравийные фильтры [2], образуемые в результате засыпки гравия в забой скважин. Стоимость засыпки гравия составляет 2—2,5% от общей стоимости строительства скважин. Объем засыпаемого гравия зависит от диаметра фильтрового каркаса и от диаметра бурения: чем меньше диаметр каркаса и больше диаметр бурения, тем выше стоимость гравийного фильтра.

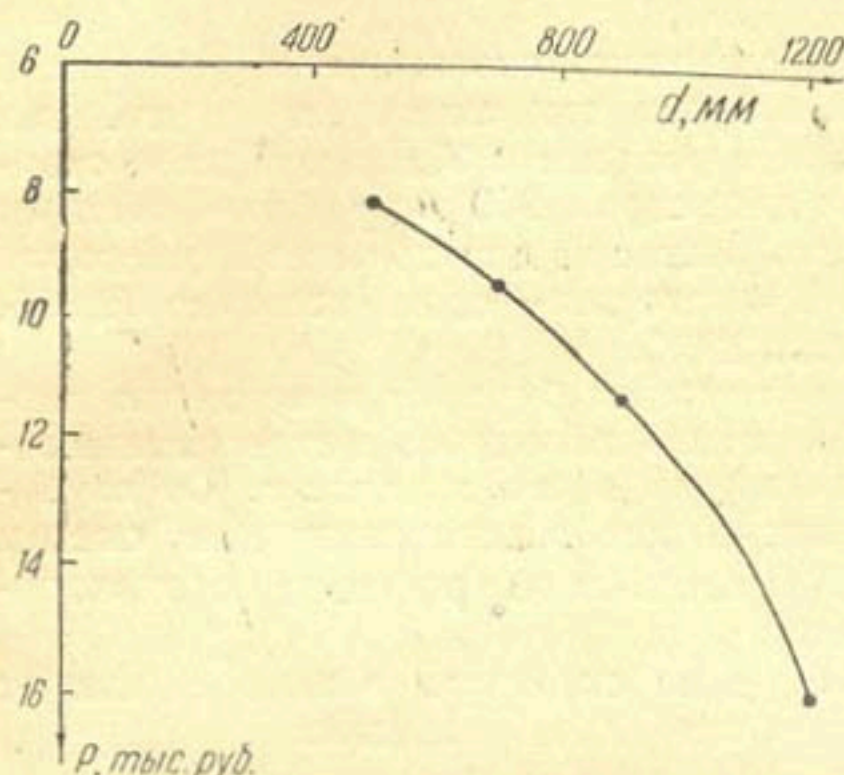


Рис. 2. График изменения затрат на бурение скважины в зависимости от ее диаметра.

При строительстве скважин вертикального дренажа диаметр каркаса выбирается с учетом сохранения ламинарного движения потока подземных вод в прифильтровой зоне скважины, а также параметров насосно-силового оборудования, которое должно быть подобрано в соответствии с характеристикой скважины, т. е. дебитом и понижением динамического уровня.

Мы рассматриваем высокодебитные скважины вертикального дренажа, поэтому габариты насоса и скорости в прифильтровой зоне вынуждают нас принимать диаметр каркаса скважин постоянным — порядка 426 мм. В связи с этим объем засыпаемого гравия в основном зависит от диаметра бурения скважины и стоимость засыпанного гравия может быть выражена зависимостью

$$P_x = \frac{e\pi l}{4} (d_{\tau}^2 - d^2), \quad (9)$$

где e — стоимость 1 м³ гравия, засыпанного в забой скважины;
 d_{τ} — диаметр обсадной трубы;
 d — диаметр бурения скважины.

Так, при глубине скважины 100 м и диаметре каркаса 426 мм затраты на засыпанный гравий возрастают с увеличением d следующим образом:

Диаметр бурения, мм	Объем засыпаемого гравия, м ³	Затраты на засыпку гравия, руб.	Затраты вместе с накладными расходами и плановым накоплением, руб.	Увеличение затрат на засыпку гравия, %
600	14,2	127,6	142,94	100
700	24,4	198,0	240,8	168,5
900	49,3	412	502,1	350
1200	99,0	810	984,5	687

При постоянном диаметре бурения затраты на засыпку гравия увеличиваются прямо пропорционально глубине скважины. Например,

при диаметре бурения 900 мм и диаметре каркаса 426 мм капиталовложения на засыпку гравия изменяются так:

Глубина скважины, м	Объем засыпаемого гравия, м³	Затраты на засыпку гравия, руб.	Затраты вместе с накладными расходами и плановым накоплением, руб.	Увеличение затрат на засыпку гравия, %
50	25	206,4	250,9	100
75	37,5	310	376,75	150
100	50	413	502,1	200

Очевидно, что при постоянном диаметре бурения затраты на засыпку гравия для образования гравийного фильтра в зависимости от глубины скважины также могут быть выражены соотношением (9).

Мы рассмотрели метод строительства скважин с гравийными фильтрами. При других же методах строительства скважин d можно принять постоянным или даже равным нулю.

Завершающим этапом строительства скважин вертикального дренажа является проведение строительных откачек, в процессе которых формируется устойчивый гравийный фильтр. Затраты на формирование устойчивого гравийного фильтра скважины определяются продолжительностью проведения строительных откачек, зависящих от гранулометрического состава дренируемого пласта и гравия, засыпаемого для образования гравийного фильтра, от толщины гравийной обсыпки и от способа создания фильтра.

При одном и том же диаметре бурения (толщине обсыпки) и постоянном гранулометрическом составе засыпанного гравия продолжительность выноса песка и срок формирования фильтра в мелкозернистых песчаных грунтах в два — три раза больше, чем в гравелистом песке, где формирование фильтра происходит из естественного гравия.

Наши наблюдения показали, что при одинаковых гидрогеологических условиях (мощности пласта, коэффициенте фильтрации, гранулометрическом составе водоносного пласта и гравийной обсыпки) чем больше диаметр бурения, тем меньше срок проведения строительных откачек.

Так, например, на Гулистанском и Пахтааральском опытно-производственных участках вертикального дренажа в Голодной степи, где дренируемый пласт сложен мелкозернистым песком, срок действия строительных откачек скважин, оборудованных гравийными фильтрами из разнозернистого гравия размером фракций 1—20 мм, соответствовал графику, представленному на рис. 3. Этот график может быть аппроксимирован кривой

$$y = \frac{8}{d\sqrt{d}} + 1,89, \quad (10)$$

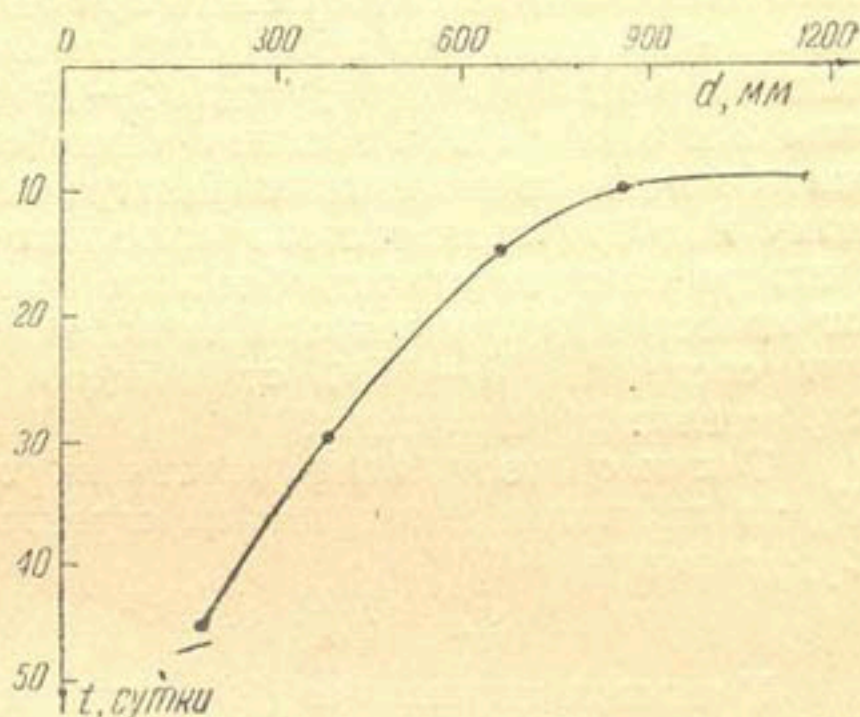


Рис. 3. График изменения срока строительных откачек в зависимости от диаметра скважин.

где y — срок проведения строительной откачки, сутки;

d — диаметр скважины, м.

Следовательно, затраты на проведение строительных откачек можно определить по формуле

$$P_s = \left(\frac{8}{d \sqrt{d}} + 1,89 \right) g, \quad (11)$$

в которой g — суммарная стоимость откачек в течение 1 суток.

Следует заметить, что при правильном подборе гравийной засыпки, употребляемой для образования фильтра скважины, срок действия строительных откачек резко сокращается.

Так, на Гулистанском опытно-производственном участке вертикального дренажа в Голодной степи при одинаковом методе бурения в условиях мелкозернистого песка строительная откачка на скв. 1, где был засыпан гравий размером фракций 2—10 мм, продолжалась 14 суток, а на скв. 2 и 3, куда был засыпан плохо отсортированный гравий, продолжительность формирования фильтра составляла 40—45 дней. Правильному подбору гравелистого материала для образования гравийного фильтра следует уделять большое внимание, так как в зависимости от качества гравия затраты на проведение строительной откачки могут составить 5—15% от общего объема капиталовложений на строительство скважины.

Таким образом, если затраты на оборудование обозначить через P_ξ , то капитальные затраты на строительство и оборудование скважин будут равны

$$P_k = P_\beta + P_\gamma + P_\delta + P_\lambda + P_x + P_s + P_\xi. \quad (12)$$

Учитывая выражение (12), установим величину диаметра скважины, обеспечивающую минимум эксплуатационных затрат, для случая, когда скважина каптирует напорный пласт.

Дебит скважины в указанном случае будет определяться формулой [4, 5]

$$Q = \frac{2\pi k T S}{\ln \frac{1,12}{\omega r_0}}, \quad (13)$$

где

$$\omega = \sqrt{\frac{k_2}{k T T_2}};$$

r_0 — диаметр скважины (остальные обозначения указаны на рис. 1 работы [7]).

Подставив выражения (4), (6), (8), (9), (11) и (13) в (12), а (12) в (1), получим функцию, определяющую затраты на эксплуатацию скважины в зависимости от ее диаметра:

$$P_s = \left[l(0,515d - 1,86) + \pi b_1 l_\phi d + \sum_{i=1}^n l_i(2,45d - d^2) + \right. \\ \left. + \frac{e\pi l}{4}(d_r^2 - d^2) + g \left(\frac{8}{d \sqrt{d}} + 1,89 \right) + P_\xi \right] p_1 + P_p + \frac{\pi k T S \gamma L t_2}{51 \eta \ln \frac{2,24}{\omega d}}. \quad (14)$$

Учитывая, что $P_\xi = \text{const}$ и $P_p = \text{const}$, возьмем производную от (14)

и приравняем ее нулю:

$$\left[0,515l + \pi b_1 l_\phi + \sum_{i=1}^n l_i (2,45 - 2d) - \frac{e\pi l d}{2} - \frac{8,3}{2d^2 \sqrt{d}} g \right] p_1 + \frac{\pi k T S \gamma L t \sigma}{51 \eta d \ln^2 \frac{2,24}{\omega \cdot d}} = 0. \quad (15)$$

Решая полученное уравнение относительно d , найдем такой диаметр скважины, который наиболее выгодно проектировать в рассматриваемых конкретных условиях.

Это уравнение можно решить только подбором. Однако если учесть, что $\ln \frac{2,24}{\omega d}$ очень мало изменяется с изменением d и вследствие слабой изученности влияния диаметра скважины на продолжительность проведения строительных откачек P_o обычно принимается не зависящим от диаметра скважины, то из уравнения (15) следует, что наиболее выгодный диаметр скважины следует определять по формуле

$$d = \frac{0,515l + 2,45 \sum_{i=1}^n l_i + \sqrt{\left(0,515l - 2,45 \sum_{i=1}^n l_i \right)^2 + 4 \frac{\pi k S \gamma L t \sigma \left(\pi b_1 l_\phi + \sum_{i=1}^n 2l_i + \frac{e\pi l}{2} \right)}{51 \eta \ln^2 \frac{2,24}{\omega d}}}}{2 \left(\frac{e\pi l}{2} + \sum_{i=1}^n l_i - \pi b_1 l_\phi \right)} \dots \rightarrow \quad (16)$$

Если определять эффективный диаметр скважины, исходя только из принципа минимума капитальных затрат на строительство и оборудование скважины, то в уравнении (15) последний член нужно положить равным нулю; тогда получим

$$d = \frac{0,515l + 2,45 \sum_{i=1}^n l_i}{\frac{e\pi l}{2} + 2 \sum_{i=1}^n l_i - \pi b_1 l_\phi}. \quad (17)$$

Теперь рассмотрим, как вычисляется экономически выгодная глубина вскрытия пласта. Дебит несовершенной скважины, дренирующей напорный пласт, для большинства случаев находится по формуле В. Д. Бабушкина [6]

$$Q = \frac{2\pi k l_\phi S}{\ln \frac{2,64}{d} l_\phi}. \quad (18)$$

Подставив выражения (3), (5), (7), (9) в (12) и затем (12) и (13) в (1), получим уравнение, определяющее ежегодные затраты на экс-

плуатацию скважины:

$$P_3 = P_1 \left[a(T + l_\phi) + bl_\phi + c_1 T + c_2 l_\phi + \frac{e\pi}{4} (d_\tau^2 - d^2) (T_1 l_\phi) + \right. \\ \left. + P_\sigma + P_\xi \right] + P_p + \frac{\pi k l_\phi S \gamma L t \sigma}{51 \eta \ln \frac{2,64 l_\phi}{d}}. \quad (19)$$

Учитывая независимость срока строительных откачек, стоимости оборудования и затрат по содержанию эксплуатационного штата от степени вскрытия пласта, возьмем производную по l_ϕ от уравнения (19) и приравняем ее нулю. Тогда получим

$$P_1 \left[a + b + c_2 + \frac{e\pi}{4} (d_\tau^2 - d^2) \right] - \frac{\pi k l_\phi S \gamma L t \sigma}{51 \eta l_\phi \ln^2 \frac{2,64 l_\phi}{d}} + \\ + \frac{\pi k S \gamma L t \sigma}{51 \eta \ln \frac{2,64 l_\phi}{d}} = 0,$$

откуда

$$\ln \frac{2,45 l_\phi}{d} = \frac{-1 + \sqrt{1 + 4\theta}}{2\theta}, \quad (20)$$

где

$$\theta = \frac{51 \eta p_1 \left[a + b + c_2 + \frac{e\pi}{4} (d_\tau^2 - d^2) \right]}{\pi k S \gamma L t \sigma}.$$

Решая соотношение (20) относительно l_ϕ , найдем оптимальную глубину вскрытия пласта:

$$l_\phi = \frac{d}{2,64} e^{\frac{\sqrt{1+4\theta}-1}{2\theta}}.$$

ЛИТЕРАТУРА

1. Минаев И. В. „Гидротехника и мелиорация“, 1958, № 10.
2. Якубов Х. „Социалистическое сельское хозяйство Узбекистана“, 1960, № 4.
3. Якубов Х. „Механизация хлопководства“, 1962, № 12.
4. Васильев В. А., Решеткина Н. М. ДАН УЗССР, 1958, № 2.
5. Барон В. А. Неустановившийся приток подземных вод к скважине вертикального дренажа, В сб. „Вопросы гидротехники“, вып. 3, Ташкент, АН УЗССР, 1961.
6. Абрамов С. К. и Бабушкин В. Д. Методы расчета притока воды к буровым скважинам, М., Госстройиздат, 1955.
7. Барон В. А. Определение расстояний между скважинами вертикального дренажа (публикуется в настоящем сборнике).

А. УМАРОВ

ПРОГНОЗ ВОДНОГО БАЛАНСА ОРОШАЕМОЙ ТЕРРИТОРИИ ПРИ ПОМОЩИ ВЕРТИКАЛЬНОГО ДРЕНАЖА

В директивах XXII партсъезда КПСС и постановлениях Партии и Правительства намечается обширная программа ирригационного строительства в Голодной степи для орошения новых земель и проведения комплекса мелиоративных мероприятий в зоне орошения Кировского магистрального канала.

Земли Голодной степи в зоне командования Кировского магистрального канала характеризуются высоким уровнем минерализованных грунтовых вод и широким распространением вторичного засоления.

В этом районе до глубины 15—20 м и более лежат лессы с коэффициентом фильтрации, равным в среднем 1 м/сутки, а ниже подстилаются пески, пески с мелким гравием, суглинки и глины общей мощностью более 100 м.

Грунтовые воды получают питание из нижележащих напорных водоносных слоев, минерализация которых в лессах составляет 10 г/л, а на глубине 25—40 м — 2—3 г/л [4].

Зеркало грунтовых вод до орошения в пределах депрессий было выше «критической» глубины, а на водораздельных участках ниже — 5—10 м от поверхности земли. В результате орошения уровень грунтовых вод вследствие накопления инфильтрации ирригационных вод на всей территории орошаемой зоны поднялся и стал меньше критического.

Основная причина высокого стояния минерализованных грунтовых вод и связанного с ним вторичного засоления почв заключается в недостаточной естественной дренированности почво-грунтов Голодной степи. Следовательно, на засоленных землях Голодной степи водный режим при орошении следует регулировать в соответствии с конкретными природными и ирригационно-хозяйственными условиями, что достигается строгим планированием водопользования и правильной эксплуатацией мелиоративных систем.

В орошаемой зоне Голодной степи наиболее распространенным и активным средством рассоления и регулирования водно-солевого режима почво-грунтов является открытая коллекторно-дренажная сеть, протяженность которой на 1 января 1962 г. составляла 3108 км. Кроме того, в совхозах «Главголодностепстроя» началось строительство глубокого закрытого дренажа; в совхозах «Социализм», «Пахтаарал» и в г. Гулистане (бывш. Мирзачуль) построен и успешно проходит испытание вертикальный дренаж. Но, несмотря на положительные результаты испытаний вертикального дренажа, он до сих пор практически мало внедряется.

