

**МИНИСТЕРСТВО МЕЛИОРАЦИИ И ВОДНОГО  
ХОЗЯЙСТВА СССР**

Ордена Трудового Красного Знамени Среднеазиатский  
научно-исследовательский институт ирригации им. В. Д. Журина  
«САНИИРИ»

**СБОРНИК  
НАУЧНЫХ ТРУДОВ**

**Выпуск 138**

**Обводнение, сельскохозяйственное водоснабжение**

**Ташкент—1973**



МИНИСТЕРСТВО МЕЛИОРАЦИИ И ВОДНОГО  
ХОЗЯЙСТВА СССР

Ордена Трудового Красного Знамени  
Среднеазиатский научно-исследовательский  
институт ирригации им. В. Д. Журина  
„САНИИРИ“

# СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ

Выпуск 138

Обводнение, сельскохозяйственное водоснабжение

Ташкент—1973



В книге отражаются результаты исследований оптимального числа типоразмеров скважинных электропогружных насосов и даны рекомендации по конструкциям насосных агрегатов и водоподъемных установок, а также условиям их эксплуатации.

В сборнике приводятся методика совершенствования проектирования и эксплуатации обводнительных сооружений, пути использования поверхностных и подземных водных ресурсов для орошения и обводнения пастбищ, освещаются вопросы опреснения минерализованных вод, рассматриваются способы улучшения кормового запаса путем организации лиманного и оазисного орошения.

Сборник предназначен для специалистов, работающих в области проектирования и эксплуатации объектов обводнения пастбищ, сельскохозяйственного водоснабжения, лиманного и оазисного орошения, работников сельского и водного хозяйства.

#### Редакционная коллегия:

В.А.Духовный (отв.ред.САНИИРИ), Р.А.Алимов, Х.А.Аскарлов, К.И.Белоцерковский, Г.Г.Валентини, И.И.Горошков, Х.И.Заиров, С.И.Кеберле, Х.С.Карашев (КазНИИВХ), Н.Т.Лактаев, А.М.Мухамедов, У.Ю.Пулатов, А.А.Рачинский (зам.ред.), И. Б. Хамадов, Х.И.Якубов.

С

Среднеазиатский научно-исследовательский институт ирригации им.В.Д.Журина  
"САНИИРИ", 1973



В.Н.МАШКОВ  
канд.техн.наук, руковод.лаборатории  
( САННИРИ им.В.Д.Журина )

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОГО  
ЧИСЛА ТИПОРАЗМЕРОВ СКВАЖИННЫХ ЭЛЕКТРОПОГРУЖНЫХ НАСО-  
СОВ ( НА ПРИМЕРЕ НАСОСОВ ДЛЯ ВЕРТИКАЛЬНОГО  
ДРЕНАЖА )

Опыт эксплуатации скважин вертикального дренажа в Голодной степи показал, что при отсутствии достаточного количества типоразмеров электропогружных насосов подавляющее число скважин вынуждено работать на прикрытой задвижке, т.е. коэффициент полезного действия насосных установок искусственно занижается пропорционально отношению действительного напора насоса к требуемому при данном динамическом понижении.

Очевидно, увеличение типоразмеров насосов для вертикального дренажа приведет к повышению коэффициента полезного действия насосных установок, так как создается возможность подобрать для каждой скважины агрегат, оптимальный режим которого в достаточной степени хорошо совпадает с эксплуатационным режимом работы скважины. Кроме того, большое число типоразмеров позволит избежать необходимости устанавливать на малодебитных скважинах насосы завышенной производительности, т.е. более мощные, а следовательно, и более дорогие.

Но с другой стороны, увеличение типоразмеров потребует дополнительных капитальных вложений на разработку новых насосов и их промышленное освоение, приведет к удорожанию их изготовления из-за снижения серийности выпуска и, кроме того, создаст определенные неудобства и расходы при эксплуатации из-за необходимости увеличения количества запасных частей.



Следовательно, оба указанных случая не являются оптимальными.

По нашему мнению, разработка оптимального ряда электронасосов для вертикального дренажа заключается в отыскании такого количества типоразмеров, при котором расчетные затраты по изготовлению и эксплуатации насосного оборудования на системах вертикального дренажа были бы минимальными.

Если предположить, что на поле  $Q - H$  точки, обозначающие оптимальные рабочие режимы скважины, располагаются равномерно, то задача определения оптимального числа типоразмеров сведется к выявлению зависимости расчетных затрат от числа типоразмеров насосов, перекрывающих поле  $Q - H$ , и затем установления минимума этой функции.

Для решения поставленной задачи необходимо выяснить зависимость эксплуатационных затрат и капитальных вложений от числа типоразмеров, которые обеспечивают заданные режимы работы скважин в расчетном поле  $Q - H$ .

Эксплуатационные затраты на установках вертикального дренажа состоят в основном из затрат на электроэнергию, обслуживание и ремонт, а также на амортизационные отчисления. С ростом числа типоразмеров затраты на обслуживание и ремонт увеличиваются, однако это увеличение незначительно, и для удобства расчета ими можно пренебречь. Затраты на амортизационные отчисления могут быть учтены в виде процентов от стоимости насосов. Затраты на электроэнергию, составляющие более 50% эксплуатационных, в основном будут зависеть от среднеэксплуатационного к.п.д. насосов.

Зависимость среднеэксплуатационного к.п.д. насосов, перекрывающих своими характеристиками поле  $Q - H$ , от числа их типоразмеров может быть определена графоаналитически. Напорная характеристика электропогружного насоса представляет собой линию, и поэтому для перекрытия заданного поля  $Q - H$  полями  $Q - H$  типоразмеров насосов необходимо задаться способами регулирования их подачи. Современные электропогружные насосы можно регулировать при помощи



дросселирования, подрезки рабочих колес насоса, изменения числа оборотов и впуска воздуха во всасывающую трубу. Конструкции современных отечественных электропогружных насосов позволяют регулировать подачу двумя первыми способами. Асинхронные электродвигатели, с которыми агрегатированы насосы, не позволяют изменять число оборотов, а способы изменения частоты трехфазного тока для регулирования числа оборотов двигателя (экономически целесообразные) в настоящее время находятся в стадии изучения. Мало изучен также и способ регулирования электропогружных насосов путем впуска воздуха во всасывающую полость насосов.

Среднеэксплуатационный к.п.д. можно определить через минимально допустимый к.п.д. насоса. При регулировании производительности насоса дросселированием в случае заданного минимально допустимого к.п.д. его поле  $Q - H$ , перекрываемое насосом, ограничивается сверху рабочей характеристикой насоса, а снизу кривой, построенной из условия

$$\eta_{min} = \eta_{gr} = \eta_n \cdot \frac{H_{gr}}{H_n}, \quad (1)$$

где  $\eta_{min} = \eta_{gr}$  — к.п.д. дросселированного насоса;  
 $\eta_{gr}$  — минимальный (заданный) допустимый к.п.д. насоса;  
 $\eta_n$  — к.п.д. насоса при заданном расходе ( $Q_1, Q_2 \dots Q_n$ );  
 $H_n$  — манометрический напор дросселированного насоса;  
 $H_{gr}$  — манометрический напор при заданном  $\eta_{min}$ . (Рис. 1).

При подрезке рабочих колес центробежных насосов напор и подача воды изменяются согласно соотношениям

$$Q_n = \alpha Q \frac{D_n}{D}, \quad H_n = \beta H \left( \frac{D_n}{D} \right)^2, \quad (2)$$

где  $Q$  и  $H$  — нормальный напор и расход насоса;  
 $Q_n$  и  $H_n$  — напор и расход насоса с подрезанным колесом;



$D$  - нормальный диаметр рабочего колеса;

$D_n$  - диаметр подрезанного рабочего колеса;

$\alpha$  и  $\beta$  - коэффициенты пропорциональности, уменьшающиеся с увеличением подрезки (при  $D = D_n$ ,  $\alpha = \beta = 1$ ).