Прогноз динамики грунтовых вод методом водного баланса на Шурузякском участке при откачке из системы вертикального дренажа

Месяц	Приходные статьи					Расходные статьи					Среднее изменение уровня грунтовых вод, м ΔH	Зеркало грунтовых вод, м $H_{гр} = 1,66 + \Delta H$
	осадки	водоподача	приток фильтрованных вод	подача откачиваемых грунтовых вод на поле	всего	суммарное испарение и транспирация	отток			Изменение запаса грунтовых вод		
							отток грунтовых вод по коллекторной сети дренажем	отток грунтовых вод вертикальным дренажем	подземный отток			
$\text{м}^3/\text{мес}/\text{га}$												
X	97,0	344,5	99,0	—	540,5	528,0	107,1	53,56	34,0	722,66	-182,16	1,88
XI	4660,0	221,8	100,9	—	788,7	271,0	98,6	51,84	110,0	531,44	+257,26	1,56
XII	111,0	215,4	188,0	—	514,4	189,0	104,6	53,56	134,0	481,16	+33,24	1,52
I	163,0	226,5	194,0	—	583,5	132,0	180,8	53,56	59,0	425,36	+158,14	1,33
II	150,0	—	—	—	150,0	108,5	58,9	48,38	95,0	310,78	-160,78	1,53
III	372,0	—	—	129,0	501,0	106,0	22,5	53,56	214,0	396,06	+104,94	1,40
IV	1035,0	—	36,4	—	1071,4	506,0	22,9	51,84	529,0	1109,74	-38,34	1,45
V	46,0	454,9	131,5	374,8	1007,2	809,2	22,1	53,56	23,8	908,66	+98,54	1,33
VI	108,0	863,1	100,8	481,4	1553,3	1068,6	25,9	51,84	839,4	1985,74	-432,44	1,87
VII	—	841,4	112,5	540,7	1494,6	1157,5	21,4	53,56	781,5	2013,96	-519,36	2,51
VIII	15,0	889,2	121,5	239,4	1265,1	1031,9	19,9	53,56	432,1	1577,46	-272,36	2,85
IX	2,0	648,0	126,0	235,4	1011,4	852,0	11,6	51,84	107,9	1023,34	-11,94	2,86
За сезон	2565,0	4704,8	1210,6	2000,7	10481,1	6759,7	696,3	630,66	3359,7	11446,36	-965,26	—
В пересчете на проценты	22,4	41,0	10,5	17,5	91,4	58,9	6,1	5,5	29,5	100	8,6	—

В табл. 1 на примере Шурузякского опытно-производственного участка вертикального дренажа на территории совхоза «Социализм», где борьба с рассолением ведется при помощи откачки вертикальных дрен, мы даем расчет прогнозного изменения запаса грунтовых вод. При расчете суммарный дебит из существующих 12 скважин, расположенных на 2000 га, приняли в среднем равным 1 м³/сек, коэффициент земельного использования — 0,9.

Прогноз динамики грунтовых вод на участке произвели для двух случаев:

1) за приходные статьи водного баланса приняли исходные данные, полученные нами в 1960—1961 гг., с учетом дополнительной подачи воды в вегетационный период, откачиваемой из систем вертикальных дрен;

2) расчет осуществили для тех же условий, что и в первом случае, только при нормальных (оптимальных) откачках из систем вертикальных скважин и использовании откачиваемых подземных вод для орошения сельскохозяйственных культур и промывки почво-грунтов.

В первом случае суммарное испарение и транспирацию определяли методом А. А. Скворцова, основанным на ярусном характере конвекционного обмена в нижнем приземном слое атмосферы.

При интенсивной откачке систем вертикальных скважин роль существующего открытого горизонтального дренажа резко снижается. Для расчета отток по нему положили равным примерно 10% от всех приходных статей. Отток грунтовых вод, т. е. ту часть воды, которая поступала из покровных суглинков в водоносный горизонт при помощи вертикального дренажа, согласно специальному теоретическому расчету отдела мелиорации ИВПиГ АН УзССР приняли за 4% от общего дебита скважин, а подземный отток — по расчету водного баланса за 1960—1961 гг.

Расчет производили для каждого месяца гидрологического года. Изменение запасов грунтовых вод определяли по уравнению, приведенному в работе [3]:

$$\mu \Delta H = W \pm \Delta Q,$$

где μ — водоотдача почво-грунта (для наших условий $\mu = 0,08$);

W — питание грунтовых вод, т. е. разность приходной и расходной статьи;

$\pm \Delta Q$ — подземный приток или отток грунтовых вод из покровного суглинка в водоносный горизонт.

Частное от деления найденной величины на водоотдачу дает среднее изменение уровня грунтовых вод в данный период.

Для расчета прогнозного залегания грунтовых вод на исследуемой территории среднюю действительную глубину зеркала грунтовых вод в начале расчетного периода принимали за исходную (см. табл. 1). В результате мы построили интегральные кривые, характеризующие ход изменения запасов грунтовых вод и среднее изменение глубины зеркала грунтовых вод на Шурузякском участке (рис. 1).

Прогноз динамики водного баланса, произведенный для первого случая, показывает, что осенняя водоподача для промывки почво-грунтов и осадки, несмотря на интенсивные откачки, вызывают подъем уровня грунтовых вод на 1,33 м. Прекращение водоподачи приводит к снижению уровня грунтовых вод. В мае с началом вегетационных поливов он вновь поднимается. В дальнейшем вследствие суммарного испарения и транспирации, а также интенсивной откачки вертикаль-

ми скважинами подъема уровня грунтовых вод не происходит. В конце расчетного периода уровень грунтовых вод снижается до 2,86 м.

Во втором случае откачку производили только в период промывок (декабрь—январь) и вегетации (с половины апреля до половины октября). Горизонтальные открытые (временные) дрены работают лишь во время промывок для ускорения сброса грунтовых вод в зоне аэрации.

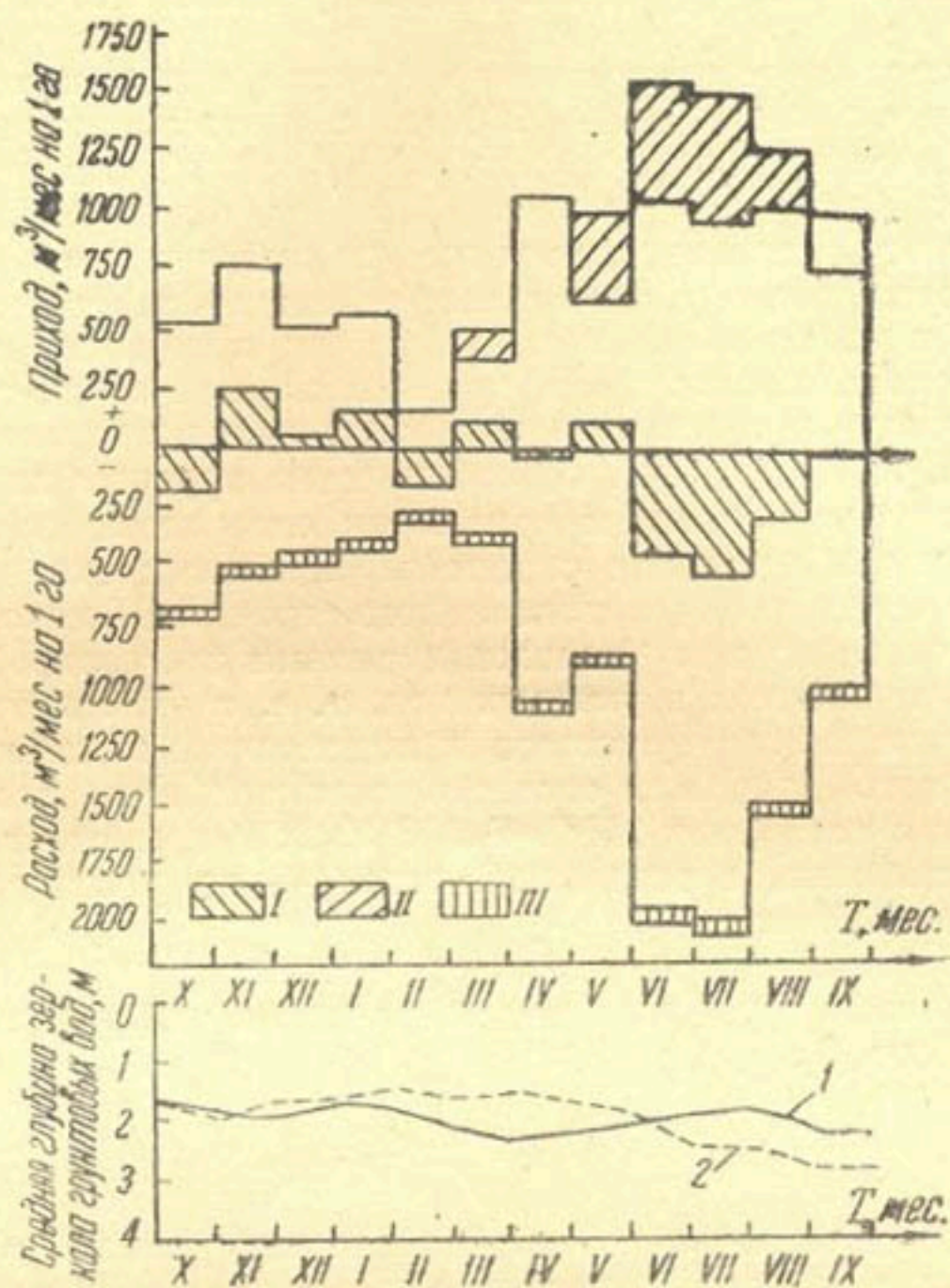


Рис. 1. График прогноза водного баланса и уровня грунтовых вод Шурузьянского участка при интенсивной откачке систем вертикального дренажа ($\omega_{бр} = 2000 \text{ га}$ при КЗИ—0,9):

I—изменение запаса грунтовых вод; II—подача откачиваемых подземных вод на орошение и промывку; III—отток грунтовых вод вертикальным дренажем;
 1—существующий уровень грунтовых вод; 2—расчетный уровень грунтовых вод.

Суммарное испарение и транспирацию определяли по графику А. П. Вавилова, рекомендованному для хлопчатника и травы, при различных залеганиях уровня грунтовых вод [5].

На основе принятых элементов баланса составили табл. 2 и построили интегральные кривые, характеризующие ход изменения запасов грунтовых вод и среднее изменение глубины уровня грунтовых вод на проектируемой территории (рис. 2).

И в этом случае осенняя водоподача для промывок и атмосферные осадки вызывают подъем уровня грунтовых вод. В результате приме-

Прогноз водного баланса на Шурузьянском участке при использовании откачиваемых грунтовых вод вертикальным дренажем

Месяц	Приходные статьи				Расходные статьи					Изменение запаса грунтовых вод	Среднее изменение уровня грунтовых вод, м ΔH	Зеркало грунтовых вод, м $H_{гр} = 1,66 + \Delta H$	
	осадки	подача откачиваемых грунтовых вод на поле	приток фильтрционных вод	всего	суммарное испарение и транспирация	отток грунтовых вод по коллекторной сети	отток грунтовых вод вертикальным дренажем	подземный отток	всего				
<i>м³/мес/га</i>													
X	97	—	99,0	196,0	528,0	—	—	34,0	562,0	-366,0	-0,45	2,11	
XI	466	—	100,9	566,9	471,0	—	—	110,0	581,0	-14,1	-0,02	2,13	
XII	111	1296,0	188,0	1595,0	189,0	1046,0	53,56	134,0	1422,56	+172,44	+0,22	1,91	
I	163	1339,2	194,0	1696,2	132,0	1205,3	53,56	59,0	1449,86	+246,34	+0,31	1,6	
II	150	—	—	150,0	108,5	589,0	—	95,0	792,5	-642,5	-0,82	2,42	
III	372	—	—	372,0	106,0	225,0	—	214,0	545,0	-173,0	-0,22	2,64	
IV	1035	648,0	36,4	1719,4	506,0	—	25,92	529,0	1060,92	-658,48	+0,82	1,82	
V	46	1339,2	131,5	1516,7	809,2	—	53,56	323,8	1186,56	+330,14	+0,41	1,41	
VI	108	1296,0	100,8	1504,8	1068,6	—	51,84	839,4	1959,84	-455,04	-0,57	1,98	
VII	—	1339,2	112,5	1451,7	1157,5	—	53,56	781,5	1992,56	-540,86	-0,67	2,65	
VIII	15	1339,2	121,5	1475,7	1031,9	—	53,56	432,1	1517,56	-41,86	-0,05	2,70	
IX	2	648,0	126,0	776,0	852,0	—	25,92	107,9	985,82	-209,32	-0,26	2,96	
За сезон	2565	9244,8	1210,6	13020,9	6959,7	3065,3	371,48	3659,7	14056,18	-1035,78	-1,3	—	
В пересчете на проценты	18,3	65,8	8,6	92,7	49,4	21,9	2,6	26,1	100	7,3	—	—	

нения горизонтального дренажа, как временного мероприятия, и откачек из систем вертикальных скважин подъем зеркала грунтовых вод был незначительный.

Весенний спад грунтовых вод благодаря испарению и работе временного дренажа растянулся до апреля. В апреле с началом влагоза-

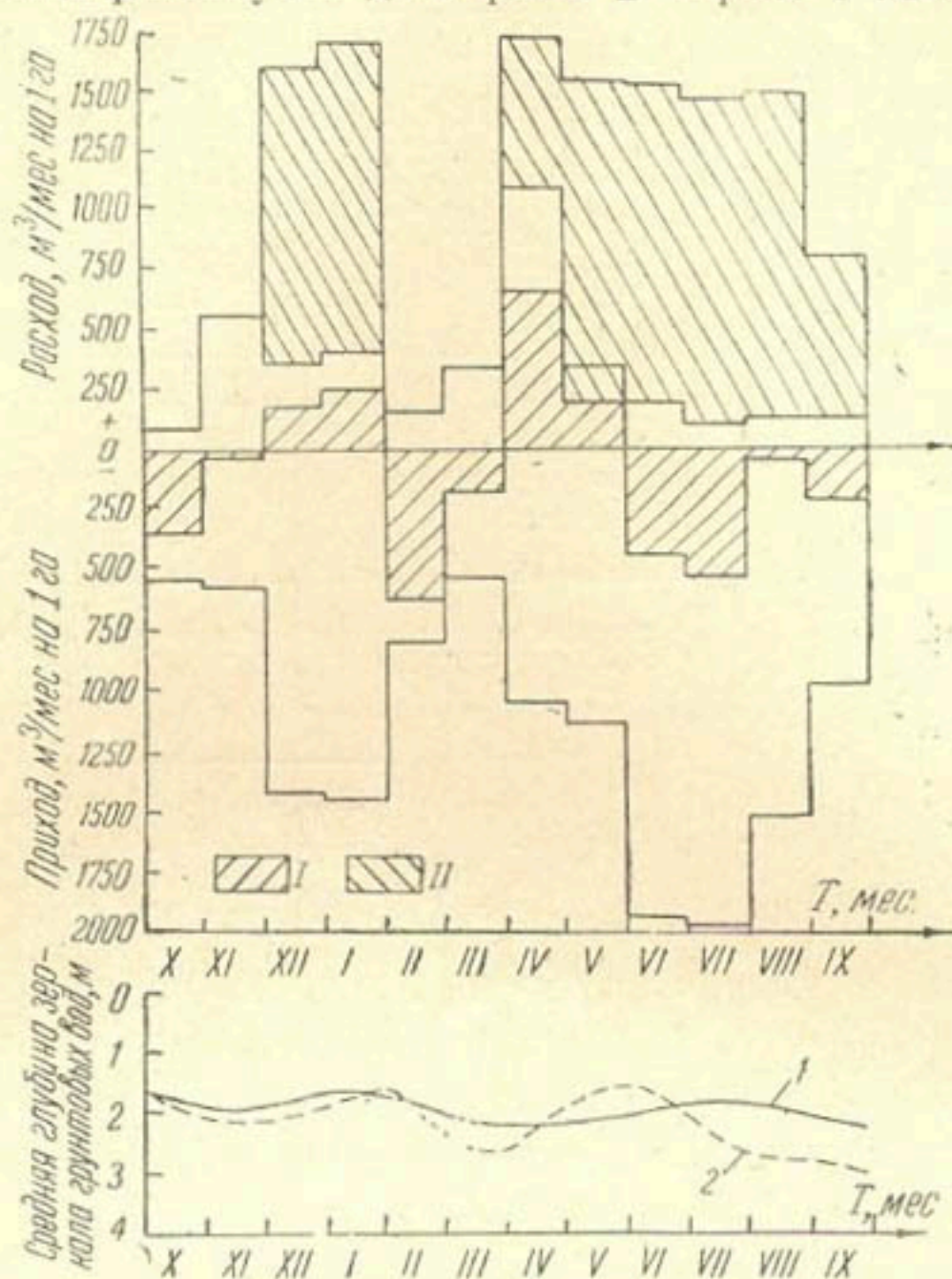


Рис. 2. График прогноза водного баланса и уровня грунтовых вод Шурузякского участка при полном переключении участка на орошение откачиваемых подземных вод ($\omega_{6p} = 2000 \text{ га}$ при КЗИ—0,9):

Условные обозначения те же, что и на рис. 1.

рядных поливов наблюдается подъем зеркала грунтовых вод, но за счет интенсивных откачек вертикальными скважинами, а также суммарного испарения и транспирации достигается снижение уровня грунтовых вод до 3 м.

ВЫВОДЫ

1. Интенсивная откачка напорных подземных вод вертикальными скважинами и умелое использование этих вод для орошения в сочетании с другими агротехническими и организационными мероприятиями позволяют ликвидировать процессы засоления на территории и увеличить урожайность сельскохозяйственных культур.

2. Использование откачиваемых подземных вод, минерализация которых колеблется в пределах 1,7 — 1,9 г/л, для орошения и промывок дает возможность увеличить орошаемые площади за счет существующего источника воды.

3. Для создания необратимого рассоления почво-грунтов на исследуемой территории с общей площадью 2 000 га, при коэффициенте земельного использования 0,9 согласно прогнозу требуется увеличение срока откачек существующих скважин со средним дебитом 1 м³/сек.

ЛИТЕРАТУРА

1. Костяков А. Н. Основы мелиорации, М., Сельхозгиз, 1960.
 2. Крылов М. М. Основы мелиоративной гидрогеологии Узбекистана, Ташкент, АН УзССР, 1958.
 3. Лебедев А. В. Прогноз изменения уровня грунтовых вод на орошаемых территориях, М., Геолгиздат, 1957.
 4. Решеткина Н. М. Гидрогеологические основы вертикального дренажа, Ташкент, АН УзССР, 1960.
 5. Рачинский А. А. О дренаже в районах орошения, Труды ТИИИМСХ, вып. XVI, Ташкент, 1960.
-

Х. ЯКУБОВ, В. А. БАРОН

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО И ВЕРТИКАЛЬНОГО ДРЕНАЖА

В настоящее время половина орошаемых и почти три четверти предполагаемых к освоению земель подвержены засолению и требуют проведения комплекса мелиоративных мероприятий.

По гидрогеологическим условиям эти районы относятся к области затрудненного естественного оттока грунтовых вод. Следовательно, усиление оттока минерализованных грунтовых вод должно базироваться на искусственном дренаже.

Для отвода минерализованных грунтовых вод до последних лет широко применялся открытый горизонтальный дренаж, поэтому общая протяженность открытого горизонтального дренажа в Голодной степи (включая Казахскую часть) по состоянию на 1 января 1962 г. составляет около 3780 км, тогда как протяженность закрытого дренажа — около 50 км.

Открытый горизонтальный дренаж наиболее развит в староорошаемой зоне Голодной степи, где удельная протяженность его по отдельным хозяйствам достигает 30—35, а по массивам — 4—23,7 *пог. м/га* (табл. 1).

Эта довольно густая коллекторно-дренажная сеть (КДС) до некоторой степени позволяет (хотя и недостаточно) обеспечить отток минерализованных грунтовых вод, а вместе с ними и часть солей из рассматриваемых массивов. Так, по данным Голодностепского управления оросительных систем, только по трем коллекторам — Шурузякскому, Главному пойменному (ГПК) и Центральному Голодностепскому (ЦГК) ежегодно отводится более 450—500 млн. м^3 воды, а вместе с нею около 2 млн. т солей, что составляет на 1 га валовой площади 14,8 т, а с орошаемой площади — 25,2 т солей.

По расчетам Б. А. Михельсона [6], открытая КДС позволила значительно уменьшить площадь сильнозасоленных почв в зоне командования Кировского магистрального канала (КМК).