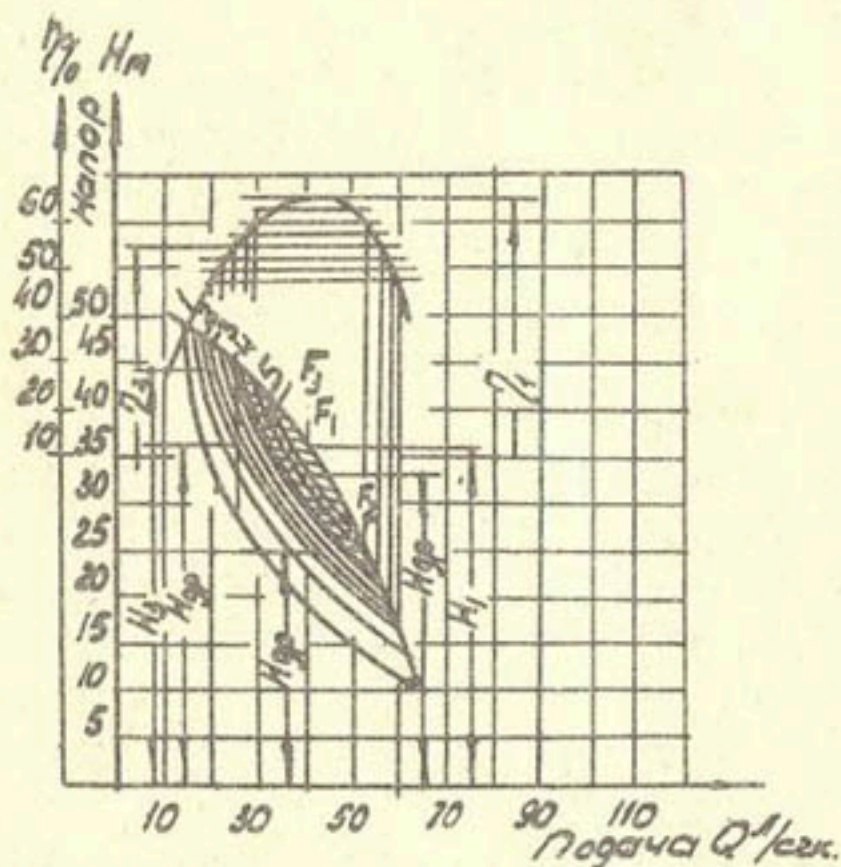


Рис.1. Универсальная характеристика насоса при дросселировании. Заштрихованные области - увеличение поля  $Q - H$  при уменьшении заданного минимального к.п.д.: 1 - 0,40; 2 - 0,45; 3 - 0,50; 4 - 0,55; 5 - 0,60.



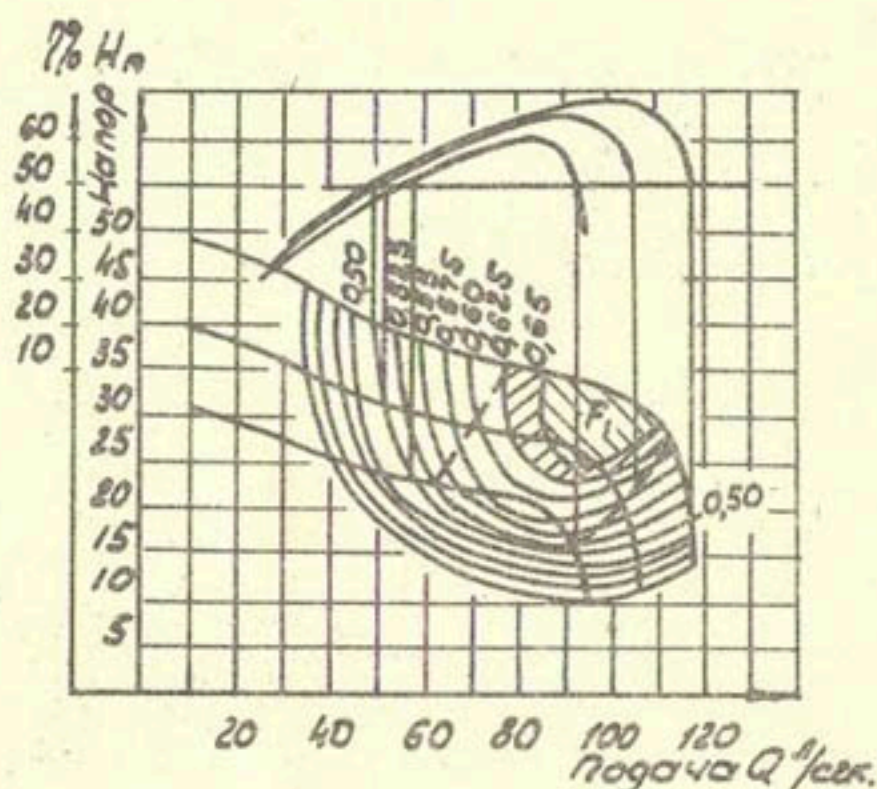


Рис.2. Универсальная характеристика насоса при подрезке рабочего колеса (с учетом снижения гидравлических качеств насоса).

При принятом минимальном коэффициенте полезного действия  $\eta = 0,65$  поле  $Q - H$  занимает площадь  $F_1$ ; при  $\eta = 0,625$  - всю заштрихованную площадь (рис.2). Пунктиром ориентировочно показана площадь  $Q - H$  без учета снижения к.п.д. насоса при подрезке.

При регулировании подачи насосов с помощью изменения числа оборотов поле  $Q - H$ , перекрываемое одним типоразмером, аналогично полю, полученному при подрезке рабочих колес, так как напор и расход насоса при изменении числа оборотов определяются по формулам

$$Q_1 = Q \cdot \frac{n_1}{n}; \quad H_1 = H \left( \frac{n_1}{n} \right)^2. \quad (3)$$

Изменением к.п.д. насосов при регулировании их подачи изменением числа оборотов обычно пренебрегают из-за его незначительности.



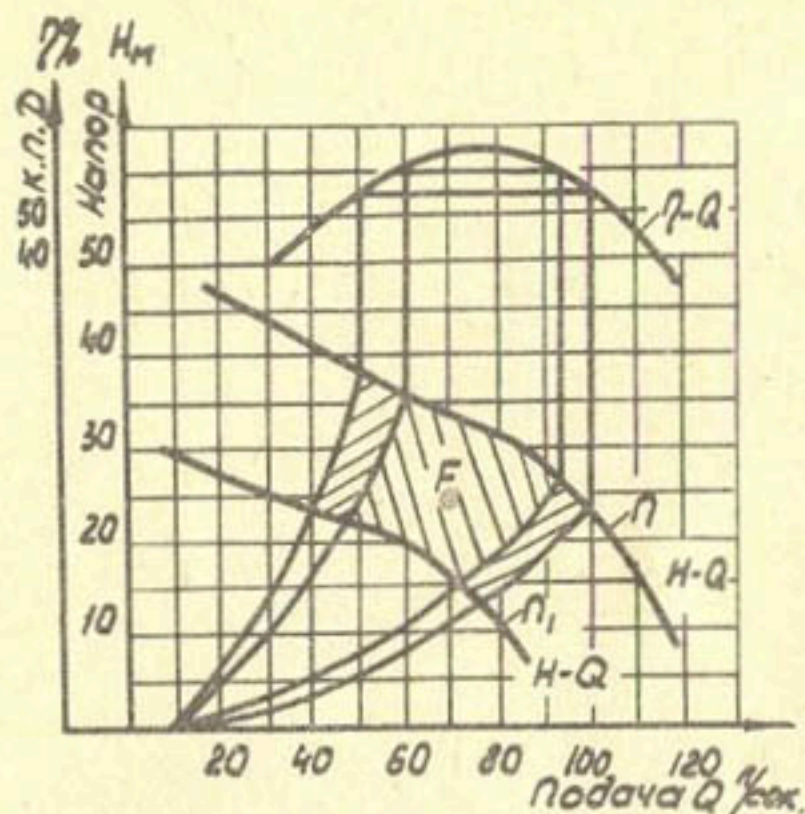


Рис.3. Регулирование подачи насоса изменением числа оборотов.

Заштрихованная площадь (рис.3) представляет собой поле  $Q - H$  при коэффициенте полезного действия  $\eta = 0,55$ ; площадь, обозначенная  $F$ , — поле  $Q - H$  при к.п.д.  $\eta = 0,6$ .

Данных об изменении поля  $Q - H$  погружных насосов при регулировании их подачи с помощью впуска воздуха во всасывающую трубу в литературных источниках обнаружить не удалось.

Поле  $Q - H$  (рис.4) построено из предположения, что к.п.д. насоса при перекачке воздушно-водяной эмульсии остается таким же, как и при перекачке воды.