Согласно данным Н. И. Броницкого [3], на строительство и реконструкцию этой КДС начиная с 1940 г. израсходовано свыше 18,5 млн. руб., при этом земляных работ было выполнено объемом более 59 млн. м^3 , а полосы отчуждения под ними превысили 9 тыс. га.

В соответствии с этими затратами удельные капиталовложения на строительство и реконструкцию 1 км дренажа составят 18,5 млн. руб.: $3780 = 5540$ руб.

Строительство и эксплуатация КДС в условиях староорошаемой зоны Голодной степи сопровождаются большими трудностями вслед-

ствие оплывания откосов, вызванного высоким стоянием уровня грунтовых вод. По этой причине заглубление КДС, произведенное с трудом, носит временный характер: результаты, достигнутые в период глубокого залегания грунтовых вод, ликвидируются весной из-за их подъема.

Таблица 1

Удельная протяженность открытой коллекторно-дренажной сети в северо-восточной части Голодной степи

Массив	Площадь, тыс. га		Протяженность КДС, км	Удельная протяженность КДС, пог. м/га	
	валовая	орошаемая		валовая	орошаемая
Шурузякский	27,251	44,764	1062,40	15,8	23,7
в том числе Железнодорожный коллектор	12,400	9,40	200,4	16,3	21,3
ГПК	57,970	32,199	452,2	7,8	14,1
Сардобинский	64,072	42,080	510,92	7,8	12,1
К-1	8,409	2,858	11,85	1,4	4,1
ЦГК	10,209	3,183	9,250	0,9	4,2

Так, например, в 1958—1960 гг. были проведены земляные работы на территории Пахтааральского и Ильичевского районов по реконструкции коллекторов: Северному и Западному, 1-му Тугайному, «Земля и труд», Восточному, а также по системе Сардобинских коллекторов общим объемом 3 292 084 м³ стоимостью 900 тыс. руб.

Исполнительная нивелировка, произведенная в 1960 г. по коллекторам Северному, Западному и Восточному общей длиной 45 км, показала, что дно коллекторов по сравнению с 1957 г. не углубилось, за исключением пойменных частей, где положительное влияние оказав большой уклон местности в сторону р. Сыр-Дарьи.

Дно коллекторов лежит в основном на отметках 1957 г., а на отдельных участках наблюдается превышение дна на 20—30 см, при этом поперечные сечения коллекторов, по съемке 1960г., значительно расширились. Системы дрен Железнодорожного коллектора обслуживают территорию в 12,4 тыс. га (орошаемая площадь составляет 97 400 га): земли Сырдарьинского и Гулистанского районов. При строительстве и реконструкции этой системы общей протяженностью 200,4 км было выполнено 3398,3 тыс. м³ земляных работ стоимостью более 1200 тыс. руб. По приведенным данным нетрудно подсчитать, что на строительство и реконструкцию 1 пог. км КДС потребовалось 5970,5 руб.

Таким образом, в Голодной степи на строительство и реконструкцию 1 пог. км открытой КДС уже затрачено от 5540 до 5970,5 руб. или в среднем 5877,3 руб.

Работы по строительству и реконструкции рассматриваемой КДС ведутся с 1940 г., но в результате оплывания откосов до сих пор не удалось достичь проектной глубины.

Следовательно, в условиях северо-западной части Голодной степи, где уровень минерализованных грунтовых вод высок, а под покровным мелкоземом имеется подземная вода с большим пьезометрическим напором, углубление открытой КДС дает временный эффект (табл. 2).

Данные табл. 2 показывают, что до 1956 г. урожайность хлопчатника по всем районам повысилась, а затем резко снизилась. Это объясняется тем, что с 1952 по 1956 г. проводилось строительство открытой КДС, предусмотренное в проекте «Узгипроводхоза», поэтому в этот

Таблица 2

Урожайность хлопчатника по годам, ц/га						
Год	Урожайность хлопчатника по отдельным районам Голодной степи				Средняя урожайность хлопчатника по КМК	Всего по ГолУОС
	Гулистанскому	Комсомольскому	Сырдарьинскому	Янгиерскому		
1952	21,7	24,75	24,05	24,10	23,45	23,7
1953	23,2	23,9	25,10	23,2	24,4	23,95
1954	21,6	21,6	23,38	19,0	22,9	21,55
1955	20,50	21,6	22,5	15,86	21,1	19,8
1956	24,15	24,7	27,6	21,4	25,5	24,18
1957	19,75	22,8	22,75	15,8	22,0	20,0
1958	15,55	18,20	17,83	17,94	17,29	17,5
1959	19,83	24,70	22,2	20,9	22,05	21,7
1960	12,08	15,47	18,53	13,64	15,84	15,13
1961	14,17	17,4	22,1	20,31	18,65	19,16

период значительно увеличился отток грунтовых вод. Однако в последние годы построенные дрены заросли и оплыли, что привело к ухудшению работы всей КДС. Кроме того, с 1955 г. началось усиленное освоение перелогов и залежей (табл. 3).

Таблица 3

Урожайность хлопчатника в зависимости от роста посевных площадей и состояния КДС

Год	Удельная протяженность КДС на орошаемой площади, пог. м/га	Посевная площадь под хлопчатником, га	Валовой сбор хлопка, ц	Урожай хлопка, ц/га
1951	9,7	640	15010	22,14
1952		700	16729	23,2
1953		730	19023	25,5
1954		860	21303	24,8
1955	54,0—55	827	21900	26,5
1956		900	25128	28,0
1957		1121	25997	23,2
1958		1271	24664	19,4
1959		1280	22735	22,4
1960		1365	17604	12,9
1961	39,5	1410	22825	16,5

В связи с освоением земель, во-первых, уменьшилось количество грунтовых вод, а вместе с ними и солей, выдавливаемых с орошаемых земель на перелог; во-вторых, в результате увеличения водоподачи увеличились фильтрационные потери из каналов и орошаемых полей, что привело к повышению пьезометрических напоров подземных вод, а следовательно, к увеличению одной из величин приходных статей баланса грунтовых вод.

Наглядным примером влияния роста объема работ по строительству КДС на урожайность сельскохозяйственных культур может служить колхоз «Коммунизм» Гулистанского района Сырдарьинской области.

По данным В. М. Федоровой [8], в течение 1945—1950 гг. на территории колхоза «Коммунизм» была построена (на площади 1240 га) внутрихозяйственная КДС протяженностью 11,9 км, что составляло 9,7 пог. м/га. За период 1951—1955 гг. в соответствии с проектами «Узгипроводхоза» протяженность КДС возросла до 77,7 км, а если учесть и коллектор Шурузьяк, то — до 82,2 км.

В 1961 г. удельная протяженность КДС составляла 39,5 пог. м/га орошаемой площади и 26,8 пог. м/га валовой площади, т. е. возросла более чем в 4 раза по сравнению с 1951 г. (в 1956—1960 гг. на территории колхоза были построены три небольшие дрены общей длиной 2,16 км).

Таким образом, если принять величину затрат на строительство и реконструкцию 1 км дренажа такой же, как для всей Голодной степи, — 5540 руб., то общая стоимость КДС колхоза составит приблизительно 495 тыс. руб., а удельные капиталовложения на 1 га орошаемой площади — 2320 и валовой площади — 1586,8 руб. При этом с 1951 по 1956 г. посевная площадь под хлопчатником возросла на 260 га, или 40%, при повышении урожайности на 5,86% с 1 га, а в последующие шесть лет — до 1410 га. Однако техническое состояние КДС за эти шесть лет сильно ухудшилось: в результате оплывания откосов глубина дрен значительно уменьшилась. В настоящее время глубина КДС составляет 2—3 м вместо проектной глубины 3—3,5—4 м. В связи с этим урожайность хлопчатника резко снизилась. И даже валовой сбор хлопка-сырца в 1961 г. был на 2203 ц меньше, чем в 1956 г. (табл. 3), хотя за этот период посевная площадь увеличилась на 510 га.

Аналогичная картина наблюдается и во многих других хозяйствах Голодной степи. Так, в совхозе «Социализм» удельная протяженность КДС составляет 40—45 пог. м/га, а средняя урожайность по совхозу за последние годы — 14—17 ц/га. В колхозе «Октябрь» удельная протяженность дренажа достигает 90—95 пог. м/га, и несмотря на это в последние годы наблюдается снижение урожайности сельскохозяйственных культур.

Приведенные примеры показывают, что при оценке того или иного мелиоративного мероприятия нельзя исходить только из условия капиталовложений на 1 га земли, а необходимо учитывать и эффект от этого мероприятия. Поэтому в тех районах, где по гидрогеологическим и почвенно-мелиоративным условиям требуется применение того или иного вида дренажа, технико-экономические показатели осуществляемых мероприятий следует подразделить на две группы: по видам затрат и мелиоративному эффекту.

К первой группе можно отнести удельные капиталовложения и затраты на эксплуатацию 1 пог. м дренажа, стоимость дренажа на 1 га и затраты, связанные с получением проектного модуля дренажа.

Во вторую группу показателей можно включить дренажный модуль, скорость снижения уровня грунтовых вод, величину гидравлического градиента, создаваемого под влиянием дренажа, и темпы рассоления почво-грунтов и грунтовых вод под влиянием дренажа.

По существу эффективность того или иного вида дренажа должны определять не стоимостные показатели, а мелиоративные показатели и в конечном итоге — урожайность сельскохозяйственных культур.

Для получения положительных мелиоративных показателей, т. е. для создания необратимого процесса рассоления почво-грунтов и

грунтовых вод, дренаж должен быть рассчитан на отвод определенного количества воды, обеспечивающего проектные глубины залегания грунтовых вод.

В настоящее время в северо-восточной части Голодной степи по проекту «Узгипроводхоза» построен открытый горизонтальный дренаж из расчета обеспечения оттока 0,35—0,4 л/сек грунтовых вод с 1 га площади.

Таблица 4

Среднемесечный расход и минерализация вод по коллекторам

Месяц	Шурузяк		Железнодорожный		ГПК	
	расход, м ³ /сек	плотный остаток, г/л	расход, м ³ /сек	плотный остаток, г/л	расход, м ³ /сек	плотный остаток, г/л
I	15,04	3,602	0,92	2,704	4,99	3,008
II	6,37	4,420	0,47	5,795	3,32	3,435
III	4,32	5,45	0,23	5,92	2,55	3,880
IV	6,75	5,45	0,56	5,480	3,24	3,405
V	9,06	3,705	1,10	2,625	5,23	2,95
VI	8,81	4,400	1,17	2,170	7,60	3,010
VII	6,51	7,710	0,52	3,05	5,38	3,53
VIII	8,60	3,420	0,68	2,46	7,49	3,170
IX	6,56	3,375	0,62	2,580	6,69	2,58
X	4,81	3,190	0,39	Нет	3,90	3,50
XI	8,24	2,985	0,84	.	3,19	3,3
XII	11,68	3,305	1,29	3,25	6,0	3,15
Средн. за год	7,23	3,904	0,73	3,603	4,96	3,246

Фактические расходы и данные о минерализации воды по трем основным коллекторам — Шурузяк, Железнодорожный и ГПК — за 1961 г. указаны в табл. 4, а средневзвешенный фактический дренажный модуль — в табл. 5.

Таблица 5

Значения дренажного модуля по коллекторам

Месяц	Шурузяк			Железнодорожный			ГПК		
	Q, м ³ /сек	q _{факт} , л/сек/га	$\frac{q_{расч}}{q_{факт}}$	Q, м ³ /сек	q _{факт} , л/сек/га	$\frac{q_{расч}}{q_{факт}}$	Q, л/сек	q _{факт} , л/сек/га	$\frac{q_{расч}}{q_{факт}}$
II	6,37	0,095	3,7	0,47	0,038	9,2	3,32	0,0575	6,1
III	4,32	0,065	5,4	0,23	0,0192	1,8	2,55	0,044	7,9
IV	6,75	0,1	3,5	0,56	0,045	7,8	3,24	0,057	6,15
Средн. за весенние месяцы	5,8	0,086	4,0	0,42	0,035	10	3,04	0,0535	6,5
Средн. за год	7,23	0,107	3,28	0,73	0,059	6	4,96	0,056	4,0

Из табл. 4 видно, что минимальный расход и максимальная минерализация (плотный остаток) по всем трем коллекторам приходится на февраль—апрель, т. е. на период высокого залегания уровня грун-

товых вод. Предполагается, что в этот период отсутствовал сброс оросительных вод в КДС, поэтому в дальнейшем при расчете дренажного модуля и удельных затрат мы будем пользоваться осредненными расходами весенних месяцев и среднегодовыми расходами.

Согласно данным табл. 5 фактический осредненный дренажный модуль в весенние месяцы по системе Шурузякского коллектора в 4 раза, Железнодорожного в 10 и ГПК в 6,5 меньше проектного. Дренажный модуль, подсчитанный по среднегодовым расходам, оказывается в 3—6 раз меньше расчетного.

Таблица 6

Значения дренажного модуля по групповым коллекторам колхоза „Коммунизм“ Гулистанского района за 1960—1961 гг.

Коллектор	Год	Фактический сток дренажной воды		Протяженность коллектора, м	Подвешенная площадь, га	$q_{\text{факт}}$		$q_{\text{расч}}$, л/сек/га	$\frac{q_{\text{расч}}}{q_{\text{факт}}}$
		тыс. м ³	л/сек			л/сек/пог.м	л/сек/га		
ВШ-5	1960	416,80	13,25	14355	465	0,0093	0,029	0,35	12
	1961	426,66	13,51	14355	465	0,0094	0,029	0,35	12
ВШ-7А	1960	917,89	29,09	7496	320	0,0040	0,091	0,35	3,7
	1961	сухо	—	7496	320	—	—	0,35	—
ВШ-7	1960	1467,11	46,47	14857	492	0,0031	0,095	0,35	3,6
	1961	1211,60	38,42	14857	492	0,0025	0,078	0,35	4,5
ВШ-9	1960	4997,87	155,02	40192	1518	0,0038	0,102	0,35	3,35
	1961	5219,60	165,05	40192	1518	0,0041	0,109	0,35	3,1
ВШ-11	1960	1232,64	49,00	8790	280	0,0056	0,175	0,35	2,0
	1961	сухо	—	8790	280	—	—	0,35	—
Всего	1960	9032,31	286,08	77690	3075	0,0037	0,072	0,35	4,85
	1961	6857,86	217,10	77690	3075	0,0022	0,071	0,35	4,94

Аналогичная картина наблюдается, например, в колхозе «Коммунизм», где фактический дренажный модуль изменяется от 0,029 до 0,175 л/сек и в среднем по хозяйству в 1960 г. составлял 0,072 и в 1961 г. — 0,071 л/сек, т. е. был в 4,9 раза меньше расчетного модуля (табл. 6).

Для обеспечения расчетного дренажного модуля и, следовательно, рассоления почво-грунтов и грунтовых вод в рассматриваемой части Голодной степи требуется или углубить КДС, или увеличить удельную протяженность дрен на 1 га по системе Шурузякского коллектора в 3—4 раза, по системе Железнодорожного коллектора — в 5—6 раз, т. е. довести до 100, а в некоторых случаях до 120 пог. м на 1 га. Для нормальной работы этих систем необходимо через каждые два года производить очистку от растительности и оплывшего грунта.

Система ГПК, расположенная в лучших гидрогеологических условиях, с хорошим естественным оттоком грунтовых вод в р. Сыр-Дарью и в подстилающие покровные отложения песка на глубине 4—4,5 м, вполне приспособлена для выполнения проектных условий.

Подтверждением необходимости увеличения протяженности КДС Шурузьянской системы может служить работа закрытого дренажа ЦОМС.

На этом участке система дрен общей протяженностью 6942 пог. м дренирует 166 га земель, из которых непосредственно подвешено к дренам 61,3 га. Приток со стороны принимается кольцевыми дренами. Кро-

Таблица 7

Значение дренажного модуля закрытого дренажа ЦОМС, л/сек/га

Месяц	Год									
	1944		1945		1946		1947		1948	
	$q_{\text{факт}}$	$\frac{q_{\text{расч}}}{q_{\text{факт}}}$	$q_{\text{факт}}$	$\frac{q_{\text{расч}}}{q_{\text{факт}}}$	$q_{\text{факт}}$	$\frac{q_{\text{расч}}}{q_{\text{факт}}}$	$q_{\text{факт}}$	$\frac{q_{\text{расч}}}{q_{\text{факт}}}$	$q_{\text{факт}}$	$\frac{q_{\text{расч}}}{q_{\text{факт}}}$
На 166 га										
I	0,221	1,58	0,105	3,34	0,241	1,45	0,194	1,8	0,222	1,59
II	0,14	1,63	0,123	2,85	0,098	3,54	0,214	1,63	0,214	1,63
III	0,193	1,82	0,155	2,26	0,162	2,16	0,183	2,04	0,179	1,95
IV	0,172	2,03	0,203	1,72	0,150	2,33	0,163	2,12	0,156	2,24
V	0,170	2,06	0,150	2,33	0,147	2,38	0,170	2,06	0,191	1,83
VI	0,165	2,12	0,147	2,38	0,136	2,57	0,172	2,03	0,151	2,32
VII	0,131	2,67	0,129	2,71	0,125	2,8	0,134	2,6	0,115	3,04
VIII	0,110	3,14	0,098	3,57	0,116	3,02	0,075	3,18	0,067	5,22
IX	0,079	4,42	0,091	3,85	0,103	3,4	0,077	4,55	0,053	6,6
X	0,081	4,32	0,082	4,27	0,087	4,0	0,077	4,55	0,058	6,03
XI	0,084	4,16	0,099	3,52	0,100	3,5	0,063	5,55	0,068	5,15
XII	0,129	2,72	0,156	2,24	0,108	3,24	0,09	3,9	0,153	2,29
Средн. за год	0,146	2,40	0,138	2,55	0,131	2,67	0,135	2,6	0,136	2,58
На 61,3 га										
I	0,6	0,585	0,283	1,25	0,65	0,54	0,523	0,67	0,6	0,585
II	0,577	0,606	0,332	1,05	0,264	1,33	0,578	0,605	0,578	0,6
III	0,52	0,673	0,42	0,835	0,436	0,8	0,495	0,71	0,484	0,72
IV	0,465	0,75	0,547	0,64	0,405	0,865	0,44	0,8	0,44	0,8
V	0,46	0,76	0,405	0,865	0,396	0,885	0,46	0,76	0,515	0,68
VI	0,445	0,78	0,396	0,89	0,367	0,955	0,464	0,76	0,406	0,86
VII	0,357	0,98	0,346	1,0	0,337	1,04	0,362	0,965	0,31	1,13
VIII	0,3	1,17	0,264	1,32	0,313	1,155	0,205	1,72	0,182	1,93
IX	0,213	1,64	0,245	1,43	1,278	1,26	0,208	1,7	0,143	2,45
X	0,22	1,59	0,221	1,58	0,235	1,49	0,208	1,7	0,157	2,23
XI	0,227	1,54	0,267	1,31	0,27	1,3	0,17	2,06	0,182	1,92
XII	0,348	1,0	0,43	0,813	0,292	1,2	0,243	1,44	0,42	0,835
Средн. за год	0,397	0,885	0,372	0,94	0,352	0,98	0,365	0,96	0,367	0,95

ме того, на участке, который условно считается зоной влияния закрытого дренажа, имеются и открытые дренаи, так что фактически обслуживаемая закрытым дренажем площадь, гораздо меньше, чем 166 га.