Каждый из перечисленных выше способов регулирования подачи насосов обладает преимуществами и недостатками и в определенных условиях может оказаться оптимальным. Дросселирование не требует дополнительных капитальных затрат, наиболее надежно, позволяет оперативно производить регу-



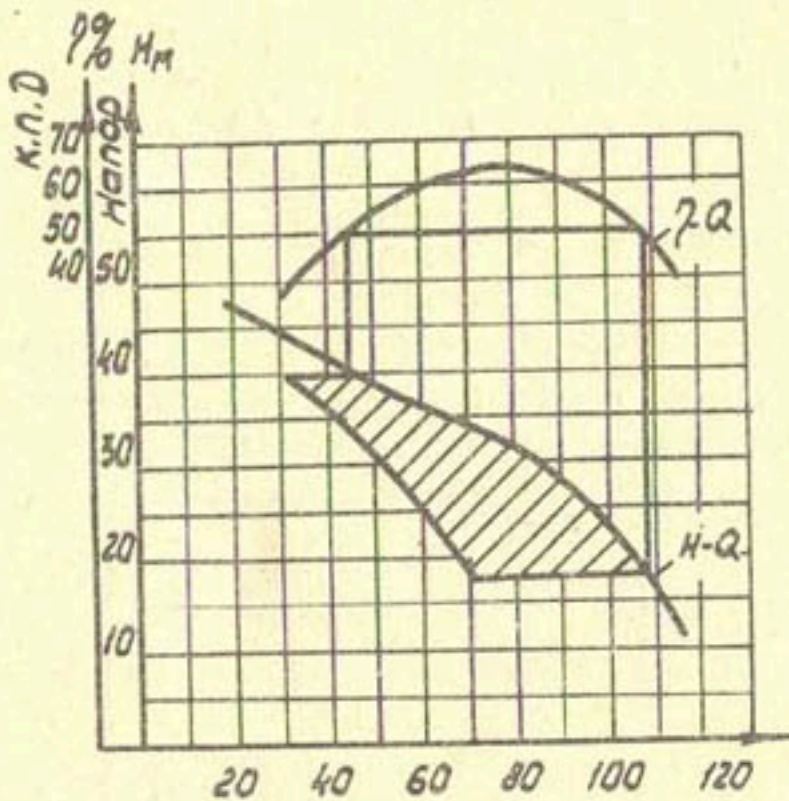


Рис. 4. Регулирование подачи насоса впуском воздуха.

лирование на всем диапазоне производительностей в течение всего периода эксплуатации насосов, причем, процесс регулирования легко автоматизируется.

Единственный недостаток этого способа — снижение к.п.д. установки и, как будет показано ниже, при заданном минимальном (или среднеэксплуатационном) коэффициенте полезного действия для перекрытия поля  $Q - H$  (в котором работают насосы вертикального дренажа) требуется максимальное число типоразмеров насосов, т.е. поле  $Q - H$ , перекрываемое одним насосом, является наименьшим по сравнению с другими способами регулирования.

Зависимость площади  $Q - H$ , перекрываемой данным насосом, от заданного минимального и среднеэксплуатационного (при равномерном распределении параметров насосов по этой площади) к.п.д. может быть определена следующим образом.



На поле  $Q - H$  строятся линии равных к.п.д. при дросселировании (см. рис. 1). Затем, при минимальных к.п.д., соответствующих величине к.п.д. упомянутых линий, определяется для каждого значения площадь, заключенная между характеристикой насоса  $Q - H$  и линией, обозначающей рабочие режимы насоса при различных значениях к.п.д., принимаемых за минимальные.

Для получения среднеэксплуатационного к.п.д. необходимо определить площадь, заключенную между характеристикой  $Q - H$  и смежными линиями равных к.п.д. (рис. 1) площади  $F_1$ ,  $F_2$ ,  $F_3$  и т.д., умножить площади на средние значения к.п.д., между которыми они располагаются, затем сумму произведений площади на средний к.п.д. разделить на общую площадь поля  $Q - H$ , на котором определяется средневзвешенный к.п.д.:

$$\eta_{\text{ср. экс.}} \approx \frac{\left(\frac{\eta_{\text{max}} + \eta}{2}\right)F_1 + \left(\frac{\eta_1 + \eta_2}{2}\right)F_2 + \dots + \left(\frac{\eta_{n-1} + \eta_n}{2}\right)F_n}{F_1 + F_2 + \dots + F_n} \quad (4)$$

Чем меньше интервалы между  $\eta_{n-1} - \eta_n$ , тем точнее значение  $\eta_{\text{ср. экс.}}$ .

Так как выразить аналитически в достаточно простых зависимостях характеристики насосов невозможно, то  $\eta_{\text{ср. экс.}}$  может быть определен аналитически лишь при аппроксимации этих характеристик, что не дает возможности получить достаточно точного решения.

Площади  $Q - H$ , перекрываемые характеристиками ЭЦВ12-255-30 и ЭЦВ12-375-30, при регулировании их производительности дросселированием при различных значениях минимального к.п.д. представлены на рис. 5 (а, б).

О зависимости среднеэксплуатационного к.п.д. от принятого минимального коэффициента полезного действия, минимально допустимого для насоса ЭЦВ12-255-30, можно судить по рис. 6.

Подрезка рабочих колес позволяет увеличить площадь  $Q - H$ , перекрываемую одним типоразмером электропогружного насоса при заданном минимальном к.п.д., и эксплуатировать



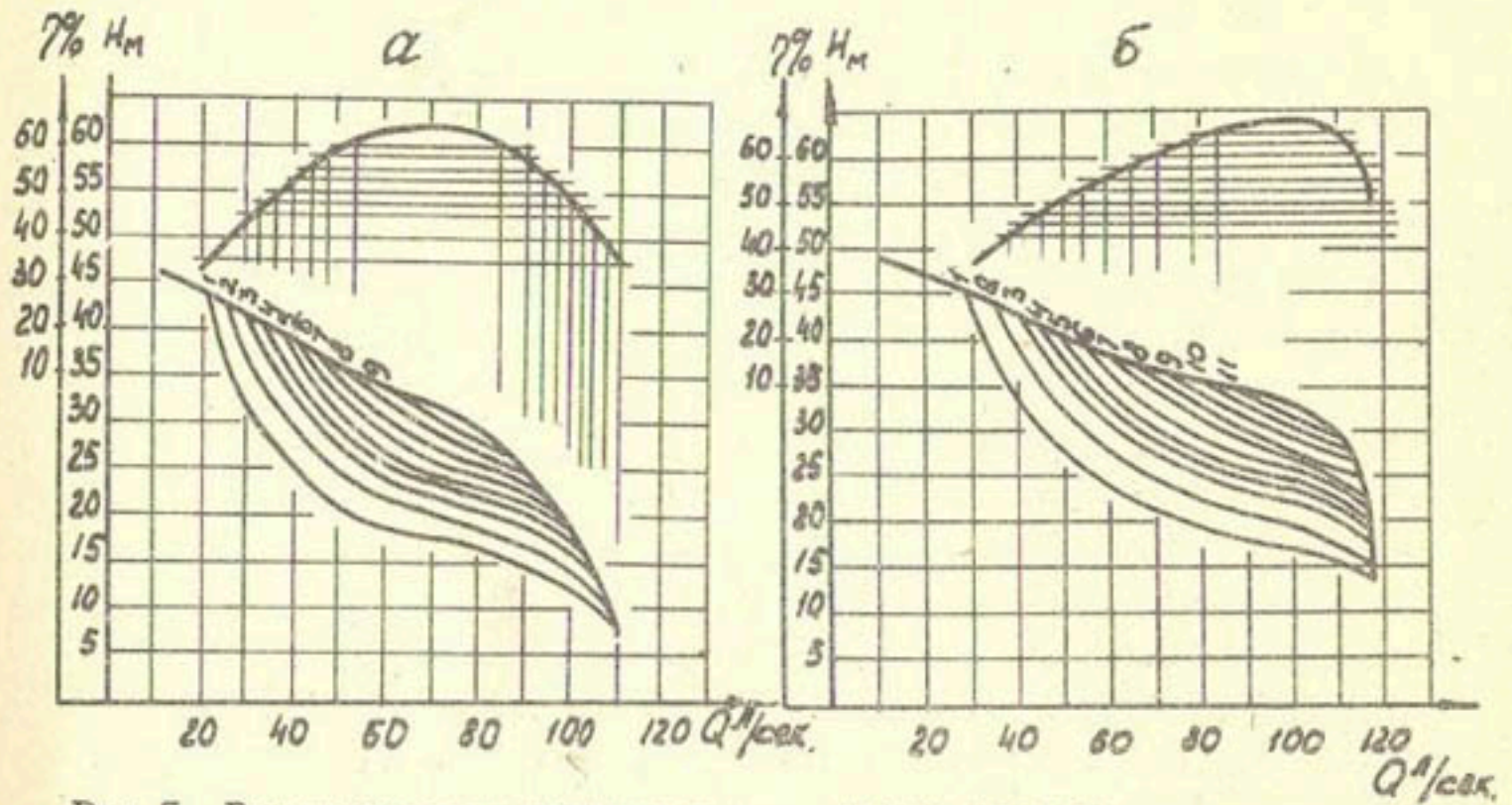


Рис. 5. Регулирование подачи насоса ЭЦВ12-255-30 дросселированием при значениях минимального к.п.д., равных а: 1-0,35; 2-0,40; 3-0,450; 4-0,475; 5-0,50; 6-0,525; 7-0,55; 8-0,575; 9-0,60 и б: 1-0,35; 2-0,40; 3-0,45; 4-0,475; 5-0,50; 6-0,525; 7-0,55; 8-0,575; 9-0,60; 10-0,625; 11-0,65.