Если считать удельную протяженность закрытого дренажа из расчета на 61,3 га, то она составит 107 пог. м, а на 166 га — 42 пог. м.

Значения фактического среднемесячного дренажного модуля по системе КДС приводятся в табл. 7.

Как следует из этой таблицы, фактический отток грунтовых вод с 1 га изменяется в пределах 0,17—0,24 л/сек в весенний период, 0,065—0,11 в осенний и в среднем за год — 0,131—0,146 л/сек, т. е. он в 2—2,5 раза меньше расчетного дренажного модуля, если считать, что дренажи обслуживают 166 га. Если определять среднегодовой дренажный модуль в предположении, что закрытый дренаж работает только на площади 61,3 га, то он изменяется от 0,35 до 0,4 л/сек.

Таблица 8

Удельные затраты на строительство закрытого дренажа

Массив	Подвешенная валовая площадь, га	Общая протяженность дрен, км	Удельная протяженность дрен, пог. м/га	Затраты на 1 пог.м дрен	Фактические удельные затраты на 1 га	Затраты на 1 га для обеспечения проектного дренажного модуля
				руб.		
Шурузяк	67251	1062,4	15,8	5,784	91,3	578,4
Железнодорожный	12400	200,4	16,3	5,97	97,31	597,0
ГПК	57970	452,2	7,8	4,55	35,4	—
Колхоза „Коммунизм“	3075	77,7	26,8	5,87	157,2	587,0
ЦОМС	166	6,942	42	14,5	610	1450

Примечания. При расчете удельных затрат по Шурузякской системе приняты общие капиталовложения — 18 млн. руб., израсходованные на строительство и реконструкцию открытых коллекторов и дрен по Голодной степи общей протяженностью 3200 км:

$$18 \cdot 10^6 : 3200 = 5,784 \text{ руб.}$$

Фактические затраты по Шурузякской системе должны быть намного выше, чем принятые в расчете.

Фактические затраты на очистку 1 пог. м межхозяйственной КДС, по данным ГолУОС, составляют 0,79 коп.

Сметная стоимость строительства 1 пог. м дрен глубиной 3,0—3,5 м, в условиях близкого залегания грунтовых вод равна 3,9—4,86 руб.

Фактические затраты на строительство 1 пог. м закрытых дрен глубиной 3 м по данным ДСП Казголстепстроя, для тяжелых оплывающих грунтов составляют 18 руб., а сметная стоимость — 15,5 руб.

Этот дренажный модуль почти соответствует расчетному, обеспечивающему (по проекту) нормальный промывной режим орошения.

Следовательно, для обеспечения проектного дренажного модуля по системе закрытого дренажа ЦОМС необходимо увеличить удельную протяженность ее КДС до 90—100 пог. м/га. При этом удельные затраты на 1 га площади составляют 578—597 руб. по открытому и 1450 руб. по закрытому дренажу (табл. 8).

Такие большие затраты на строительство 1 пог. м закрытого дренажа объясняются тем, что в условиях старой зоны орошения Голодной степи высокое залегание уровня грунтовых вод и плывунные свойства грунтов создают условия, невозможные для применения дренажников, которыми располагают в настоящее время строительные организации. Поэтому многие операции при строительстве дрен проводятся вручную, а рытье траншей осуществляется малопроизводительными (по сравнению с роторными многоковшовыми) экскаваторами.

Приведенные в табл. 8 показатели стоимости 1 пог. м дренажа оказываются даже заниженными по сравнению с фактическими затратами, что видно из табл. 9, в которой представлены фактические данные по удельным показателям закрытых и открытых дрен совхоза

«Дружба», где удельная протяженность закрытого дренажа составляет 26,5 и открытого 27,2 *пог. м*.

Известно, что срок эксплуатации дренажных сооружений и связанные с ней затраты на поддержание нормального состояния системы зависят от темпов рассоления почво-грунтов на заданную глубину.

Таблица 9

Удельные показатели закрытого дренажа, руб.

Тип дренажа	Капитальные затраты		Годовые текущие расходы на эксплуатацию	
	на 1 <i>пог. м</i>	на 1 <i>га</i>	на 1 <i>пог. м</i>	на 1 <i>га</i>
Закрытый: асбоцементные трубы с гравийным фильтром, $d = 141$ мм	14,63	380,68	0,95	24,7
керамические трубы с гравийной обсыпкой, $d = 150$ мм	16,68	443,68	1,08	28,08
гончарные трубы с камышовым фильтром, $d = 150$ мм	2,53	325,78	0,81	21,06
гончарные трубы с гравийным фильтром, $d = 150$ мм	15,35	399,10	0,98	25,48
Открытый	9,0	244,4	0,27	71,24

Таблица 10

Распределение запасов солей по глубине почво-грунтов

Район	Запасы солей в почво-грунтах (<i>т</i>) и их распределение на 1 <i>га</i> по глубине (<i>м</i>)				
	1	0—3	0—5	0—10	во всей толще покровного мелкозема
Шурузякский	477,0	639,8	802,6	935,6	1148,0
Гулистанский	154,2	436,0	782,8	1240,5	2320
Гулистанский (на целине)	—	281,25	1332,65	3170,20	6194,2
Пахтааральский	111,7	229,7	347,7	592,6	1089,25
Пахтааральский (на неорошаемой площади)	201,28	325,08	500,93	1146,3	1593,5

В табл. 10 приводятся данные о запасах солей по глубине в различных зонах Голодной степи.

Количество солей, вынесенных горизонтальным дренажем за несколько лет его работы с различных массивов в течение 1 осредненного года, указано в табл. 11.

Если принять данные табл. 11 за осредненные величины выноса солей с 1 га по открытой и по закрытой КДС, то время, необходимое для рассоления почво-грунтов Шурузякского массива, выразится цифрами, представленными в табл. 12. Однако эти цифры взяты без учета количества солей, приносимых или уносимых восходящими токами фильтрации из водоносного пласта в покровные мелкоземы и вносимых с оросительной водой.

Таблица 11

Вынос солей по системам коллекторов

Система коллекторов	Подвешенная площадь, га		Осредненная за несколько лет величина выноса солей, т	Вынос солей, т/га	
	валовая	орошаемая		с валовой площади	с орошаемой площади
Шурузякская	67251	44764	1120000	16,6	25,2
Железнодорожная	12400	9400	9218	7,65	9,7
ГПК	57970	32199	53782	9,3	16,7
Колхоза „Коммунизм“	3075	2081	46785	15,2	22,2
ЦОМС	166	166	4549	27,4	27,4

Таблица 12

Время, необходимое для рассоления почво-грунтов

Мощность слоя, м	Запасы солей, т/га	Осредненная величина выноса солей, т/га			Время рассоления почво-грунтов по величине выноса солей, годы		
		по Шурузякскому коллектору	по дренам колхоза „Коммунизм“	по закрытому дренажу	по Шурузякскому коллектору	по дренам колхоза „Коммунизм“	по закрытому дренажу
0—3	639,8	16,6	15,2	27,4	38,5	42	23,4
0—5	802,6	16,6	15,2	27,4	48,5	53	29,2
0—10	935,6	16,6	15,2	27,4	56,0	61,5	34,0
Вся толща покровного суглинки	1145	16,6	15,2	27,4	69	75,5	42,0

Например, в условиях Шурузякского массива (табл. 13, 14) количество солей, приносимых в покровные мелкоземы подземным притоком, на целинных землях составляет 23 т/га — на 6,5 т больше, чем выносимых открытыми коллекторами. Следовательно, на целинных и переложных землях происходит накопление солей, что подтверждается режимными наблюдениями за солевыми запасами около динамической точки, расположенной в неорошаемой зоне г. Гулистана, где

Среднемесячное значение уровня грунтовых вод и пьезометрического напора водоносного горизонта, м

Куст пьезометров и его местонахождение	Номер пьезометра в кусте	Месяц											
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Куст "Узгипровхоза" на Шурузьякском понижении (на целине, 1958 г.)	1	1,25	1,20	0,95	1,0	0,7	1,80	2,35	2,55	2,50	2,40	2,20	1,6
	2	1,0 +0,25	0,95 +0,25	0,85 +0,10	1,0 0,0	1,0 -0,25	1,15 +0,65	1,35 +1,0	1,50 +1,05	1,6 +0,9	1,70 +0,7	1,60 +0,6	1,40 +0,20
III отделение совхоза "Социализм"	1	1,2	1,1	1,1	1,5	1,7	1,75	1,65	1,75	1,80	1,90	1,80	1,45
	2	1,30 -0,10	1,25 -0,15	1,30 -0,20	1,60 -0,10	1,40 +0,30	1,50 +0,25	1,40 +0,25	1,45 +0,30	1,40 +0,40	1,50 +0,4	1,50 +0,30	1,25 +0,20
Куст 22 в колхозе им. Карла Маркса Сырдарьинского района (1950 г.)	1	1,6	1,45	1,25	1,40	1,38	1,38	1,56	1,75	1,90	1,80	1,80	1,40
	2	1,80 -0,2	1,65 -0,2	1,45 -0,2	1,50 -0,10	1,52 -0,14	1,50 +0,12	1,50 +0,06	1,58 +0,17	1,65 +0,25	1,72 +0,10	1,72 +0,08	1,55 -0,15
Куст 21 в колхозе им. Карла Маркса Сырдарьинского района (1950 г.)	1	1,2	1,0	0,5	0,6	0,8	1,45	1,70	1,75	1,78	1,75	1,60	1,50
	2	1,0 +0,20	0,8 +0,20	0,5 +0,45	0,7 -0,10	0,9 -0,10	1,25 +0,20	1,45 +0,25	1,55	1,55	1,50	1,30	1,25
Пахтааральский участок (осредненное по совхозу)	—	+0,95	+	+0,25	+0,05	-0,3	- 0,05	-0,55	-0,45	-0,39	-0,3	+0,95	-0,4

Примечание. Первый пьезометр фиксирует уровень грунтовых вод от поверхности земли, второй — пьезометрический напор.

количество солей в 10-метровой толще достигает 3170, а в 20-метровой — 6194,2 т/га (см. табл. 10).

На орошаемой территории 30—35% солей, выносимых открытыми дренами, и 17—18%, выносимых закрытыми дренами, восстанавливается за счет восходящих токов фильтрации. Незначительное количество солей, приносимых подземными токами на орошаемые земли,—

Таблица 14

Количество солей, подсчитанное по разностям подземного притока и оттока на Шурузьякском массиве

Обслуживаемая площадь, га	Месяц	Количество воды, поступающей в покровный мелкозем или отводимой из него, м ³			Плотный остаток, г/л		Количество солей, поступающих в покровный мелкозем или отведенных из него, т
		разность напора	уклон	сток воды	подземных вод	грунтовых вод	

По данным пьезометров, расположенных на орошаемой территории

67251	I	-0,10	-0,004	-25000000	—	4,0	-100000
	II	-0,15	-0,006	-35100000	—	4,0	-140000
	III	-0,20	-0,008	-50000000	—	4,0	-200000
	IV	-0,10	-0,004	-24200000	—	4,0	-97000
	V	0,30	0,012	75000000	1,5	—	112500
	VI	0,25	0,01	60500000	1,5	—	90750
	VII	0,25	0,01	62500000	1,5	—	93750
	VIII	0,30	0,012	75000000	1,5	—	112500
	IX	0,40	0,016	97000000	1,5	—	145250
	X	0,40	0,016	100000000	1,5	—	150000
	XI	0,30	0,012	72500000	1,5	—	108750
	XII	0,10	0,004	25000000	1,5	—	37500
							314000 (4,67 т/га)

По данным пьезометров „Узгипроводхоза“, расположенных на целине

57251	I	0,25	0,01	62500000	1,5	—	—
	II	0,25	0,01	62510000	1,5	—	—
	III	0,10	0,004	23400000	1,5	—	—
	IV	00	00	—	—	—	—
	V	-0,25	-0,01	-62500000	—	4,0	-225000
	VI	0,65	0,025	15700000	1,5	—	+236000
	VII	1,0	0,04	25000000	1,5	—	375000
	VIII	1,05	0,042	26200000	1,5	—	393000
	IX	0,90	0,036	22800000	1,5	—	327000
	X	0,70	0,027	16900000	1,5	—	253000
	XI	0,6	0,024	14500000	1,5	—	217000
	XII	0,20	0,008	49000000	1,5	—	—
							1546000 (23 т/га)

Примечание. С декабря по март исключается испарение и связанное с ним накопление солей.

4,65 т/га, по сравнению с количеством солей, приносимых на целинные и переложные земли, объясняется тем, что на поливных площадях величина превышения уровня грунтовых вод над пьезометрическим напором гораздо больше, чем на целине.

Из этих наблюдений следует, что если понизить пьезометрический напор в пределах орошаемых территорий на достаточную глубину, то

фильтрационные токи с поливных площадей и потери воды из оросителей создадут благоприятные условия для рассоления почво-грунтов и грунтовых вод. При этом постепенная замена минерализованных грунтовых вод пресной водой обеспечит протекание лугового почвообразовательного процесса, при котором улучшается режим орошения за счет частичного подпочвенного питания. Кроме того, в этих условиях ликвидируется опасность реставрации засоления.

Таблица 15

Солевой баланс по отдельным массивам, $t/га$

Массив	Накопление солей		Количество солей, выносимых коллекторами и дренами, $t/га$	Разность
	за счет подземного притока	за счет оросительных вод		
Шурузякский	4,67	6,35	16,6	-5
Железнодорожный	4,67	6,35	7,65	+3,5
Колхоз "Коммунизм"	4,67	6,35	15,2	-4,2
ЦОМС	4,67	6,35	27,4	-16,4

Как уже было отмечено, на орошаемых площадях одной из составляющих солевого баланса являются соли, вносимые в почву с оросительной водой. В старой зоне орошения количество воды, подаваемой на 1 га за год, составляет в среднем 12—14 тыс. m^3 при минерализации 0,8—1,0 г/л.

Таким образом, общий объем солей, приносимых с оросительной водой на 1 га, равен 9,6 т, а в переводе на валовую площадь при КЗИ 0,66—6,35 $t/га$.

В таблице 15 приводится осредненный солевой баланс орошаемой территории Голодной степи.

Из этой таблицы следует, что в староорошаемой зоне Голодной степи благодаря действию горизонтального открытого и закрытого дренажей наблюдается процесс опреснения. Однако на отдельных массивах, где протяженность дренажа недостаточная, идет накопление солей, в частности по Железнодорожному массиву, где удельная протяженность дренажа составляет всего 16,2 пог. м.

Настоящие же темпы рассоления почво-грунтов и грунтовых вод настолько медленны, что для опреснения 3-метрового слоя до допустимой величины солесодержания потребуется несколько десятков лет (табл. 16) даже с помощью закрытого дренажа, а с помощью открытого дренажа при существующем дренажном модуле 0,035—0,07 л/сек — сотни лет. Для ускорения процесса опреснения орошаемой территории необходимо увеличить отток грунтовых вод с нее, а если удастся достигнуть хотя бы проектного дренажного модуля — 0,35—0,4 л/сек и довести его в отдельные периоды (в периоды промывки) до 1—2 л/сек, то для рассоления верхнего 3-метрового слоя достаточно будет 2—3 года, а 5-метрового слоя — 5—10 лет. Однако для этого необходимо, как уже было отмечено выше, увеличить удельную протяженность горизонтального дренажа до 100—120 пог. м, т. е. построить дрены через 80—100 м.

Конечно, быстрого опреснения почво-грунтов можно добиться при помощи промывок грузными нормами, достигающими 30—40 тыс. $m^3/га$, на фоне временного горизонтального дренажа, так как при этом дей-

ствующий напор увеличивается почти в 4 раза и в процессе промывки часть солей, находящихся в верхней толще грунтов, вытесняется вниз. При промывках же большими нормами количество солей, вытесняемое вглубь, преобладает над объемом солей, выносимых дренажем, поэтому после прекращения промывок в условиях жаркого климата снова может возникнуть опасность реставрации засоления.

Таблица 16

Время, необходимое для рассоления почво-грунтов

Мощность слоя, м	Запасы солей, т/га	Осредненная величина выноса солей, т/га			Время рассоления почво- грунтов до допустимого предела по величине вы- носа солей, годы		
		по Шуру- зякскому коллектору	по дре- нам кол- хоза „Комму- низм“	по зак- рытому дренажу	по Шу- рузяк- скому коллек- тору	по дре- нам кол- хоза „Комму- низм“	по зак- рытому дренажу
0—3	639,8	5,0	4,2	16,4	127	152	39,0
0—5	802,6	5,0	4,2	16,4	160	191	49,0
0—10	935,6	5,0	4,2	16,4	187	222	56,0
На всю мощ- ность по- кровных мелкозе- мов	1145	5,0	4,2	16,4	228	272	70,0

Как следует из изложенного выше, одним из главных источников соленакопления в покровных мелкоземах является напорность подземных вод: чем больше разность между пьезометрическим напором и уровнем грунтовых вод, тем интенсивнее идет процесс соленакопления в покровных мелкоземах, и наоборот. Следовательно, для прекращения этого процесса необходимо понизить пьезометрический напор, что можно осуществить посредством вертикального дренажа.

В настоящее время вертикальный дренаж по существу является единственным гидротехническим мероприятием, при помощи которого можно регулировать напор подземных вод. Этот вид дренажа является весьма гибким средством для создания нисходящих фильтрационных токов, способствующих вымыванию солей вниз.

В последние годы строительство вертикального дренажа в Голодной степи осуществляется двумя методами: методом, разработанным Голодностепской экспедицией Узбекского гидрогеологического треста [9], и методом «Гидроспецстроя» [10].

Процесс строительства скважин методом Узбекского гидрогеологического треста заключается в том, что бурение диаметром 500 мм производится станком АББ-400 или УР6-3-АМ с применением глинистого раствора. После спуска фильтрового каркаса в скважину на расстоянии 0,3—0,6 м от нее бурятся 5—6 так называемых «питающих скважин» глубиной, равной глубине основной скважины. По окончании бурения эти скважины заполняют доверху отсортированным гравием, а затем приступают к откачке. Формирование гравийного фильтра происходит в процессе строительных откачек за счет выноса песка, находящегося между стенками каркаса и питающих скважин, и приближения гравийной обсыпки к фильтровому каркасу.

Недостатками описанного метода формирования гравийного фильтра большой толщины являются завышенные объемы бурения (в 5—6 раз) и объемы засыпаемого гравия, нарушение целостности устья скважины (за счет бурения питающих скважин), а также удлинение срока проведения строительной откачки, достигающего 45—60 суток, что приводит к увеличению стоимости скважины (сметная стоимость 1 пог. м бурения в грунтах I и II категории с проведением строительных откачек составляет 350—360 руб.).

Бурение скважин методом «Гидроспецстроя» осуществляется ударно-канатными станками УКС-22 или УКС-30 сплошным забоем диаметром от 700 до 1 200 мм, крепление стенок скважин и очистка их от шлама производится с помощью глинистого раствора [10]. Рабочим инструментом является модернизированное Г. А. Стахановым («Гидроспецстрой») крестовое долото с округляющим кольцом диаметром 700, 900 или 1 200 мм.

По окончании бурения и спуска фильтровой колонки в скважину сразу же производится засыпка гравия в затрубное пространство, при этом толщину гравийной обсыпки, определяемую разностью между диаметром бурения скважины и диаметром фильтрового каркаса, можно изменять в пределах 150—386 мм.