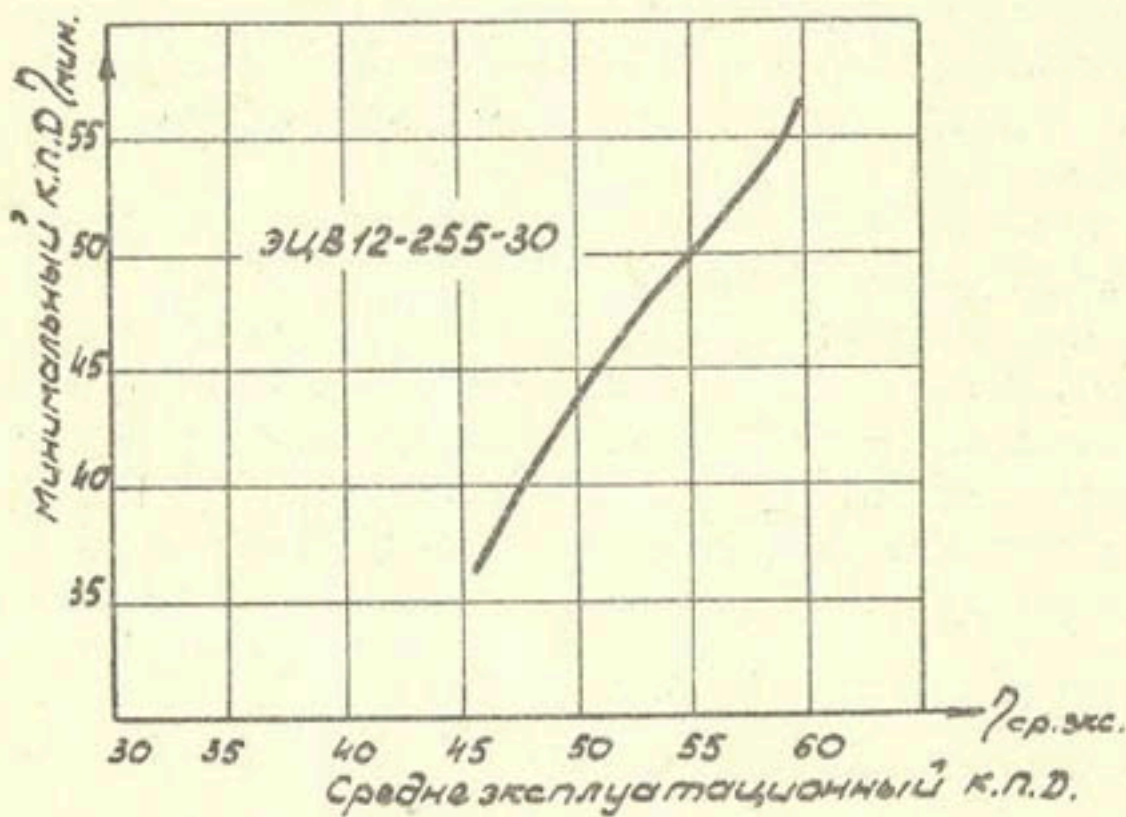


Рис. 6. Зависимость среднеэксплуатационного к.п.д. от принятого минимального к.п.д. насоса ЭЦВ12-255-30 при дросселировании,



насосы при более высоких к.п.д. или при заданном минимальном или среднеэксплуатационном к.п.д. — сократить необходимое число типоразмеров. При подрезке сохраняется возможность регулирования дросселированием.

К недостаткам этого способа регулирования следует отнести необходимость дополнительной обточки рабочего колеса после определения параметров скважины и невозможность восстановления номинальных параметров насоса ( $Q$  и  $H$ ) без его разборки и замены колеса в случае изменения режима откачки или перестановки насоса на другую скважину.

При определении зависимости площади  $Q - H$ , перекрываемой данным насосом с подрезкой рабочих колес, от заданного минимального или средневзвешенного к.п.д. следует учесть, что при этом снижается к.п.д. насоса, а также его потребляемая мощность, уменьшается нагрузка электродвигателя, что влечет к снижению его к.п.д., а следовательно, всего агрегата в целом.

Ввиду того, что характер изменения к.п.д. центробежных насосов при подрезке рабочих колес различен при построении поля  $Q - H$  с заданным минимальным (или среднеэксплуатационным) к.п.д., необходимы характеристики насосов с подрезанными колесами. В случае отсутствия таковых могут быть использованы характеристики насосов аналогичной быстроходности. Однако при отсутствии геометрического подобия рабочих колес и выправляющих аппаратов возможны существенные отклонения.

Поля  $Q - H$  с различными к.п.д. агрегата могут быть построены следующим образом.

По универсальной характеристике насоса (рис. 7) выписываются значения к.п.д. при определенных расходах (удобнее в точках пересечения кривых, равных к.п.д. с напорными характеристиками) для каждой напорной характеристики.

Для каждой точки вычисляется потребляемая насосом мощность по формуле

$$N = \frac{QH}{\eta} \quad (5)$$

Для каждой точки по характеристике электродвигателя



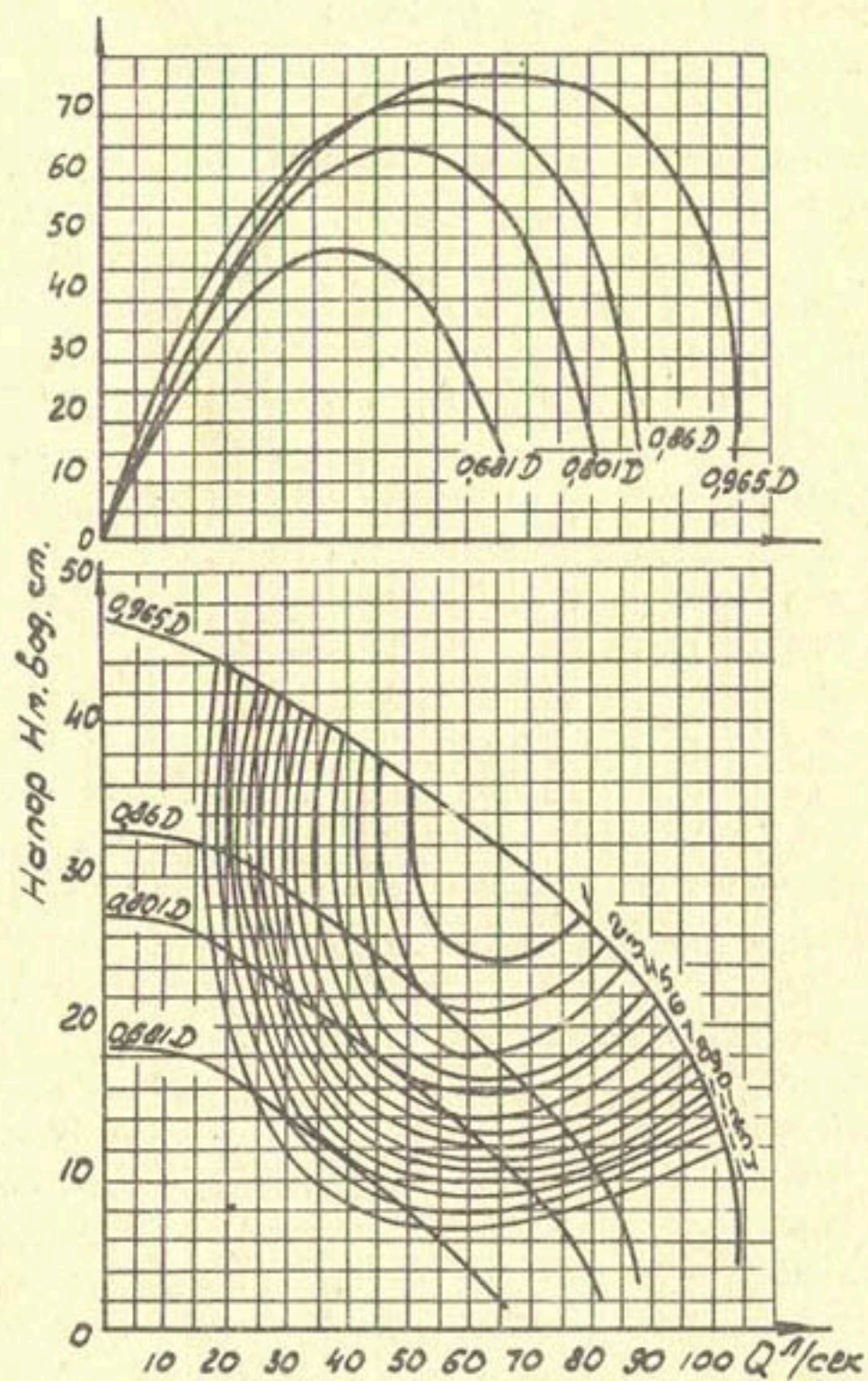


Рис. 7. Универсальная характеристика насоса  
 ЭЦВ12-255-30М № 187: к.п.д. = 0,75;  
 2-0,725; 3-0,70; 4-0,675; 5-0,65;  
 6-0,625; 7-0,60; 8-0,575; 9-0,55;  
 10-0,525; 11-0,50; 12-0,475; 13-0,45  
 и к.п.д. 14 = 0,40.



$\eta_{э.дв.} = f(P)$  в соответствии с потребляемой насосом мощностью определяется к.п.д. электродвигателя. Произведение к.п.д. насоса и электродвигателя представляет собой к.п.д. агрегата для каждой расчетной точки.

Расчеты удобнее производить в табличной форме для каждого диаметра колеса.

По данным расчета строятся зависимости  $\eta_{агр.} = f(Q)$  для каждого диаметра колеса (рис.8). Кривые зависимости пересекаются прямыми  $\eta_{агр.1}; \eta_{агр.2}; \dots \eta_{агр.n}$  (например,  $\eta_{агр.} = 0,475$ ) и точки пересечения переносятся на соответствующие напорные характеристики. Точки, имеющие равные к.п.д., соединяются плавными линиями.

Для проверки возможности пересчета характеристик погружных насосов с подрезанными колесами нами предпринята попытка построить универсальную характеристику насоса по его рабочей характеристике. При этом были использованы универсальные характеристики центробежных насосов<sup>х)</sup> с коэффициентом быстроходности  $n_s = 220$ , практически совпадающим с  $n_s$  насоса ЭЦВ12-255-30.

При построении универсальной характеристики насоса ЭЦВ12-255-30М относительное изменение к.п.д. при подрезке рабочего колеса было принято таким же, как у 36В-22. Такая характеристика ЭЦВ12-265-30М по форме несколько отличалась от действительной универсальной характеристики этого же насоса, полученной в результате стендовых испытаний в лаборатории. Однако соотношение площади поля  $Q - H$ , перекрываемого действительной универсальной характеристикой, полученной пересчетом при различных значениях среднеэксплуатационного к.п.д., практически полностью совпало (рис.9). По имеющимся данным, электропогружные насосы, работающие на скважинах вертикального дренажа, имеют подачу от 10 до 160 л/сек и напоры от 10 до 50 м.

Поле  $Q - H$ , ограниченное этими параметрами, в дальнейшем будет называться полем  $Q - H$ , заданным для определения на нем оптимального числа типоразмеров, или просто заданным полем  $Q - H$ .

<sup>х)</sup> Насосы осевые О, ОП и центробежные вертикальные типа В. ЦНТИХимнефтемаш, М., 1970.



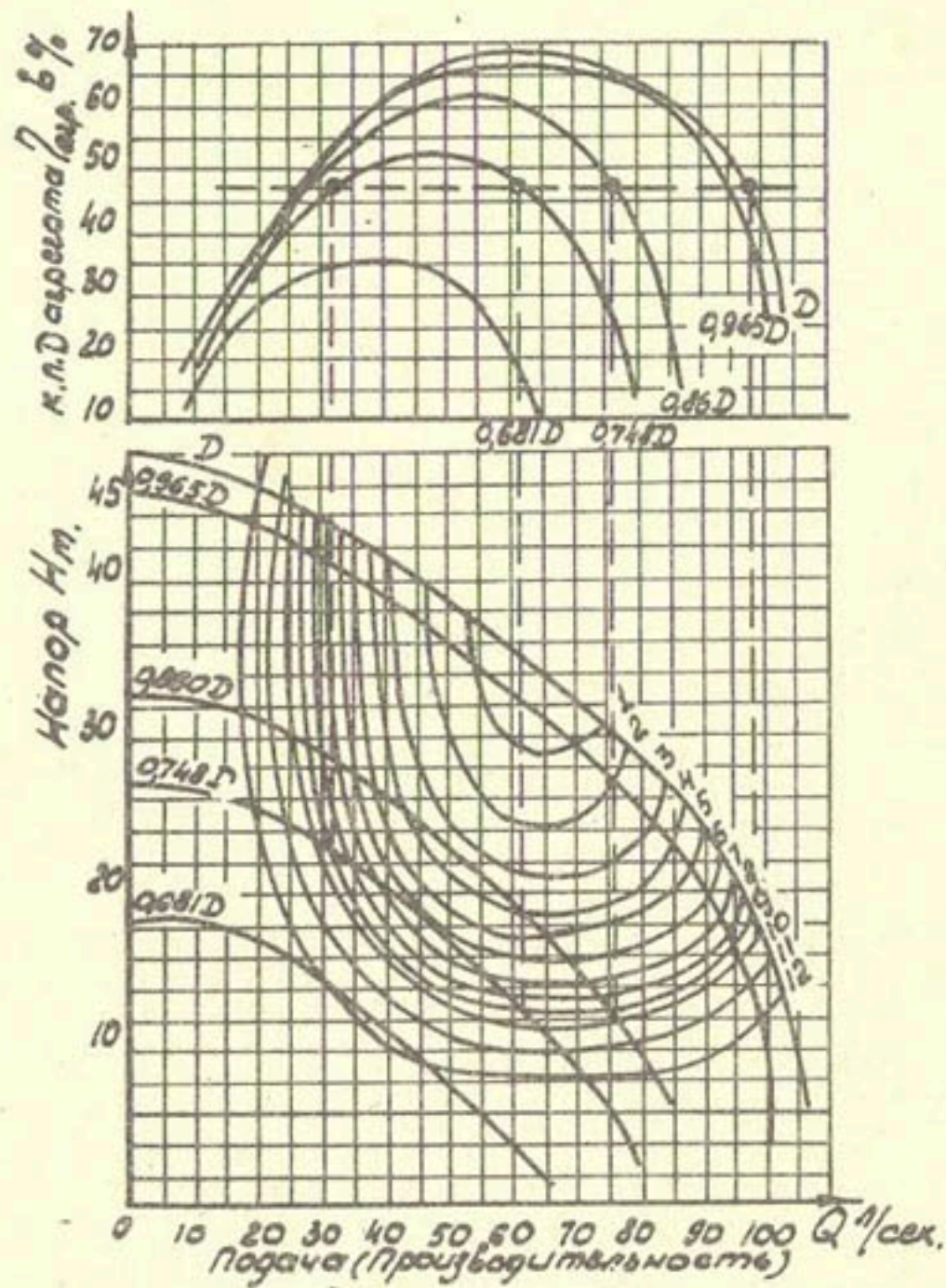


Рис. 8. Универсальная характеристика насоса  
 ЭЦВ12-30 М № 187, эл. двигатель  
 № 2347: к.п.д. 1 - 0,665; 2 - 0,65;  
 3 - 0,625; 4 - 0,60; 5 - 0,575; 6 - 0,55;  
 7 - 0,525; 8 - 0,50; 9 - 0,475; 10 - 0,45;  
 11 - 0,40 и к.п.д. 12 - 0,35.



Известно, что в логарифмических координатах  $Q - H$  площади, перекрываемые универсальными характеристиками насосов, вне зависимости от их напоров и расходов могут быть приняты одинаковыми (разница незначительна и для удобства расчета ею можно пренебречь).