Преимущество этого метода состоит в возможности создания сразу вокруг каркаса скважины гравийного фильтра большой толщины 150—386 мм, что позволяет сократить объем выносимого песка и, следовательно, дополнительно засыпаемого гравия в процессе откачки, а также срок проведения самой строительной откачки.

Сметная стоимость 1 пог. м бурения скважин ударно-канатным станком в грунтах I и II категорий с проведением строительных откачек при диаметре бурения 700 мм составляет 183 руб., при диаметре 900 мм — 194,4 руб.

В настоящее время в староорошаемой зоне Голодной степи — в совхозе «Пахтаарал» на площади 7 600 га и в III отделении совхоза «Социализм» на площади 3 000 га — ведется строительство скважин вертикального дренажа.

Для мелиорации четырех верхних отделений совхоза «Пахтаарал» запроектировано 59 скважин с общим дебитом 4,63 м³/сек, при этом 2,37 м³/сек от общего дебита системы составляет приток грунтовых вод в дренируемый пласт. Такому объему воды соответствует дренажный модуль, равный 0,32—0,35 л/сек.

Глубина скважин в зависимости от мощности водоносного пласта изменяется в пределах 50—70 м, а в среднем составляет 60 м. Проектный дебит скважин равен 50—100 л/сек. Площадь, обслуживаемая каждой скважиной, в зависимости от дебита изменяется в пределах 110—140 га и в среднем составляет 125 га.

В 1962 г. из этих 59 скважин уже было построено 27. В результате проведения строительных откачек полностью подтвердилась возможность получения проектных дебитов. Так, удельные дебиты этих скважин даже в период формирования гравийного фильтра в зависимости от мощности пласта составляют 5—7 л/сек. Коэффициент фильтрации покровного мелкозема равен 0,03—0,07 м/сутки, а хорошо проницаемого песчаного водоносного пласта — 30—35 м/сутки.

На территории III отделения совхоза «Социализм» из 28 скважин, запроектированных для рассоления почво-грунтов и грунтовых вод, построено 14, из которых в течение 1960—1962 гг. эксплуатировались 6. Средняя глубина скважин равна 75 м; площадь, обслуживаемая каждой скважиной, — в среднем 105—110 га.

В процессе эксплуатации скважины были определены фактические коэффициенты фильтрации покровного мелкозема ($0,07 \text{ м/сутки}$) и первого хорошо проницаемого водоносного слоя ($40\text{—}45 \text{ м/сутки}$), а также радиус влияния одиночной скважины ($700\text{—}750 \text{ м}$).

В весенние месяцы 1961—1962 гг. на участке III отделения в 50 м от основной скважины грунтовые воды залегали на глубине $3,8 \text{ м}$, в 100 м от нее — на глубине $3,7 \text{ м}$, в 300 м — $2,87\text{—}3 \text{ м}$, тогда как на прилегающей территории уровень грунтовых вод был на глубине $1,1\text{—}1,2 \text{ м}$.

Общее понижение пьезометрического напора в пределах зоны влияния вертикального дренажа в июле обеспечило снижение уровня грунтовых вод в зависимости от величины разности напора со скоростью от $0,015$ до $0,065 \text{ м/сутки}$ [7], в среднем— $0,020 \text{ м/сутки}$, а на примыкающей территории— $0,005\text{—}0,007 \text{ м/сутки}$, т. е. в $3\text{—}10$ раз меньше.

Кроме того, исследования на Шурузьякском, Гулистанском, Сардобинском и Пахтааральском участках показали возможность создания разности между уровнем грунтовых вод и пьезометрическим напором до $2,5\text{—}3,0 \text{ м}$. При мощности покровных отложений в северо-восточной части Голодной степи $20\text{—}30 \text{ м}$ это приводит к установлению градиентов напора $0,008\text{—}0,15$, превышающих в $10\text{—}100$ раз градиенты напора, создаваемые горизонтальным дренажем. Даже при минимальных скоростях снижения уровня грунтовых вод, наблюдаемых на Шурузьякском участке, темпы рассоления почво-грунтов значительно увеличились по сравнению с существовавшими при работе горизонтального дренажа:

Фактическая скорость снижения уровня грунтовых вод, м/сутки	Количество солей, выносимых из покровных мелкоземов, т/га	
	общее	с вычетом солей, выно- симых оросительной во- дой
$0,015$	$22,0$	$15,7$
$0,025$	$36,4$	$30,1$
$0,035$	$51,0$	$44,7$
$0,045$	$65,7$	$59,4$
$0,065$	$95,0$	$88,7$
$0,080$	$116,5$	$110,2$
Средн. по участку $0,020$	$29,2$	$23,0$

Согласно этим данным количество солей, выносимых из покровных мелкоземов в период работы вертикального дренажа, даже при минимальных ($0,015 \text{ м/сутки}$) скоростях снижения уровня грунтовых вод с минерализацией 4 г/л и при водоотдаче грунта $0,1$, в 2 раза больше, чем при работе системы дрен коллектора Шурузьяк, и на 6 т/га больше по сравнению с закрытым дренажем ЦОМС. При средней же ($0,02 \text{ м/сутки}$) скорости снижения уровня грунтовых вод количество солей, выносимых с 1 га , составляет $29,2 \text{ т}$, т. е. в 3 раза больше, чем при работе горизонтального дренажа.

Необходимо отметить, что величина минерализации грунтовых вод изменяется с глубиной в верхнем 5-метровом слое и составляет $8\text{—}10 \text{ г/л}$, в 5—10-метровом слое — $4\text{—}5 \text{ г/л}$, а в нижней части покровных отложений — $2\text{—}2,5 \text{ г/л}$. Поэтому в период работы вертикального дренажа в каптируемый горизонт сначала поступает определенный объем менее минерализованной воды. Такой же объем более минерализованных вод перемещается вниз из верхнего 5-метрового слоя. Вследствие этого при определении опреснения верхней части покровных отложе-

ний за расчетную степень величины минерализации можно принимать не 4 г/л, а 8—10 г/л. В этом случае при скорости снижения уровня грунтовых вод 0,2 м/сутки количество солей, выносимых с 1 га, составит 60—73 т/год, или с учетом количества солей, выносимых с оросительной водой,— 54—67 т/год. При максимальной скорости снижения вынос солей из 5-метрового слоя почво-грунтов равен 183—233 т/год/га (за вычетом количества солей, приносимых с оросительной водой).

Таблица 17

Удельные капиталовложения на строительство скважин вертикального дренажа

Участок	Метод бурения	Глубина, и диаметр проходки, м/мм	Сметная стоимость бурения скважин, включая строительные откачки, руб.	Общая сметная стоимость скважин со всем оборудованием, руб.	Обслуживаемая площадь, га	Удельные затраты, руб/га	
						по бурению	общие
Пахта-арал	Узбекского гидрогеологического треста	60/500	21000	34762,6	125	168	278
	Ударно-канатный	60/900	11500	25262,0	125	92,2	202
Шурузьяк	Узбекского гидрогеологического треста	75/500	27000	40375,0	110	245	367
	Ударно-канатный	75/900	14550	28572,0	110	132,5	260

Таким образом, для рассоления первого 5-метрового слоя почво-грунтов до допустимого предела содержания солей при скорости снижения уровня грунтовых вод 0,02 м/сутки требуется 12—15 лет, а при скорости 0,065 м/сутки — 3,5—4,5 года. Эти темпы рассоления будут наблюдаться при обычном орошении. Если же провести промывки земель нормами 15—20 тыс. на 1 га, то скорость рассоления увеличится в 2—3 раза. Кроме того, при работе вертикального дренажа в результате образования нисходящих токов фильтрации грунтовых вод происходит необратимый процесс рассоления почво-грунтов и грунтовых вод, а также прекращается поступление солей в покровные мелкоземы из водоносного горизонта, т. е. ликвидируется один из основных источников соленакпления в активном слое почвы.

Указанные темпы рассоления подтверждаются расчетом режима откачек, произведенных в отделении им. В. И. Ленина совхоза «Пахта-арал»: при фактической величине коэффициента фильтрации 0,03—0,07 м/сутки оказывается возможным получение большого дренажного модуля даже при незначительных величинах градиента напора—0,03—0,05 [1].

Сопоставление стоимостных показателей, приведенных в табл. 8, 9, 17, показывает, что удельные затраты на строительство скважин на 50—60% больше, чем затраты на открытый дренаж при существующей его протяженности. Если же сравнивать затраты, необходимые для обеспечения расчетного дренажного модуля, то удельные капиталовложения на открытый дренаж окажутся в 2,5 раза больше, чем затраты на строительство вертикального дренажа. Удельные капиталовло-

жения на строительство закрытого дренажа даже при существующей его протяженности в 2 раза больше, чем на строительство вертикального дренажа, а если при сравнении исходить из условия обеспечения оттока грунтовых вод, необходимого для удовлетворения проектного положения, то они будут в 4 раза больше.

Таблица 18

Расчетные затраты на эксплуатацию скважин вертикального дренажа

Участок	Метод бурения	Затраты на амортизацию, на содержание эксплуатационного штата и текущие расходы, руб.	Затраты на эксплуатацию скважины (руб.) при стоимости электроэнергии за 1 квт·ч (коп.)			Удельные затраты на эксплуатацию скважины (руб./га) при стоимости электроэнергии за 1 квт·ч (коп.)		
			1	2	3	1	2	3
Пахта-арал	Узбекского гидрогеологического треста Ударно-канатный	2895	4265	5635	7005	37,2	45,0	56,5
		2225	3595	4965	6335	28,7	39,8	50,8
Шурузяк	Узбекского гидрогеологического треста Ударно-канатный	3335	4875	6375	7895	44	59	71,5
		2445	3965	5485	7005	36	50	64,0

Следует отметить, что при определении капиталовложений на 1 га мелиоративной площади взяты заниженные величины затрат на 1 пог. м дренажа, так как, по данным Г. Я. Дзевенцкого [4], 1 пог. м открытого горизонтального дренажа глубиной 3,2 м в устойчивых грунтах стоит 9,1 руб., в оплывающих — 14,21. Затраты на 1 га мелиорируемой площади, связанные со строительством открытого дренажа, для многих хозяйств Голодной степи даже при существующей удельной протяженности дренажа будут больше, чем затраты на вертикальный дренаж.

При сравнении эффективности различных видов дренажа важными стоимостными показателями являются текущие затраты на эксплуатацию 1 пог. м дрен, которые в устойчивых грунтах равны 2,03 руб., а в оплывающих грунтах — 2,69 руб. для открытого горизонтального дренажа и 0,63 руб. для закрытого дренажа [4].

По данным К. О. Белоцерковского, для совхоза «Дружба» эти стоимости оказываются еще большими (см. табл. 9). Следовательно, при такой величине текущих затрат эксплуатационные расходы на 1 га площади для многих хозяйств Голодной степи (колхоза «Коммунизм», совхоза «Социализм», колхоза им. В. И. Ленина и др.), где протяженность дренажа изменяется от 28 до 40 пог. м, составляют 60—100 руб.

Текущие расходы на эксплуатацию 1 га закрытого дренажа, по данным Г. Я. Дзевенцкого, равны 25,3 руб. для ЦОМСа, а по данным К. О. Белоцерковского, — 41 руб. для совхоза «Фархад» (см. табл. 9).

Величина текущих затрат на эксплуатацию вертикального дренажа, подсчитанная по нормам амортизационных отчислений основных фондов народного хозяйства СССР [11] (табл. 18), при стоимости электроэнергии за 1 квт·ч. 2 коп. изменяется (в зависимости от метода бурения и глубины скважины) в пределах 40—59 руб./га, а при стоимости 3 коп. — 50—65 руб./га, т. е. меньше, чем текущие затраты на

открытый дренаж при существующей его протяженности для многих хозяйств Голодной степи.

Таким образом, удельные текущие затраты на эксплуатацию как открытого, так и закрытого горизонтального дренажа при условии обеспечения одинакового расчетного дренажного модуля почти в 2—3 раза выше, чем текущие затраты на эксплуатацию вертикального дренажа.

Этот вывод подтверждается и данными М. И. Каплинского [5], по подсчетам которого в зависимости от глубины скважин, дебита и высоты подъема воды текущие затраты на эксплуатацию скважин на 1 га изменяются от 21 до 50 руб. (при стоимости 1 квт·ч электроэнергии 2 коп.).

Значит, удельные затраты на строительство и текущие расходы на эксплуатацию вертикального дренажа меньше, чем горизонтального, даже при существующей недостаточной удельной протяженности второго — 26—40 пог. м/га, не говоря уже о более низком мелиоративном эффекте его.

ПУТИ СНИЖЕНИЯ СТОИМОСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА СКВАЖИН ВЕРТИКАЛЬНОГО ДРЕНАЖА

1. Улучшение метода бурения скважин и организации труда. Вышеприведенные данные показывают, что скважины, пробуренные методом «Гидроспецстроя», отличаются от скважин, пробуренных другими методами, не только лучшим качеством, но и более низкими затратами на бурение.

Однако несмотря на свои положительные качества, бурение скважин по методу Гидроспецстроя имеет ряд недостатков:

а) в процессе бурения вследствие обрыва троса не исключается возможность возникновения аварии;

б) требуется большое количество электроэнергии: для бурения скважин диаметром 900 мм станком УКС-22 — 65—70 квт, а УКС-30 — 110—120 квт.

Для обеспечения нормальной работы станков типа УКС при отсутствии постоянного источника электроэнергии необходима передвижная дизельная станция. Установка такой станции сильно усложняет эксплуатацию буровых агрегатов (из-за недостатка запасных частей дизельных станций) и удорожает строительство скважин, так как затраты на электроэнергию составляют около 30—35% стоимости скважин;

в) необходимость передвижения бурового оборудования и дизельной станции с одного места на другое в связи с передвижением механизмов отнимает много времени (до 2 суток), а в зимний период из-за просадочности грунтов и отсутствия покрытых дорог осложняет переброску бурового хозяйства;

г) низкая производительность ударно-канатного станка по сравнению с производительностью роторно-вращательных станков.

Фактическая проходка (осредненная по 16 скважинам Пахтааральского и 12 скважинам Шурузякского участков) станками УКС-30 и УКС-22 для суглинистого грунта составляет 1,17—1,8, а для песчаного — 0,25—0,35 м/час.

Для устранения указанных недостатков ударно-канатного способа бурения и снижения стоимости строительства вертикального дренажа мы совместно с начальником Пахтааральского участка В. А. Пряниковым создали новый буровой наконечник (долото), который позволяет роторно-вращательным станком бурить скважины диаметром 1 000 мм.

При этом бурение скважин производится сплошным забоем станком АББ-400 или УРБ-3-АМ с применением (для временного закрепления стенок) глинистого раствора с удельным весом $1,1 \text{ г/см}^3$ и вязкостью 27—28 сек.

Принцип работы в забое нашего долота, представляющего модернизацию долота типа РХ, основан на учете оплывающих свойств мелкозернистого песка в насыщенном состоянии. В совхозе «Пахтаарал» роторно-вращательным станком, снабженным таким долотом, пробурено 10 скважин диаметром 1 000 мм и глубиной 60—70 м.

По существующим расценкам, сметная стоимость 1 пог. м бурения скважины с проведением строительных откачек при роторно-вращательном методе равна 159,5 руб. против 191,95 руб. при ударно-канатном. Затраты на строительство скважины глубиной 60 м в грунтах I и II категории составляют 9 570, с оборудованием — 23 332 руб., или на 9—10% меньше по сравнению со стоимостью скважин, пробуренных ударно-канатным станком, а удельные капиталовложения на 1 га площади при новом методе бурения—180—185 руб., т. е. на 20—25 руб. меньше, чем при бурении скважин большого диаметра ударно-канатным станком. Кроме того, применение нового долота для бурения скважин благодаря уменьшению амортизационных отчислений на строительство скважин даст возможность снизить эксплуатационные затраты на 4—5% по сравнению с ударно-канатным способом и на 10—15% по сравнению со способом Узбекского гидрогеологического треста.

Практика строительства скважин большого диаметра показала, что фактические затраты времени на бурение скважин (включая спуск фильтровой колонны и засыпку гравия в забой) как роторно-вращательным, так и ударно-канатным способами намного меньше, чем затраты времени на этот же процесс по единичным расценкам, применяемым в проектных и производственных организациях Узбекистана (табл. 19).

В подсчет фактических затрат времени на бурение скважин включены все простои, связанные с неисправностью грязевых насосов, двигателей и самого бурового станка, не превышающие 0,5—1,0 часа, а также введен коэффициент, учитывающий вынужденные простои бурового станка. Для метода бурения ударно-канатным станком этот коэффициент принят равным 1,35, а роторно-вращательным — 1,2.

Из вышесказанного следует, что нормирование затрат времени на бурение скважин большого диаметра еще достаточно не изучено, а проектные нормы требуют корректировки.

Проведение хронометрирования бурения и корректировка норм расценок дали бы возможность минимум в 2—3 раза снизить затраты на строительство вертикального дренажа и, следовательно, на 15—20% уменьшить эксплуатационные затраты за счет уменьшений амортизационных отчислений.

Таким образом, только благодаря широкому применению роторно-вращательных станков при бурении скважин и корректировке расценок на бурение можно снизить затраты на строительство скважин глубиной 60—70 м в грунтах I и II категории до 4 000—5 000 руб., а удельные затраты на 1 га мелиорируемой площади — до 130—150 руб.

Кроме того, применение роторно-вращательного бурения и особенно пересмотр норм расценок на строительство скважин большого диаметра позволят намного улучшить организацию производства работ вертикального дренажа и сократить лишние затраты, так как различные организации, занимающиеся бурением скважин, все простои, связанные с плохой организацией труда, перекрывают за счет завышен-

ных норм. Так, во многих случаях из-за несвоевременной подготовки фильтрового каркаса и необходимого количества гравия буровые станки простаивают 4—5 и даже 10 дней.

2. Правильный подбор фракционного состава гравийной обсыпки. Фильтр является основной и наиболее ответственной подземной частью водозаборных сооружений. Эффективность этих сооружений и получение нужных расходов прежде всего зависят от работы фильтра. При

Таблица 19

Затраты времени на бурение скважин

Но- мер сква- жины	Метод бурения	Глубина скважи- ны, м	Диаметр скважи- ны, мм	Затраты времени на бурение сква- жины, маш/смена		Отношение за- трат времени на бурение скважин по расценкам к фактическим, маш/смена
				по рас- ценкам	факти- ческие	
Участок Шурузяк						
1	Ударно-канатный	76,0	700	89	30	3,0
2		67,5	900	85	25	3,3
3		82,5	900	105	35	3,0
14	Роторно-враща- тельный	74,5	900	75	12	6,0
15		75,0	700	75	24	3,0
16		74,0	900	75	9	8,0
Пахтааральский участок						
5	Ударно-канатный	50,0	900	58	15	3,8
17		63	900	80	25	3,2
22		57,5	900	72	20	3,6
23		66,0	900	83	27	3,1
4	Роторно-враща- тельный	48	1000	33,0	7,5	4,3
6		50,5	1000	41,0	10,5	4,0
8		68,0	1000	55,0	18,5	3,0
22		68,0	1000	55	12	4,5
24		66	1000	54	8	6,7
25		66	1000	54	9,3	5,5
29		61	1000	50	7,0	—

правильно подобранной конструкции фильтра уменьшается вынос мелких фракций из водоносного горизонта и, следовательно, предотвращается опасность обвала кровли пласта, а также улучшаются условия поступления воды в скважину, т. е. снижаются входные сопротивления.