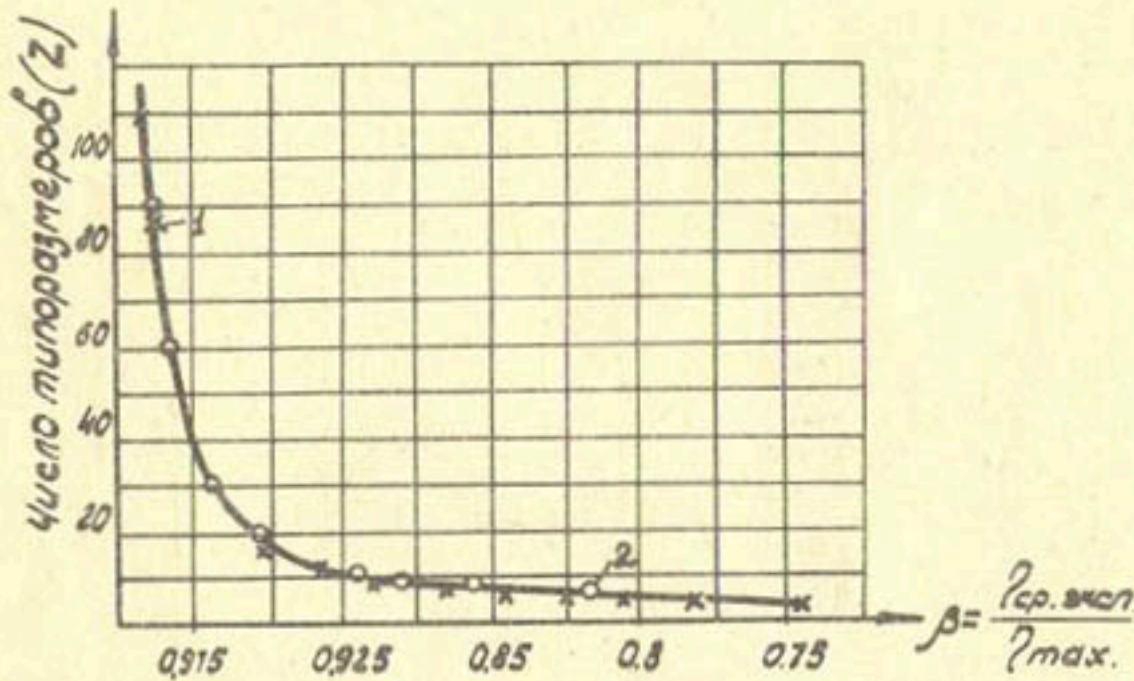


Рис. 9. Зависимость числа типоразмеров от отношения среднеэксплуатационного к.п.д. к максимальному:

- 1 — экспериментальные данные;
- 2 — расчетные.

На рис. 10 представлена в логарифмических координатах универсальная характеристика насоса ЭЦВ12-255-30; пунктиром нанесено поле  $Q - H$  насоса ЭЦВ12-375-30 при одинаковых соотношениях минимально допустимого и максимального к.п.д. насоса. Из рисунка видно, что площади, перекрываемые универсальными характеристиками, практически совпадают.

Для дальнейших расчетов мы сделаем допущение, что универсальные характеристики в логарифмических координатах



тах у всех электропогружных насосов вертикального дренажа одинаковы при одинаковых отношениях минимально допустимого и максимального к.п.д. насосов и совпадают с аналогичной характеристикой насоса ЭЦВ12-255-30.

С целью выявления зависимости числа типоразмеров от величины минимально допустимого к.п.д. агрегата необходимо заданное поле  $Q - H$  в логарифмических координатах перекрыть полями  $Q - H$ , занимаемыми универсальными характеристиками насосных агрегатов при различных значениях минимально допустимого к.п.д.

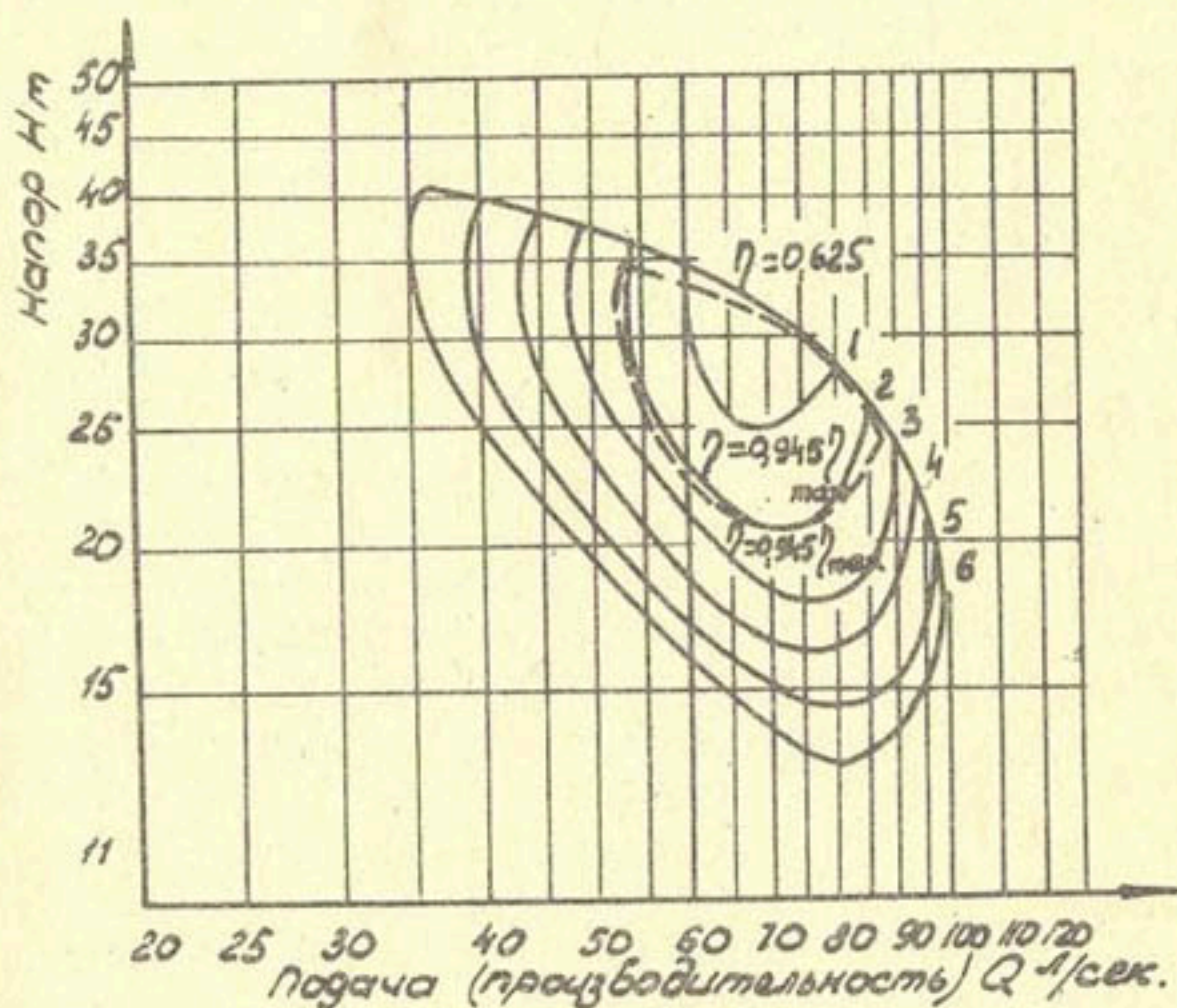


Рис. 10. Универсальная характеристика насоса ЭЦВ12-255-30 в логарифмических координатах: 1 -  $\eta = 0,625$ ; 2 - 0,60; 3 - 0,575; 4 - 0,55; 5 - 0,525; 6 - 0,50.



Определив количество типоразмеров ( $Z$ ), необходимое для перекрытия заданного поля  $Q-H$  при различных значениях минимально допустимого к.п.д. (рис. 11), и зная зависимость среднеэксплуатационного к.п.д. от минимально допустимого (рис. 6), можно построить для заданного поля  $Q-H$  зависимость числа типоразмеров от среднеэксплуатационного к.п.д.