Выбор конструкции фильтра зависит как от конкретных литологических (в основном, от гранулометрического состава) и гидрохимических условий водоносного горизонта, так и от хозяйственного назначения скважин.

В настоящее время для предотвращения длительного пескования скважин на воду и глубокого водопонижения широкое распространение получили различные конструкции блочных пористых труб: керамические, силикатные, песчано-битумные, гравийные (на основе клея БФ-2 и БФ-4), из пористого бетона и др. Применение блочных пористых

труб намного облегчает монтаж фильтра и позволяет бурить скважины небольшого диаметра, что в конечном итоге снижает стоимость строительства. Однако эти фильтры имеют ряд недостатков:

1) возможна кольматация пор фильтра мелкими частицами песка, выносимого из водоносного горизонта;

2) повышенные входные сопротивления и, следовательно, меньшие удельные дебиты по сравнению с гравийными фильтрами рыхлой обсыпки.

Эти недостатки ограничивают сферу применения пористых труб для скважин с длительным сроком эксплуатации.

Скважины вертикального дренажа в целях мелиорации должны быть высокодебитными и долговечными, поэтому такие скважины строятся в основном с гравийными фильтрами.

Практика строительства высокодебитных скважин вертикального дренажа на Пахтааральском, Шурузякском и Гулистанском участках показала возможность формирования устойчивого фильтра из разнозернистого гравия после предварительного отсева фракций размером меньше 1 и больше 20 мм, при этом в составе гравия фракций размером меньше 10 мм должно содержаться 40—50%. Такой состав разнозернистого гравия позволяет формировать фильтр даже в условиях мелкозернистого песка в течение 10—15 дней без дополнительной засыпки гравия в процессе откачки.

В этом случае затраты на гравий и проведение строительных откачек скважин глубиной 60 м и диаметром 900 мм составляют 1611 руб. (при стоимости 1 м³ гравия 10 руб. 53 коп. и стоимости откачек в течение 1 машиносмены одним компрессором 69 руб. 23 коп. и двумя компрессорами — 120,53 руб.), т. е. 20% от стоимости строительства скважин.

Между тем при строительстве скважин вертикального дренажа подбору состава гравия строители чаще всего не уделяют должного внимания, поэтому продолжительность строительных откачек затягивается до 65—70 суток и стоимость скважины увеличивается почти на 3000 руб.

3. Рентабельность строительства вертикального дренажа на больших площадях. Основной целью использования вертикального дренажа на засоленных землях является создание необратимого процесса рассоления почво-грунтов и грунтовых вод, в первую очередь 5—10-метрового слоя, а затем и всей толщи покровных мелкоземов.

Вынос солей обычно происходит в процессе удаления минерализованных грунтовых вод и замены их пресной оросительной водой. Следовательно, темпы рассоления можно регулировать количеством воды, отводимой из покровных мелкоземов, т. е. дренажным модулем. В свою очередь дренажный модуль зависит от разности между уровнем грунтовых вод и пьезометрическим напором, создаваемой в процессе откачек. Поэтому одним из основных условий проектирования вертикального дренажа является такое размещение скважин на мелиорируемой площади, при котором минимальное количество их обеспечит расчетный дренажный модуль.

Общее количество воды, которое необходимо откачать за пределы рассматриваемой территории для получения расчетного дренажного модуля, определяется по формуле [2]

$$Q = 2\pi RTk\omega(h - h_{\text{ср}}) \frac{K_0(\omega r)}{K_0(\omega R)} + F \left(\varepsilon + \lambda_2 \frac{H - h_{\text{ср}}}{T_2} \right), \quad (1)$$

где R — приведенный радиус мелиорируемой площади;
 T, k, h_{cp} — соответственно мощность, коэффициент фильтрации и
 пьезометрический напор в каптируемом пласте;
 ε — скорость фильтрации грунтовых вод;

$$\omega = \sqrt{\frac{\lambda^2}{kTT_2}}; \quad (2)$$

λ_2, T_2 — коэффициент фильтрации и мощность слабопроницаемого
 грунта, отделяющего каптируемый пласт от нижележащего
 хорошо проницаемого водоносного пласта с пьезометрическим напором H .

Таблица 20

Суммарный приток воды к системе скважин в зависимости от дренируемой площади

Площадь дренируемого участка, га	Приток, м ³ /сек			Общий дебит системы скважин, м ³ /сек	Приток, %		
	из покровных мелкоземов	по водоносному пласту	снизу		из покровных мелкоземов	по водоносному пласту	снизу
1,000	0,232	0,585	0,174	0,991	23,4	59,0	17,6
2,0	0,463	0,75	0,348	1,561	29,6	48,0	22,4
5,0	1,157	1,08	0,86	3,10	37,2	34,8	28,0
10,0	2,32	1,45	1,74	5,51	42,0	26,4	31,6
25,0	5,7	2,2	4,3	12,2	46,7	19,0	35,1
50,0	11,57	2,96	8,6	23,13	50,0	12,8	37,2
100,0	23,2	4,13	17,4	44,73	52,0	9,0	39,0

Примечание. Для расчетов принято $k=45$ м/сутки, $\varepsilon=0,002$ м/сутки, $T=70$ м, скорость притока воды снизу равной 0,015 м/сутки.

Из формулы (1) следует, что дренажный модуль притока воды к скважинам из покровных мелкоземов не зависит от размеров мелиорируемой площади. Однако с увеличением этой площади резко изменяется процентное отношение между элементами суммарного дебита системы (табл. 20).

Согласно данным табл. 20 вертикальный дренаж выгоднее проектировать на больших массивах, так как в этом случае можно будет увеличить подвешенную к каждой скважине площадь за счет увеличения процентного отношения $\frac{Q_1}{Q_2}$, причем расчетный дренажный модуль остается без изменений, а удельные капиталовложения на 1 га мелиорируемой площади, как на строительство, так и эксплуатацию, уменьшаются.

ЛИТЕРАТУРА

1. Барон В. А. О режиме откачек из скважин вертикального дренажа. В сб. «Вопросы гидротехники», вып. 9, Ташкент, АН УзССР, 1962.
2. Барон В. А. Определение суммарного дебита системы скважин. В сб. «Вопросы гидротехники», вып. 9, Ташкент, АН УзССР, 1962.

3. Браницкий Н. И. «Гидротехника и мелиорация», 1962, № 9.
 4. Дзевенцкий Г. Я. «Сельское хозяйство Узбекистана», 1959, № 9.
 5. Каплинский М. И. «Гидротехника и мелиорация», 1962, № 10.
 6. Михельсон Б. А., Паярков В. Ф. Мелиоративное состояние земель в зоне командования канала им. Кирова, Материалы по производительным силам Узбекистана, вып. 15, Ташкент, АН УзССР, 1960.
 7. Решеткина Н. М., Якубов Х. и др. Предварительные результаты исследования вертикального дренажа в Голодной степи, В сб. «Вопросы гидротехники», вып. 9, Ташкент, АН УзССР, 1962.
 8. Федорова В. М. Изучение эффективности открытого горизонтального дренажа в Голодной степи, Ташкент, 1961 (рукопись).
 9. Якубов Х. «Социалистическое сельское хозяйство», 1960, № 4.
 10. Якубов Х. «Механизация хлопководства», 1962, № 12.
 11. Нормы амортизационных отчислений по основным фондам народного хозяйства СССР, утвержденные Постановлением Совета Министров СССР от 1 сентября 1961 г., М., 1961.
-

Х. ЯКУБОВ

ИССЛЕДОВАНИЯ ПЕСЧАНО-БИТУМНЫХ ТРУБ ДЛЯ ЗАКРЫТОГО ДРЕНАЖА

В настоящее время для строительства закрытого дренажа широко используются гончарные и асбоцементные трубы, изготавливаемые с внутренним диаметром 14—20 см и длиной 30—40 см. В условиях близкого залегания грунтовых вод и оплывания грунта укладка этих труб затруднительна из-за малой их длины, при этом ответственными местами закрытой дрены являются зазоры в стыках.

Поступление воды только через стыки не всегда бывает достаточным вследствие небольшой площади зазора между трубами и их быстрой закупорки. Для улучшения поступления воды в стенке труб можно устроить отверстие, но в этом случае увеличивается опасность заиления дрен почвенными частицами и возникает необходимость в защите дрен.

Защита зазоров в стыках дрен осуществляется различными способами: специальными муфтами и раструбками (которые надеваются на стыки), гравийной обсыпкой, заделкой мхом, а также войлоком. Все эти виды защиты, кроме гравийной обсыпки, по различным причинам (вследствие проникновения твердых частиц внутрь трубы через зазор между внешней стенкой гончарных труб и внутренней стенкой муфты и раструба, закупорки пор войлока и гниения мха и т. п.) не нашли широкого применения на практике.

Для улучшения условий работы закрытого дренажа и снижения стоимости его строительства впервые в 1950 г. К. Штейн (ГДР) предложил битумно-песчаные пористые трубы.

Пористые трубы из песка и битума были применены в качестве фильтра скважин для глубинного понижения грунтовых вод на строительстве Волгоградской ГЭС, при осушении сельскохозяйственных земель в прибалтийских республиках и в Чехословакии.

Трубы, изготовленные из песка и битума, имеют пористые водопроницаемые стенки, через которые поступает вода в дрены, что позволяет укладывать их на большую длину без стыка.

При осушении болот Мишерской низменности сотрудниками ВНИИГиМа испытывались песчано-битумные трубы длиной 29,3 и 44,5 см с внутренним диаметром 41 мм и наружным 77 мм (табл. 1).

Как видно из этой таблицы, дрены из битумно-песчаных труб в среднем отводили на 32% больше воды, чем дрены из гончарных труб, причем диаметр гончарной трубы на 20% больше, чем битумно-песчаной.

Пористые трубы, кроме хорошей проницаемости, имеют такие положительные качества: они могут быть применены без гравийной обсыпки и позволяют осуществлять укладку без стыка, что значительно улучшает условия эксплуатации закрытого дренажа и повышает механизацию производственных процессов.

Т а б л и ц а 1

Сток воды по дренам, $\text{м}^3/\text{сутки}$

Трубы	Октябрь			Ноябрь						
	29	30	31	1	3	4	7	9	14	19
Гончарные	2,5	4,8	7,8	11,0	16,4	18,8	24,7	27,8	36,4	44,7
Песчано-битумные	4,1	7,2	11,0	15,4	23,2	26,9	36,8	42,0	55,6	69,9

В 1957 г. в лаборатории гидротехнических сооружений Института водных проблем и гидротехники АН УзССР нами совместно со старшим научным сотрудником Х. Г. Газыевым были проведены исследования пористых труб для строительства закрытого дренажа.

Т а б л и ц а 2

Гранулометрический состав песка, используемого для изготовления песчано-битумных труб

Песок	Содержание фракций (%) размером (мм)							Размер характерных частиц, мм		
	10—7	7—5	5—3	3—2	2—1	1—0,5	0,5—0,25	D_{10}	D_{50}	D_{60}
Мелкозернистый	—	—	—	9	16,7	37,9	36,4	0,17	0,65	0,75
Среднезернистый	3,5	3,7	6,3	7,3	44,5	18,3	15,4	0,3	1,3	1,6
Крупнозернистый	5,4	9,0	15,0	16	27,4	28,0	—	0,57	1,8	2,4

В качестве материала для изготовления пористых труб мы опробовали песок, керамзит, шлак, опилки. Керамзит и опилки не выдержали испытаний на прочность. Для изготовления труб был принят песок бассейна р. Чирчик, гранулометрический состав которого приводится в табл. 2, а в качестве связывающего материала — битум марок III и V в количестве 3,5 и 7% от веса песка.

Для приготовления битумно-песчаной смеси использовали котлы. В одном из котлов разогревали битум до температуры плавления, а в другом подогревали песок. Как только температура песка достигала необходимой величины, вносили песок в расплавленный битум и перемешивали до равномерного распределения битума по поверхности песчаных частиц.

В целях определения оптимальной величины разогрева песчано-битумной смеси ее приготавливали при различных температурах: 140, 160 и 190°. Приготовленную массу быстро укладывали в формы размером 7 × 7 × 7 см, смазанные солидолом, а затем ручным способом прессовали нагрузкой до 2,5 $\text{кг}/\text{см}^2$. Далее форму вместе с кубиком охлаждали до нормальной температуры (25—30°). Чтобы сравнить прочность труб по способу охлаждения, температуру кубиков снижали на воздухе и в воде.

Результаты испытания битумных кубиков на предельную прочность (табл. 3) показали, что она зависит от ряда условий.

Во-первых, с увеличением крупности фракции снижается прочность кубиков. Это объясняется тем, что при увеличении размеров фракции уменьшается суммарная поверхность частиц, а это приводит в свою очередь к уменьшению площади соприкосновения частиц, обваливаемых битумом. Во-вторых, с возрастанием процентного содержания и марки битумов предельная прочность кубиков возрастает.

Т а б л и ц а 3

Предельная прочность песчано-битумных кубиков

Песок	Марка битума	Содержани битума, %	Температура разогрева, °С	Максимальная нагрузка, кг	Средняя предельная прочность, кг/см ²
Мелкозернистый	БН-III	3	190	426	3,7
		3	190	578	12,0
		5	190	831	16,9
		6	190	523	10,6
		7	190	808	18,2
Среднезернистый	БН-III	3	190	402	8,2
		5	190	580	11,8
		7	190	585	12,6
	БН-III	3	190	370	7,5
		5	190	454	9,2
		7	190	584	11,5
Крупнозернистый	БН-V	3	140	952	18,9
		5	140	1180	24,1
		7	140	1320	27,1
	БН-V	5	170	895	18,25

Предельная прочность битумных кубиков зависит также от температуры разогревания песчано-битумных смесей: максимальная прочность кубиков достигается при температуре разогрева смесей 140—150°.

Прочность образцов, охлаждавшихся в воде, на 20—25% ниже, чем охлаждавшихся в воздухе (табл. 3).

Важным качеством песчано-битумной трубы является хорошая водопроницаемость ее стенок. Высокая фильтрационная способность стенок труб достигается подбором механического состава песка, из которого изготавливаются трубы. Образцы мы готовили из мелкозернистого и крупнозернистого песка (см. табл. 2) в виде плиток размером 20 × 20 см и толщиной 1, 3, 5 см и кубиков с 3-, 5- и 7-процентным содержанием битума от веса песка.

Приготовленную смесь помещали в деревянную форму размером 20 × 20 × 20 см и послойно утрамбовывали до постоянного объема, при этом усадка массы составляла 12—15%, затем деревянную форму с плиткой охлаждали до температуры воздуха.

Фильтрационную способность песчано-битумной плиты определяли прибором типа Дерси при трех значениях напора (табл. 4). Коэффициент фильтрации плиты, изготовленной из фракции со средним диаметром 0,57 мм, оказался почти в 10 раз меньше, чем коэффициент фильтрации плиты, изготовленной из фракций со средним диаметром 1,8 мм. С увеличением процентного содержания битума наблюдалось некоторое снижение коэффициента фильтрации.

Нами установлено уменьшение пропускной способности фильтра со временем (рис. 1 б). Такое явление особенно сильно проявилось при испытании плиты из мелкозернистых фракций песка. Снижение

Таблица 4

Коэффициент фильтрации песчано-битумных плит в зависимости от размера фракций и содержания битума в плите

Плита	Размер характерных фракций, мм			Содержание битума, %	Средний коэффициент фильтрации, м/сутки
	D_{10}	D_{50}	D_{60}		
Из крупнозернистых фракций	0,57	1,80	2,40	3,0	380,4
				5,0	371,3
				7,0	345,2
Из среднезернистых фракций	0,3	1,3	1,6	3,0	75,7
				5,0	70,1
				7,0	65,0
Из мелкозернистых фракций	0,17	0,65	0,75	3,0	45,3
				5,0	40,4
				7,0	33,2

водопроницаемости плиты происходило в результате образования на ее поверхности пузырьков воздуха, выделявшихся из фильтрующейся водопроводной воды. С течением времени эти пузырьки охватывали всю поверхность плиты, мешая свободному прохождению воды через поры; после смыывания их водопроницаемость плиты восстанавливалась.

Водопроницаемость плиты из крупнозернистых фракций песка не снижалась со временем.

Через плиты из крупнозернистого песка мы пропускали мутную воду. В начальный период через поры проходила мутная вода, но со временем в результате образования на поверхности плиты слоя осевших илстых частиц постепенно уменьшался объем просачиваемой воды. Со снятием этого слоя водопроницаемость плиты восстанавливалась.

На основании результатов испытания песчано-битумных кубиков и плит для изготовления труб приняли песок крупнозернистой фракции, как лучший фильтрующий материал, а в качестве связывающего материала — битум марки IV в количестве 5% от веса песка.

Песчано-битумные трубы готовили в разборной опалубке, установленной на вибростоле. В опалубку вносили разогретую до 140—160°

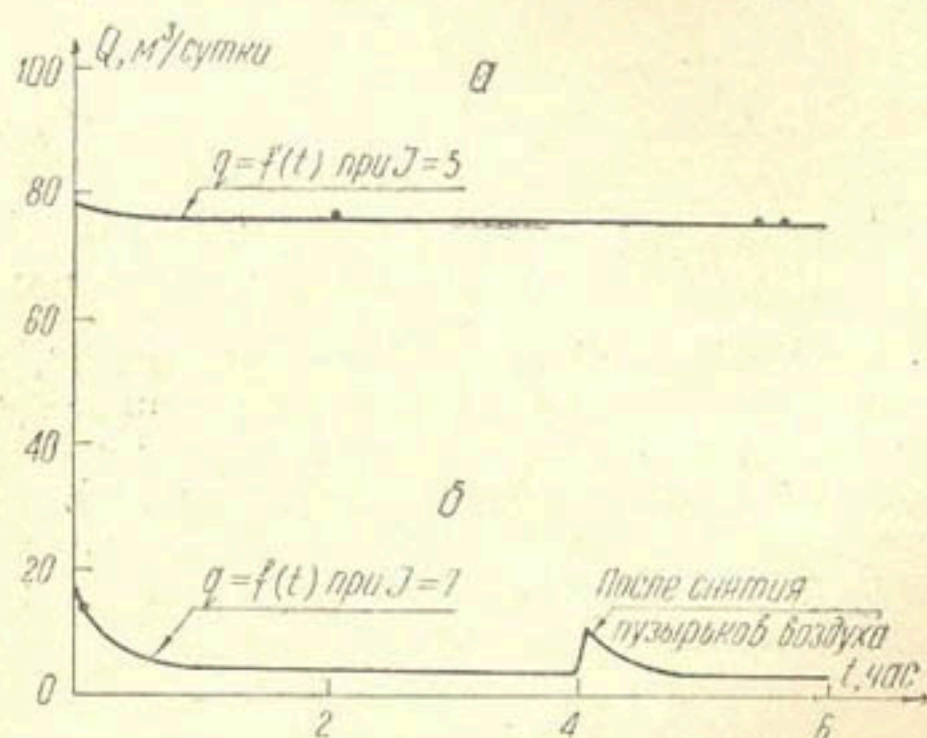


Рис. 1. График изменения пропускной способности песчано-битумных плит:

а — из крупнозернистой фракции ($F=0,0038 \text{ м}^2$);
б — из мелкозернистой фракции ($F=0,0038 \text{ м}^2$).