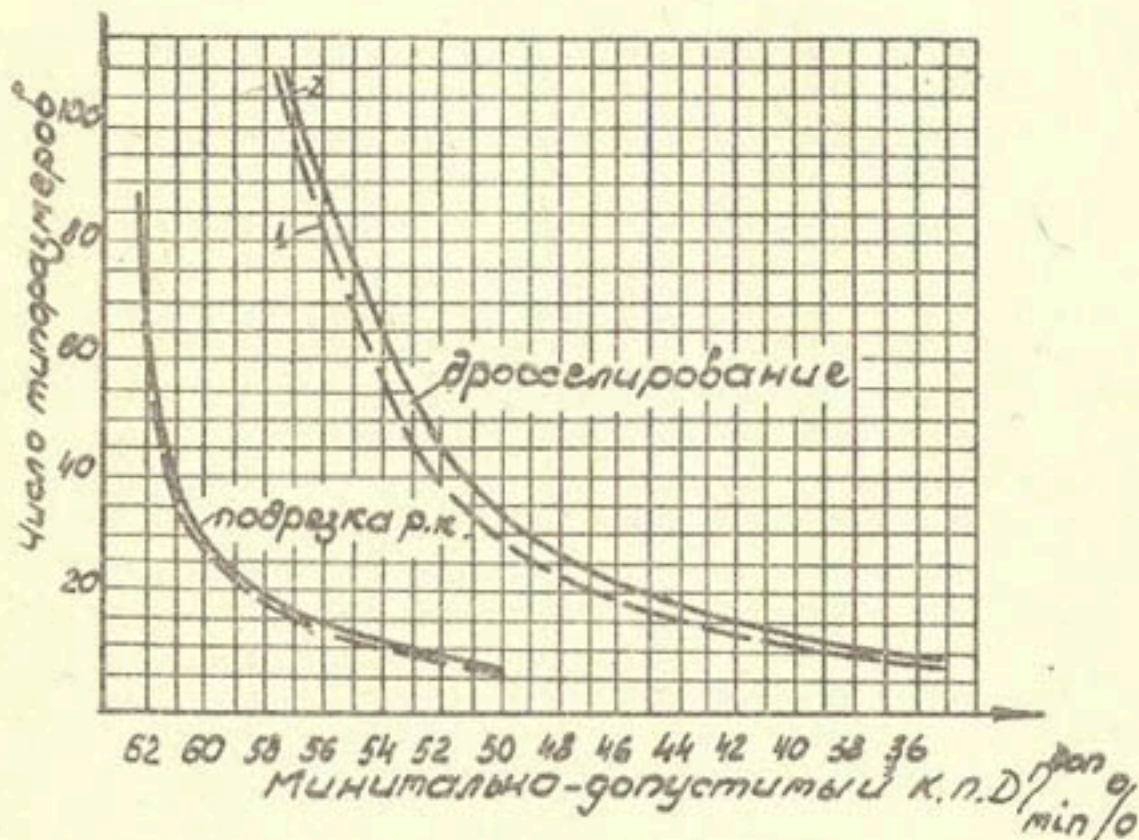


Рис. 11. Зависимость числа типоразмеров от минимально-допустимого к.п.д.: 1 – расчетный способ, 2 – способ наложения.

Кривая (рис. 12) соответствует случаю регулирования производительности при помощи подрезки рабочих колес; кривая 2 – дросселирования. Пунктиром показаны зависимости, полученные путем деления площади  $Q-H$ , в логарифмических координатах перекрываемой насосами вертикального дренажа, на площадь, перекрываемую характеристикой одного насоса



при различных ограничениях по среднеэксплуатационному

$\eta_{\text{ср. экс.}}$  к.п.д.  
 На ось абсцисс нанесены также значения  $\Delta\eta = \eta_{\text{max}} - \eta_{\text{ср. экс.}}$   
 и  $\beta = \frac{\eta_{\text{ср. экс.}}}{\eta_{\text{max}}}$ , необходимые для дальнейших расчетов.

Сплошные и пунктирные кривые мало отличаются друг от друга (2-5%), и для ориентировочных расчетов вполне допустимы пунктирные кривые (особенно при регулировании с помощью подрезки), так как построение их значительно проще.

Ввиду того, что максимальные к.п.д. электронасосов изменяются в зависимости от их мощности, при дальнейших расчетах оптимального числа типоразмеров удобнее пользоваться не абсолютными значениями к.п.д. насосов при различных режимах их работы, а коэффициентом ( $\beta$ ) отклонения среднеэксплуатационного к.п.д. от максимального значения к.п.д., т.е.  $\beta = \frac{\eta_{\text{ср. экс.}}}{\eta_{\text{max}}}$  и величиной отклонения среднеэксплуатационного к.п.д. от максимального —  $\Delta\eta = \eta_{\text{max}} - \eta_{\text{ср. экс.}}$  (рис. 12).

С целью упрощения расчетов по определению оптимального числа типоразмеров насосов для вертикального дренажа можно сделать следующие допущения:

1. Закон изменения к.п.д. и напора насоса в зависимости от его подачи одинаков для всех типоразмеров. Поэтому поля  $Q-H$ , перекрываемые различными типоразмерами насосов, при заданном коэффициенте отклонения среднеэксплуатационного к.п.д. от оптимального ( $\beta$ ) в логарифмических координатах имеют одинаковую площадь. Это дает возможность выявить зависимость площади поля  $Q-H$ , перекрываемой одним насосом, от коэффициента " $\beta$ " (или осреднить эти зависимости по характеристикам нескольких насосов) и распространить ее на все типоразмеры заданного поля  $Q-H$ ;

2. Оптимальное число типоразмеров, полученное при перекрытии заданного поля  $Q-H$  полями  $Q-H$  насосов, при условии равного коэффициента отклонения среднеэксплуатационного к.п.д. от максимального, весьма мало отличается от действительного оптимального числа типоразмеров, и этой разницей можно пренебречь (при равномерном распределении параметров скважин по заданному полю  $Q-H$ );



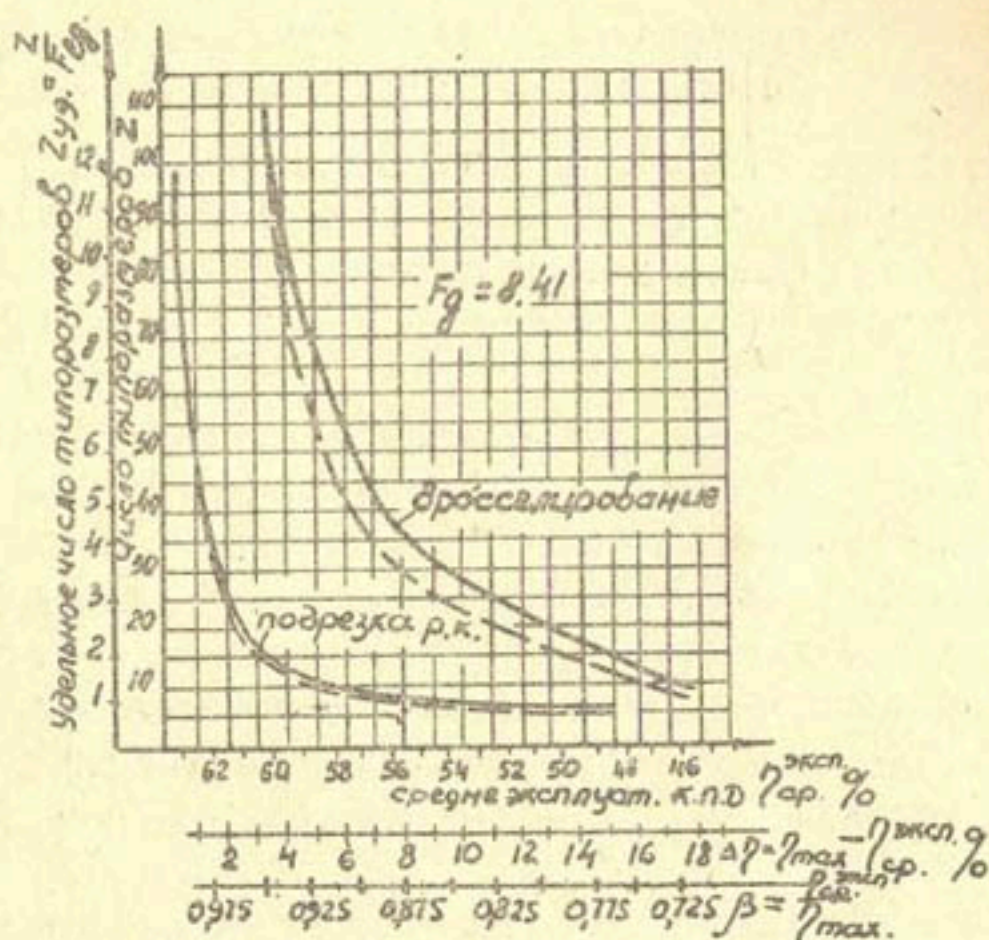


Рис. 12. Зависимость  $Z = f(\eta_{\text{ср. экс.}})$ , полученная путем перекрытия заданного поля  $Q - H$  полями насосного агрегата ЭЦВ12-255-30 при различных значениях  $\eta_{\text{ср. экс.}}$ .