песчано-битумную смесь, а затем включали вибростол на 5—7 мин., после чего трубы охлаждали в течение 3—4 час.

Трубы делали длиной 100 см, наружным диаметром 16 см и внутренним 11 см. Вес 1 пог. м трубы составлял в среднем 18—20 кг.

При проведении лабораторных испытаний песчано-битумных труб использовали железный ящик размером $2,3 \times 1,0$ м и высотой 1,1 м.

Для равномерного распределения воды по всей площади на дне ящика укладывали гравийный фильтр толщиной 5 см. Трубу помещали на 40 см выше ящика с уклоном 0,045.

Чтобы предотвратить проникновение воды через стоки, их заделывали битумом и толем. Открытый конец трубы плотно закрывали и замазывали битумом.

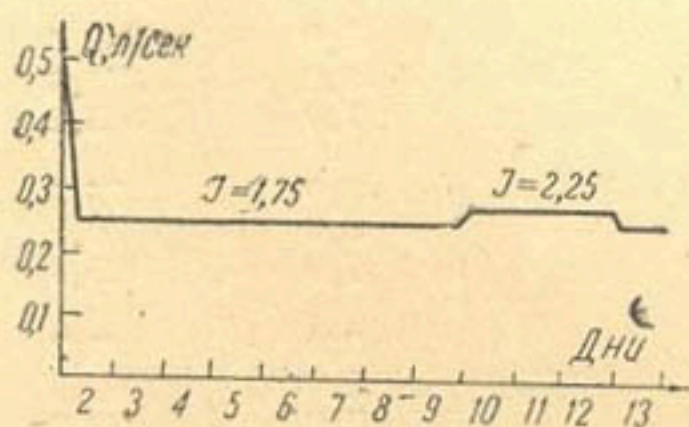


Рис. 2. График изменения расхода дрена в зависимости от величины градиента напора.

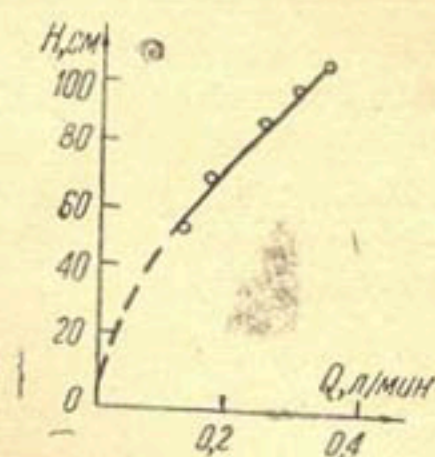


Рис. 3. Расход дрена в зависимости от изменения напора.

В ящик засыпали голодностепский лессовидный суглинок, который послойно уплотняли. На 20 см ниже поверхности ящика укладывали второй гравийный фильтр, способствующий равномерному распределению воды, подаваемой сверху. До нижнего и верхнего гравийных фильтров опускали трубку, через которую производили подачу воды.

Сначала воду подавали через трубу, опущенную в нижний гравийный слой, где она равномерно распределялась по всей площади дна ящика (по гравийному слою), а затем постепенно поднималась по порам грунта до трубы. Дренаж начал работать лишь после появления воды в пьезометрах, расположенных выше дна дрена. В начале опыта в течение 25—30 мин. по трубам шла мутная вода, затем она постепенно осветлялась вследствие уплотнения засыпанного рыхлого грунта.

В первые минуты работы дрена давала до 1,4 л воды в 1 мин., затем постепенно расход уменьшался, к концу дня он составлял 0,24 л/мин. С таким постоянным расходом дрена работала 8 дней, а после увеличения напора на 15 см расход дрена увеличился до 0,27 л/мин. При таком напоре она работала 3 суток, после чего напор снизили до прежней величины, что привело к уменьшению расхода воды в дрене до 0,24 л/мин (рис. 2 и 3).

После 13-дневного испытания образцов для окончательной усадки грунта подачу воды прекратили на 10 дней. При повторном пуске воды расход дрена снизился до 0,15 л/мин.

Окончив испытания с грунтом, для проверки состояния испытываемых труб произвели опыт с засыпкой песком таким образом.

Вокруг этих труб прокопали траншею шириной 60 см и до поверхности земли засыпали ее песком, причем с поверхности труб не снимали слоя прилипшего грунта.

В процессе испытания с песком расход дрены достигал 1,2 л/сек. После суточного наблюдения сняли слой песка толщиной 35 см сверху и засыпали лессовидный суглинок (оставшийся в траншее песчаный слой толщиной 10—15 см играл роль гравийной обсыпки). В этом случае, несмотря на песчаный фильтр, расход воды в дрене снизился до 0,5 л/мин, т. е. более чем в 100 раз.

В дальнейшем в течение 2 суток исследование проводили при полной замене суглинка песком при трех значениях напора:

Напор, м	Расход, л/сек	Удельный расход на 1 пог. м длины фильтра, л/сек
0,7	1,2	0,67
0,9	1,6	0,89
1,05	2,0	1,1

Согласно результатам испытания уменьшение расхода воды в дрене происходит не вследствие закупорки пор труб, а вследствие уменьшения коэффициента водоотдачи грунта, т. е. его уплотнения.

Незакупориваемость песчано-битумной трубы объясняется тем, что в такой трубе между несмачиваемой стенкой и водяной пленкой, обволакивающей частицы грунта, существует не сила притяжения, а сила отталкивания, так как частицы стенки и водяной пленки заряжены противоположными электрическими зарядами. Проникающие в поры труб частицы отталкиваются от стенки и находятся во взвешенном состоянии и движении.

Лабораторные испытания показали:

а) хорошую водопроницаемость песчано-битумных труб, соответствующую фильтрационной способности пористых труб для горизонтального дренажа:

б) возможность укладки труб без стыков и без дополнительной гравийной обсыпки, которая необходима в случае применения гончарных или асбоцементных труб.

Недостатком песчано-битумных труб является сравнительно низкая прочность при работе их на изгиб.

Нами установлено, что чем меньше диаметр трубы и мельче фракции песка, тем выше ее прочность.

Повысить прочность песчано-битумной трубы можно увеличением толщины ее стенки и применением продольных арматур, причем увеличение толщины очень слабо влияет на фильтрационную способность трубы. Так, например, плиты, изготовленные из крупнозернистого песка толщиной 10, 30 и 50 мм при градиенте напора, равном 7, давали почти одинаковый расход—1,1—1,2 л/сек с площади 380 см².

При проектировании песчано-битумных труб для закрытого дренажа необходимо:

1) подобрать толщину стенки в соответствии с внутренним диаметром труб. Например, для труб диаметром до 100 мм следует принять толщину стенки 30 мм, диаметром 150 мм—40 мм, диаметром 200—250 мм—50—60 мм. Кроме того, для увеличения прочности труб нужно применять арматуру из проволоки диаметром 6—8 мм и продольные арматуры располагать по окружности через каждые 4—5 см;

2) правильно подобрать гранулометрический состав песка с уче-

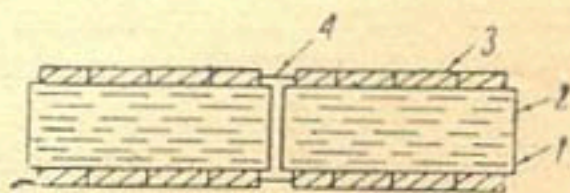


Рис. 4. Конструкция закрытого дренажа:

1—асбоцементные трубы; 2—щелевые отверстия размером 6×250 мм; 3—песчано-битумные трубы; 4—муфта для соединения труб.

том условия, что D_{50} фильтра равен 75—100 d_{50} грунта при $\eta = \frac{D_{60}}{D_{10}} \leq 5$, коэффициент фильтрации песка должен отвечать фильтрационной способности дренажных труб.

Трубы диаметром 150—200 мм при нормальном уклоне дрен (не меньше 0,002) вполне могут пропускать расход до 10—15 л/сек.

Нагрузку дрен можно регулировать изменением глубины заложения труб, допуская уменьшение расстояния между дренами до 75—150 м (при глубине 2,5—2,7 м). Частое заложение дрен в условиях напорных вод обеспечивает более равномерный захват восходящих потоков подземных вод и облегчает механизацию всех процессов производства работ по закрытому дренажу.

Дрены из труб без стыков проще в эксплуатации: в случае заиления труб их можно промыть с помощью закачки воды через смотровые колодцы под большим напором, а в случае закупорки пор труб очистку можно производить промывной водой. Для этого в нижней части дрены труба плотно закрывается пробкой, а затем через смотровые колодцы в трубу закачивается вода; напорная вода, проходя под большим давлением через поры трубы, выносит застрявшие на стенках ее мелкие частицы грунта. При таком способе очистки не нужно вскрывать дрены, что снижает эксплуатационные затраты.

Известно, что одной из причин, вызывающей заиление закрытых дрен, является смещение гончарных труб в стыках при обратной засыпке гравия или неправильная их укладка. Отсутствие надежного метода защиты труб от заиления не позволяет применять асбоцементные трубы большой длины (до 4 м). Комбинация их с песчано-битумными трубами дает возможность широко использовать асбоцементные трубы для строительства закрытого дренажа.

По нашему мнению, на подготовленные асбоцементные трубы следует надевать песчано-битумные (рис. 4).

В настоящее время назрела необходимость в широком применении пористых труб различных конструкций (песчано-битумных, бетонных, керамических, гравийных на основе клея БФ-2 и БФ-4 и др.) при строительстве закрытого дренажа. При использовании таких труб не требуется устройства гравийной обсыпки, что резко сокращает стоимость строительства закрытых дрен.

В. М. МАСЛЕННИКОВ

ПРЕДУБОРОЧНОЕ УДАЛЕНИЕ ЛИСТЬЕВ ХЛОПЧАТНИКА СПОСОБОМ ДОЖДЕВАНИЯ

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОТ

Химическая дефолиация хлопчатника дождеванием является новым способом предуборочного удаления листьев.

Сотрудники Научно-исследовательской станции по технике орошения (НИСТО) в 1956 г. на основе опытов доказали эффективность этого способа. При исследовании они учитывали все особенности и требования дождевальной техники в производстве дефолиации, что было упущено при совместных исследованиях, проводившихся сотрудниками САМИС и СТАЗР СоюзНИХИ, и привело к отрицательному результату [1].

В лабораторно-полевых опытах рабочий раствор соответствующей концентрации распределяли на растения в виде дождя одиночной короткоструйной насадкой. В полевых опытах и производственных испытаниях использовали дождевальные агрегаты ДДП-30С и ДДА-100М, оснащенные баками для маточного раствора, дозирующими устройствами для регулировки норм расхода препарата. Нужные расходы воды регулировали на ДДП-30С скоростью вращения сопла по кругу, на ДДА-100М — установкой в насадки вкладышей соответствующего диаметра и резиновых заглушек для полного перекрытия 50% насадок. Работа агрегатов на дефолиации имитировала процесс полива, при этом подачу воды в оросители соответственно уменьшали.

Равномерность распределения рабочего раствора на посевах и эффективность обработки хлопчатника определяли по группам учетных растений в точках (по 5—10 растений), располагавшихся в строке на различном расстоянии по ширине захвата (через 10, 12, 18, 20, 25, 30, 50 и 60 м) и по ходу движения дождевальных агрегатов (через 5, 10, 20, 50 и 100 м).

В 1959—1960 гг. сотрудники НИСТО провели испытания химической дефолиации хлопчатника дождеванием на полях совхоза «Пахтаарал» Пахтааральского района Сырдарьинской области УзССР. В ходе производственных испытаний они уточняли оптимальные нормы расхода воды, препаратов в зависимости от мощности листовой поверхности, сроков обработки хлопчатника и полученные данные сравнивали с результатами обычной обработки самолетами. Для определения эффективности обработок на учетных растениях регистрировали следующие показатели:

- 1) количество листьев до и после обработки;
- 2) количество коробочек, в том числе раскрывшихся;
- 3) высоту главного стебля;

- 4) средний вес коробочек, засоренность и технологические качества хлопка-сырца машинных сборов;
- 5) содержание воды в листьях по ярусам куста хлопчатника;
- 6) температуру, относительную влажность воздуха, силу и направление ветра;
- 7) изменение окраски и форму скручивания листьев после их обработки.

В настоящей статье обобщены основные результаты исследований химической дефолиации хлопчатника дождеванием, полученные в 1956—1960 гг.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

В первоначальных опытах 1956 г. были применены легко растворимые в воде препараты. Концентрация рабочих растворов для хлората магния составляла 0,5%, а для этилксантогената натрия — 0,6% при расходе до 1200 л/га, т. е. она не выходила за пределы известных рекомендаций [2] и была принята в опыте 1 за 1956 г. При слабой облиственности посевов обработка их хлоратом магния и этилксантогенатом натрия в таких же концентрациях вызвала опадение более 90% листьев (табл. 1).

Согласно данным табл. 1, примененные препараты имеют одинаково высокую эффективность действия.

В опыте 3 за 1956 г., где применялся дождеватель ДДП-30С, при расходе хлората магния указанной концентрации в количестве 1700 л/га опадение листьев в среднем по участку площадью 3 га было не ниже 90% (табл. 2).

Однако полученный результат не является главным в достижении цели, так как обработка хлопчатника по существу не отличалась от обычной дефолиации и сохраняла все ее слабые стороны (частичное увлажнение листьев и относительно высокая концентрация рабочих растворов). Необходимо было разработать совершенно новую технологию дефолиации, которая позволяла бы производить относительно большие расходы воды и минимальный расход ядохимикатов и была бы эффективной в течение всего дня. Благодаря использованию при дефолиации двух видов препарата — порошковидных и легко растворимых в воде с высоким содержанием действующего вещества — наметилось два пути в решении этого вопроса. При дефолиации цианамидом кальция (опыт 4 1957 г.) суспензия препарата (а не раствор) при соотношении 1:2 (одна часть препарата и две части воды) через ДДП-30С распределялась способом дождевания на посевы в количестве 50 кг/га. В среднем по участку площадью 16 га опало 65,8% листьев, а урожай, собранный машиной, составил 71,5% от общего [9]. Применение легко растворимых в воде дефолиантов с высоким содержанием действующего вещества позволило значительно упростить решение вопроса о распределении их на посевы [5, 9].

Кроме того, при дефолиации предполагалось применять пониженные концентрации рабочих растворов. Такая возможность была установлена в опыте 2 1956 г., где растворы этилксантогената натрия с концентрацией 0,4 (опытной) и 0,6% (рекомендуемой — контроль) проявили равноценную эффективность (опало более 90% листьев). Как показали многочисленные опыты, оптимальная концентрация рабочего раствора хлората магния при дефолиации дождеванием колеблется в пределах 0,21—0,23% по действующему веществу препа-

рата, т. е. она в 2,5 раза ниже, чем при обработках наземной аппаратурой, и в 27—54 раза ниже, чем при использовании авиационного способа обработки [2, 3, 4].

Данные опыта 1, проведенного в совхозе «Пахтаарал» в 1959 г., показывают, что принятая концентрация рабочего раствора хлората магния (0,21—0,23%) действительно является оптимальной (табл. 3).

Т а б л и ц а 1

Опадение листьев и высота главного стебля хлопчатника в опыте 1
за 31.VIII 1956 г.
(НИСТО, Ташкентская область)

Вариант опыта	Концентрация рабочего раствора, %	Высота главного стебля, см	Листья, %			
			опавшие		с ожогами	
			на 5-й день	на 12-й день	на 5-й день	на 12-й день
Дождевание раствором хлората магния	0,5	83,5	47,0	98,2	0	11,5
Дождевание раствором этилсантигената натрия	0,6	77,8	31,0	98,4	0	3,56
Контроль без обработки	—	78,0	22,0	42,5	—	—

Т а б л и ц а 2

Опадение листьев хлопчатника в различных точках поля при обработке его 0,5-процентным раствором хлората магния в опыте 3 за 24.IX 1956 г.
(НИСТО, Ташкентская область)

Номер точки	Расстояние точки от стоянки агрегата, м	Высота главного стебля, см	Листья, %	
			опавшие	с ожогами
1	15	64,5	100	—
2	30	70,0	100	—
3	50	55,0	74,0	1,0
4	30	57,5	96,7	1,0
5	15	67,5	93,7	2,0
6*	30	57,2	23,0	—
7*	30	65,2	36,5	—

* Контроль (без обработки).

Как видно из табл. 3, наиболее эффективными являются варианты 1—4 с концентрацией рабочего раствора 0,20—0,28%, обеспечивающие опадение 68,6—82,0% листьев. Вместе с тем даже незначительное снижение концентрации рабочего раствора (0,2%) совершенно не вызывало опадения листьев (варианты 5, 6—8), поэтому необходимо строго следить за оптимальным порогом концентрации рабочего раствора.

Далее, дефолиация хлопчатника пониженными концентрациями рабочего раствора хлората магния должна проводиться только в световое время суток — до 19 час., так как позже дефолирующие свой-

ства раствора не проявляются. Это явление связано с температурным рубежом хлората магния: при температуре воздуха ниже этого рубежа хлопчатник становится маловосприимчивым к дефолианту [8, 11]. Следовательно, с применением пониженных концентраций рабочего

Т а б л и ц а 3

Опадение листьев хлопчатника после обработки его рабочими растворами хлората магния различных концентраций в опыте 1 1959 г. (НИСТО, отделение им. Коминтерна совхоза „Пахтаарал“)

Вариант опыта	Расход		Концентрация рабочего раствора, %	Количество листьев на 1 растение	Листья, %	
	воды, м ³ /га	препарата, кг/га			опавшие	с ожогами
1	3,15	15	0,28	50,1	68,6	14,0
2	3,5	15	0,26	54,3	70,7	6,4
3	3,1	10,5	0,20	45,2	79,4	6,3
4	3,6	13,4	0,22	46,8	82,0	5,0
5	3,18	9,25	0,17	55,8	26,8	—
6	4,35	4,2	0,06	45,5	46,4	—
7	6,3	15,0	0,14	46,9	35,8	—
8	7,5	11,8	0,09	50,2	36,6	—

раствора влияние температурного фактора на эффективность дефолиации должно проявляться более отчетливо. Такой зависимостью объясняется и ослабленное действие препарата на листья нижней части куста. Результаты экспериментальной проверки подтвердили, что эти случаи не связаны с наличием или отсутствием росы.

Т а б л и ц а 4

Эффективность обработки посевов хлопчатника различными нормами воды и хлората магния в опыте 3 за 12 и 19. IX 1959 г. (отделение им. Коминтерна совхоза „Пахтаарал“)

Номер отвода	Срок обработки	Номер карты	Вариант опыта	Среднее количество листьев на 1 растение	Режим дефолиации			Листья, %	
					вода, м ³ /га	хлорат магния, кг/га	концентрация рабочего раствора, %	опавшие	с ожогами
66 правый	12. IX	11 12	1	55,0	3,2	12,2	0,22	79,1	9,1
			2	58,5	3,2	37,4	0,75	78,3	11,4
			3	32,8	3,2	13,7	0,27	92,6	5,6
51	19. IX	2	4	37,6	3,2	13,7	0,27	72,0	9,8
		3	5	45,8	6,4	27,4	0,27	88,5	5,3
	Контроль (без обработки)	14	6	54,0	—	—	—	39,0	—
		13	7	52,4	—	—	—	34,1	—
		2	8	41,6	—	—	—	44,5	—

Наличие посевов с различной облиственностью на полях отделения им. Коминтерна совхоза „Пахтаарал“ и на экспериментальной базе НИСТО позволило изучить эффективность различных норм расхода воды и препарата в широких пределах (табл. 4).

Из табл. 4 видно, что в вариантах 1 и 2 нормы хлората магния 12,2 и 37,4 кг/га при одинаковом расходе воды агрегатом—3,2 м³/га—по эффективности действия на листья оказались равноценными (опало 79,1 и 78,3% листьев).

Таблица 5

Опадение листьев хлопчатника с различной облиственностью в зависимости от нормы расхода рабочего раствора в опыте 5 1959 г. (НИСТО, Ташкентская область)

Вариант опыта	Срок обработки	Норма расхода		Высота главного стебля, см	Среднее число листьев на 1 растение	Опавшие листья, %
		воды, м ³ /га	хлората магния, кг/га (туках)			
1	24. IX	2,5	17	87,0	31,2	92,4
2		2,5	17	101,0	35,6	88,6
3	26. IX	2,5	17	102,0	61,0	50,1
4		5,0	34	102,0	61,0	83,0
5		—	—	98,5	35,5	35,3

Точно такие же режимы обработки экспериментировались на единичных картах отводов 53 и 70, и результаты повторились.

Таким образом, одностороннее увеличение нормы препарата при неизменном расходе воды агрегатом (3,2 м³/га) является нецелесообразным.

Согласно данным табл. 4 в варианте 5 при норме расхода хлората магния 27,4 кг/га и воды 6,4 м³/га опало 88,5% листьев, а в варианте 4 при расходе рабочего раствора 3,2 м³/га той же концентрации—72,0% листьев при среднем количестве их на кусте 37,6 против 45,8 листа на хлопчатнике варианта 5. Наиболее четко это видно из табл. 5: при норме расхода рабочего раствора 5 м³/га опадение листьев повышается до 83% против 50,1% при обработке нормой 2,5 м³/га.

На основе данных табл. 4 и 5 можно сделать следующие выводы:

- 1) объем рабочего раствора до 3,2 м³/га является недостаточным для полного увлажнения хлопчатника с сильной облиственностью;
- 2) одностороннее увеличение нормы препарата без соответствующего повышения расхода воды дождевальным агрегатом не дает эффекта;
- 3) для повышения эффективности обработки необходимо пропорционально увеличивать расход воды агрегатом и норму расхода препарата, сохраняя оптимальную концентрацию рабочего раствора (хлората магния — не ниже 0,2%).

Результаты опытов 1960 г. приводятся в табл. 6, из которой следуют такие выводы:

- 1) при расходе воды 3 000 л/га и препарата 12 и 15 кг/га общая эффективность дефолиации (с учетом засохших листьев) составляла 83,7—82,0% (варианты 1 и 2);
- 2) с увеличением расхода рабочего раствора той же концентрации до 4 700 л/га общая эффективность дефолиации достигает 90—96% вследствие более полного смачивания листовой поверхности хлопчатника (варианты 3 и 4, характеризующие результаты обработки на площади более 100 га);
- 3) по эффективности действия различных норм расхода воды и препарата 29 сентября является недопустимо поздним сроком дефолиации (варианты 5 и 6);

4) наличие большого количества сухих листьев на основной части обрабатываемой площади (30—35%) нельзя относить за счет способа дефолиации, так как пониженная концентрация рабочего раствора препарата не могла вызвать такое гидротизирующее действие и, следовательно, ожоги листьев. Погодные условия периода дефолиации

Таблица 6

Результаты обработки посевов хлопчатника раствором хлората магния способом дождевания в опытах 1960 г.
(отделение им. Коминтерна совхоза „Пахтаарал“, отвод 60)

Номер карты	Вариант опыта	Срок обработки (сентябрь)	Норма расхода		Среднее количество листьев на 1 растение	Листья, %		Общая эффективность дефолиации, %
			препарата, кг/га	рабочего раствора, л/га		опавшие	с ожогами	
6	1	13	12	3000	52	76,1	7,6	83,7
7	2	13	15	3000	58	75,0	7,0	82,0
9	3	15	19,7	4700	63,2	65,5	31,0	96,5
17	4	17	20,0	4700	71,0	76,4	14,4	90,8
10	5	29	20,7	4700	70,7	50,0	26,9	76,9
10	6	29	41,7	8700	67,1	56,7	26,6	83,3

1960 г. также не могли вызвать таких резких изменений: по сравнению с 1959 г. среднемесячная температура сентября в 1960 г. была ниже на 2,1° (во второй декаде — на 2,3 и в третьей — на 4,5°). Пониженные температуры и несколько повышенная влажность воздуха, наоборот, способствовали «мягкому» действию препарата. Для объяснения указанного явления остается предположить запаздывание в развитии хлопчатника или уменьшение дефолирующей активности препарата. Наиболее реально второе предположение, так как на участках, обработанных растворами хлората магния с самолета, сухие листья составляли до 20%. Такое же впечатление создавалось при осмотре участков, обработанных самолетом, в других отделениях совхоза.

На основании приведенных данных можно рекомендовать следующие нормы расхода воды и хлората магния на 1 га площади при дефолиации дождеванием: для хлопчатника со слабой облиственностью — 7,8 кг препарата на 1,7 — 2,0 м³ воды, со средней — соответственно 11—12 кг на 3,0—3,2 м³ и с мощной — 15—22 кг на 4,6 м³.

РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ИСПЫТАНИЙ

Производственные испытания полностью подтвердили правильность разработанной технологии химической дефолиации дождеванием [5, 10] и явились началом комплексного использования дождевальных агрегатов. Испытания проводились по просьбе дирекции совхоза «Пахтаарал» в 1959 г. на площади 600 га, а в 1960 г. — на 130 га из-за нехватки хлората магния. Результаты этих испытаний были одобрены работниками совхоза [6, 12, 13].

Посевы хлопчатника, отведенные под дефолиацию дождеванием, характеризовались высокой облиственностью. В среднем на участках, обработанных дождеванием в 1959 г., на одно растение приходилось более 50 листьев, а на посевах, где обработка проводилась с самолета, — 25—35 листьев.

О неравномерности облиственности посевов хлопчатника по участкам, обработанным различными способами дефолиации в 1959 г., можно судить по следующим данным:

Распределение растений, шт.	Облиственность, %	
	при дождевании	при обработке с самолета
до 30	18	37
30—40	23	32
40—60	36	24
60—100 и более	23	7

К началу машинной уборки на участках, где проводилась дефолиация дождеванием, опало 75 и засохло 7,2% листьев. На участках, обработанных с самолета, опало 78,7% листьев и 5,1% были с ожогами. На необработанных участках естественное опадение листьев составляло 34,1—44,5%.

В 1960 г. на производственной площади опало 65—75% листьев и 20—25% оставалось на растениях засохшими, что увеличило засоренность хлопка машинного сбора.

Перед машинным сбором на обработанных участках раскрытие коробочек редко было ниже 70%. Уборка урожая проводилась различными хлопкоуборочными машинами: СХС-1,2; СХМ-48М; ХВС-1,2.

На землях экспериментальной базы НИСТО за два съема машинные сборы составляли 71,5—86,6% от общего уровня урожая. На полях отделения им. Коминтерна в 1959 г. за три машинных сбора было собрано по 33,0—38,98 ц/га, а на участках, дефолированных самолетом, урожай, собранный машинами, не превышал 30,1 ц/га. При сравнении участков с общим уровнем урожая 43—44 ц/га и 36,0—37,4 ц/га оказывается, что наибольший съем получается с участков, дефолированных способом дождевания. В 1959 г. по отделению им. Коминтерна съем хлопка-сырца с каждого гектара, убранного машиной, составил 33,85 ц/га, а в соседнем отделении им. Дзержинского, где дефолиация проводилась с помощью самолета, — 29 ц/га.

В 1960 г. на площади, дефолированной дождеванием, машинный сбор хлопка равнялся 30,4 ц/га, или 74% от валового урожая. Наличие большого количества сухих листьев повысило засоренность хлопка машинных сборов, которая при первом сборе составляла 13,85—14,8%, при втором 7,2, в то время как в 1959 г. она равнялась соответственно 6 и 2,85%. Установлено, что химическая дефолиация дождеванием не снижает среднего веса коробочек и технологических качеств волокна.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБОВ ДЕФОЛИАЦИИ ХЛОПЧАТНИКА

При сравнении различных способов дефолиации по их эффективности мы не преследуем цели противопоставить их друг другу. Способы дефолиации с применением авиации и наземной аппаратуры останутся основными. Дефолиация же дождеванием, обладающая универсальностью и простотой, если и будет применяться, то в крайне ограниченных пределах. Поэтому все объективные преимущества и предложения по новой технике дефолиации могут быть практически реализованы только в хозяйствах, где дождевание будет основным способом орошения. Особенностью химической дефолиации дождеванием является почти полное увлажнение листьев хлопчатника пониженной концентрацией раствора хлората магния. Благодаря этой особенно-

Эффективность различных способов дефолиации хлопчатника растворами хлората магния

Способ дефолиации	Концентрация рабочего раствора, %	Тип распылителя	Расход		Мощность облиствления или количество листьев на 1 растении	Листья, %		Раскрытие коробочек к уборке, %	Источник данных
			рабочего раствора, л/га	препарата кг/га		опавшие	сухие		
С помощью наземной аппаратуры (ОДН-ОУН-4-6)	0,5	Обычн.	1100	9,2	Не указ.	62,8	1,3	Не указ.	И. Г. Василевский [3]
	0,5	Эконом.	1100	9,2	"	65,8	5,8	"	
	1,0	Обычн.	520	8,6	"	74,9	1,8	"	
	0,5	—	1200	—	"	73,0	7,1	76,2	
	1,0	—	500	—	"	71,9	20,0	75,0	Он же [15]
	0,5	—	Не указ.	Не указ.	"	75,6	—	79,7	
			"	"	"	81,5	—	73,7	
			"	"	"	82,7	—	Не указ.	А. П. Хитрова [16] М. В. Куликова, Д. М. Шполянский [17]
			"	"	"	—	—	65,8	
			"	"	"	—	—	—	
С самолета	0,75	—	800	10,0	"	69	26	Не указ.	Л. Д. Стонов и др. [18]
	20	—	60	12,0	"	58,9	—	21,1	
	12	—	100	12,0	"	58,9	—	55,0	И. Р. Костенко и др. [4]
	6-8	—	150-200	12,0	Средн. Рослый	68,3	9	43,5	
	6	—	200	—	Не указ.	77	10	Не указ.	М. А. Матвеев [19]
	12	—	100	—	"	78	—	"	
Дождевание	0,20	—	3100	10,5	45,2	79,4	6,3	85,7	Материалы НИСТО
	0,22	—	3600	13,4	46,8	82,0	5,0	87,0	
	0,26	—	3500	15,0	54,3	70,7	6,6	77,3	
	0,28	—	3200	15,0	50	75	7,2	82,2	
	0,30	—	3000	15,0	58	75	7	82,0	
	0,25	—	4700	20,0	71	76,4	14,4	90,8	

сти химическая дефолиация дождеванием, в отличие от других способов дефолиации, позволяет обеспечить однократной обработкой высокое опадение листьев на посевах практически с любой мощностью развития растений. Отсутствие росы или наличие ветра (со скоростью не более 5 м/сек) не является помехой для эффективной обработки посевов в течение всего дневного времени суток (но не позже 19 час.). Таким образом, дефолиация дождеванием не требует подбора временных и погодных условий. Для повышения эффективности и надежности обработки обычных способов дефолиации (наземной аппаратурой, самолетом) в литературе предлагаются различные методы [20, 22].

Т а б л и ц а 8

Условия, определяющие эффективность применения различных способов дефолиации

Способ дефолиации	Мощность развития хлопчатника		
	слаборослый	среднерослый	сильнорослый
С помощью наземной аппаратуры (ОДН-ОУН-4-6)	Благополучно	Повреждение растений, неравномерное опадение листьев по ярусам	Непроходим без явного ущерба
С самолета	"	Удовлетворительно	Требуется двойная обработка
Дождевание	"	Благополучно	Благополучно

В работах, опубликованных в последние годы, ставится под сомнение целесообразность ярусной дефолиации посевов хлопчатника [8, 14]. Повышение эффективности обработок хлопчатника наземной аппаратурой и самолетом достигнуто усовершенствованием распылителей, их расстановкой, повышением дисперсности распыла растворов при одновременном снижении норм расхода и увеличении концентрации [3, 4, 8, 15, 19, 21]. Недавно усовершенствованная технология дефолиации успешно прошла испытания в различных хлопкосеющих районах Узбекистана. Данные, полученные в ходе этих испытаний, и результаты наших исследований (для сравнения) приводятся в табл. 7. Как видно из этой таблицы, химическая дефолиация дождеванием по эффективности действия не уступает основным способам предуборочного удаления листьев. Однако достигнутые усовершенствования в технологии ведущих способов дефолиации не всегда дают желаемый результат (табл. 8).

Таким образом, дефолиация дождеванием частично или полностью устраняет трудности, возникающие при обычных способах дефолиации. Положительная оценка качества дефолиации дождеванием дана в ряде работ [7, 8, 23]. По экономическим и эксплуатационным показателям дефолиация дождеванием также не уступает обычным способам предуборочного удаления листьев. Стоимость однократной обработки самолетом составляет от 14,34 до 20 руб/га, в зависимости от природно-хозяйственных условий. При дождевании эта стоимость изменяется в зависимости от типа дождевального агрегата, наличия лесопосадок по групповой распределительной сети и вида препарата. При использовании в процессе дефолиации дождевального агрегата ДДА-100М сменная производительность при наличии лесопосадок сос-

тавляет 23 га, а без них — 44 га. В связи с этим стоимость обработки без затрат препарата возрастает с 0,95 до 1,62 руб/га, а потребность в обслуживающем персонале — с 0,16 до 0,3 человеко-смен на 1 га.

При соответствующей организации работ и устройстве несложных приспособлений производительность труда можно повысить на 10—15%, а стоимость обработки сократить на 25—29% [5—10]. При использовании дождевателя ДДП-30С сменная производительность составляет 20,4 га, а стоимость обработки (без стоимости препарата) — 0,977 руб/га.

С применением цианамид кальция производительность ДДП-30С на дефолиации снижается на 27%, а стоимость обработки повышается на 59% по сравнению с обработкой хлоратом магния [9, 24].

ВЫВОДЫ

1. Химическая дефолиация дождеванием имеет более высокие агротехнические, эксплуатационные и экономические показатели, чем обычные способы, а по эффективности не уступает этим способам.

2. Особенностью дефолиации дождеванием является почти полное увлажнение листьев пониженной концентрацией рабочего раствора хлората магния (0,21—0,23% по действующему веществу препарата).

3. Дефолиация дождеванием обеспечивает условия для качественной машинной уборки хлопка-сырца.

4. Нормы расхода воды агрегатом и препарата должны быть дифференцированы в зависимости от мощности облиственности посевов хлопчатника.

5. Химическую дефолиацию хлопчатника дождеванием необходимо заканчивать до 19 час., так как обработки, проведенные после 19 час., не вызывают опадения листьев вследствие применения пониженных концентраций рабочего раствора хлората магния.

6. Увеличение концентрации рабочего раствора хлората магния выше установленного порога (0,21—0,23%) нецелесообразно, а снижение ниже 0,2% недопустимо, так как действие пониженной концентрации на листья прекращается.

7. При внедрении способа орошения дождеванием, естественно, возникнут вопросы замены некоторых агротехнических приемов, которые также просто, с использованием тех же приспособлений, что и при дефолиации, могут быть выполнены с помощью дождевальных машин. Необходимо оснащать такими несложными приспособлениями дождевальные агрегаты, а также оборудовать их кабинами, обеспечивающими наиболее полную изоляцию трактористов от воздействия ядов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кондратьев В. Н. Приспособление рабочих органов машин, предназначенных для борьбы с вредителями сельскохозяйственных культур, к обработке всходов хлопчатника, Итоги работ СоюзНИХИ за 1954 г., вып. IV, изд. САГУ, Ташкент, 1956.
2. Пругалов А. М. Предуборочное удаление листьев хлопчатника. Итоги работ СоюзНИХИ за 1954 г., вып. IV, изд. САГУ, Ташкент, 1956.
3. Василевский И. Г. «Хлопководство», 1960, № 9.
4. Костенко И. Р., Мелешко И. И., Куликова М. В., Матвеева Г. Н., Попов Н. И., Закиров Т. С., Канаш М. С. «Хлопководство», 1960, № 8.
5. Пересыпкин Н. А. «Механизация хлопководства», 1961, № 1.

6. Куликов В. Н. «Хлопководство», 1960, № 1.
 7. Котов Ю. В. «Механизация хлопководства», 1961, № 8.
 8. Стонов Л. Д. Дефолианты и десиканты, М., Госхимиздат, 1961.
 9. Масленников В. М., Пересыпкин Н. А. «Хлопководство», 1958, № 12.
 10. Масленников В. М. «Сельское хозяйство Узбекистана», 1961, № 7.
 11. Бабушкин Л. М., Блюм М. Б. Влияние погоды на развитие хлопчатника в Узбекистане, Ташкент, АН УзССР, 1953.
 12. Топада М. Я. Полив дождеванием в совхозе «Пахтаарал» агрегатами ДДА-100М, Материалы Научно-технической конференции по вопросам механизации хлопководства, САИМЭ, 1961.
 13. Куликов В., Орлов Ф., Маханов К., Губершин П. Агрегат есть, а дождя нет, газ. «Сельская жизнь», 27. VIII 1960 г.
 14. Куликов В. Н. Совхоз «Пахтаарал», изд. МСХ КазССР, Алма-Ата, 1960.
 15. Василевский И. Г. «Хлопководство», 1961, № 8.
 16. Хитрова А. П. «Хлопководство», 1961, № 8.
 17. Куликова М. В., Шполянский Д. М. «Хлопководство», 1961, № 8.
 18. Стонов Л. Д., Сергеева Г. А., Стригалева А. Н. «Хлопководство», 1961, № 7.
 19. Матвеев М. А. «Хлопководство», 1961, № 8.
 20. Рубь В. Новый способ дефолиации, газ. «Ташкентская правда», 26. VIII 1959.
 21. Куликова М. В. «Механизация хлопководства», 1961, № 9.
 22. Гольдсберг Н. А., Голов В. Г. «Хлопководство», 1961, № 6.
 23. Цамутали А. С., Котов Ю. В. «Хлопководство», 1962, № 1.
 24. Масленников В. М. Выступление на выездной сессии Ученого совета ВНИИГиМ, В кн. «Орошение хлопчатника дождеванием», изд. ВНИИГиМ, М., 1960.
-

СОДЕРЖАНИЕ

В. А. Барон. Неустановившийся приток подземных вод к скважине в произвольном числе взаимосвязанных напорных горизонтов	5
Х. Якубов, В. А. Барон. Из опыта строительства скважин вертикального дренажа в Голодной степи	14
В. А. Барон. Определение расстояний между скважинами вертикального дренажа	24
В. А. Барон, Х. Якубов. Техничко-экономический расчет оптимальных глубин и диаметров скважин вертикального дренажа	29
А. Умаров. Прогноз водного баланса орошаемой территории при помощи вертикального дренажа	37
Х. Якубов, В. А. Барон. Техничко-экономические показатели горизонтального и вертикального дренажа	44
Х. Якубов. Исследования песчано-битумных труб для закрытого дренажа	68
В. М. Масленников. Предуборочное удаление листьев хлопчатника способом дождевания	75