3. Оптимальное число типоразмеров на стоимость строительства скважин не влияет. Это допущение приемлемо при наличии освоенных типоразмеров для всех существующих диаметров скважин. При введении нового типоразмера, позволяющего уменьшить диаметр скважины или требующего его увеличения, необходимо учитывать изменение расчетных затрат в связи с изменением капитальных вложений при строительстве скважины.

Принятие изложенных выше упрощений позволяет определять оптимальное число типоразмеров для заданного поля  $Q - H$  по следующей схеме.

I. Для различных значений коэффициента отклонения " $\beta$ " (например,  $\beta_1 = 0,95$ ,  $\beta_2 = 0,9$ ,  $\beta_3 = 0,85$  и т.д.) устанавли-



ваются соответствующие площади  $Q - H$ , перекрываемые полем насоса в логарифмических координатах.

II. Наложение полей  $Q - H$  насосов на заданное поле  $Q - H$  позволит выявить необходимое количество типоразмеров при различных значениях коэффициента " $\beta$ ". По полученным данным определяется зависимость  $Z = f(\beta)$ .

III. Определяются расчетные затраты для каждого значения " $\beta$ ":

$$\Sigma PZ = E \Sigma K + \Sigma \Delta = E (\alpha \cdot \gamma \cdot K_{н.ср.} \cdot n - Z \times K_{ос}) + \frac{N_{ср.} \cdot T \cdot \Delta}{\beta \cdot \eta_{max}} + \varphi \cdot \alpha \cdot \gamma \cdot K_{нас.} \cdot n, \quad (6)$$

где

$E$  - коэффициент экономической эффективности капитальных вложений;

$K_{н.ср.}$  - средняя себестоимость насоса;

$\alpha$  - коэффициент, учитывающий влияние серийности производства на себестоимость насоса;

$\gamma$  - коэффициент, учитывающий снижение стоимости насосов при увеличении типоразмеров за счет снижения металлоемкости;

$K_{ос.}$  - затраты на освоение I типоразмера насоса;

$n$  - число насосов, находящихся в эксплуатации (число действующих скважин);

$N_{ср.}$  - среднеэксплуатационная мощность насосов;

$T$  - число часов работы насоса в году;

$\Delta$  - себестоимость одного кВт/часа;

$\beta \cdot \eta_{max} = \eta_{ср.экс.}$  - среднеэксплуатационный к.п.д. насосов на заданном поле  $Q - H$ ;

$\varphi$  - доля амортизационных отчислений;



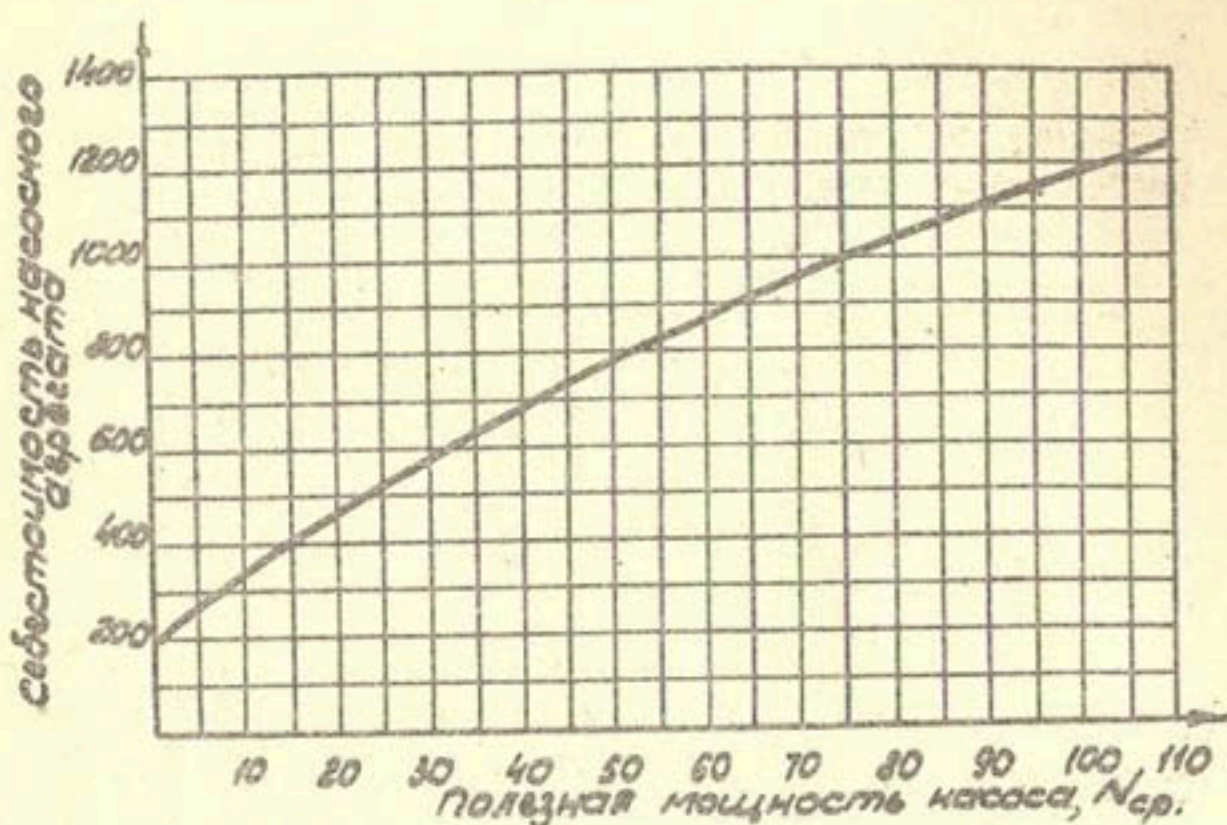


Рис. 13. Зависимость стоимости насоса от потребляемой мощности.

Ввиду того, что стоимость электропогружных насосов определяется в основном их мощностью (рис. 13),  $K_{н.ср.}$  насоса может быть вычислена следующим образом:

1. Заданное поле  $Q - H$  разбивается на элементарные площадки линиями  $N_n = const$  для значений  $N = N_1, N_2, \dots, N_n$ ;

2. Определяются площади, заключенные между линиями

$$N_{const}, F_1, F_2, \dots, F_n;$$

3. Для каждой элементарной площадки определяется

$$N_{ср.} = \frac{N_i - N_{i-1}}{2};$$

4. С помощью зависимости  $K_{нас.} = f(N_{ср.})$  (рис. 13) по  $N_{ср.}$  вычисляют стоимость насоса;



5.  $K_{н.ср.}$  насоса определяется по формуле

$$K_{н.ср.} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} K_{нi} \cdot F_i}{F}, \quad (7)$$

где  $K_{нi}$  — стоимость насоса при мощности  $N_i$ ;  
 $F_i$  — площадь элементарной площадки, заключенной между линиями равных мощностей  $N_i$  и  $N_{i-1}$ ;  
 $F$  — общая площадь заданного поля  $Q - H$ .

Среднеэксплуатационная полезная мощность насосов на заданном поле  $Q - H$  в логарифмических координатах представляет собой равенство

$$N_{ср. экс.} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} N_i \cdot F_i}{F}, \quad (8)$$

где  $i$  — число элементарных площадок, на которые разбивается заданное поле  $Q - H$ ;  
 $F_i$  — площадь элементарной площадки в логарифмических координатах  $Q - H$ ;  
 $N_i$  — средняя мощность насоса в данной элементарной площадке;  
 $F$  — общая площадь заданного поля  $Q - H$  в логарифмических координатах.

Средний максимальный коэффициент полезного действия электропогружных насосов для заданного поля  $Q - H$  в основном зависит от их производительности (рис. 14) и может быть определен следующим образом:

1. Поле  $Q - H$  разбивается на элементарные площадки линиями  $Q = const$  при различных значениях  $Q = Q_1, Q_2 \dots Q_n$ ;

2. Для каждой элементарной площадки устанавливается

$$Q_{ср} = \frac{Q_i + Q_{i-1}}{2};$$



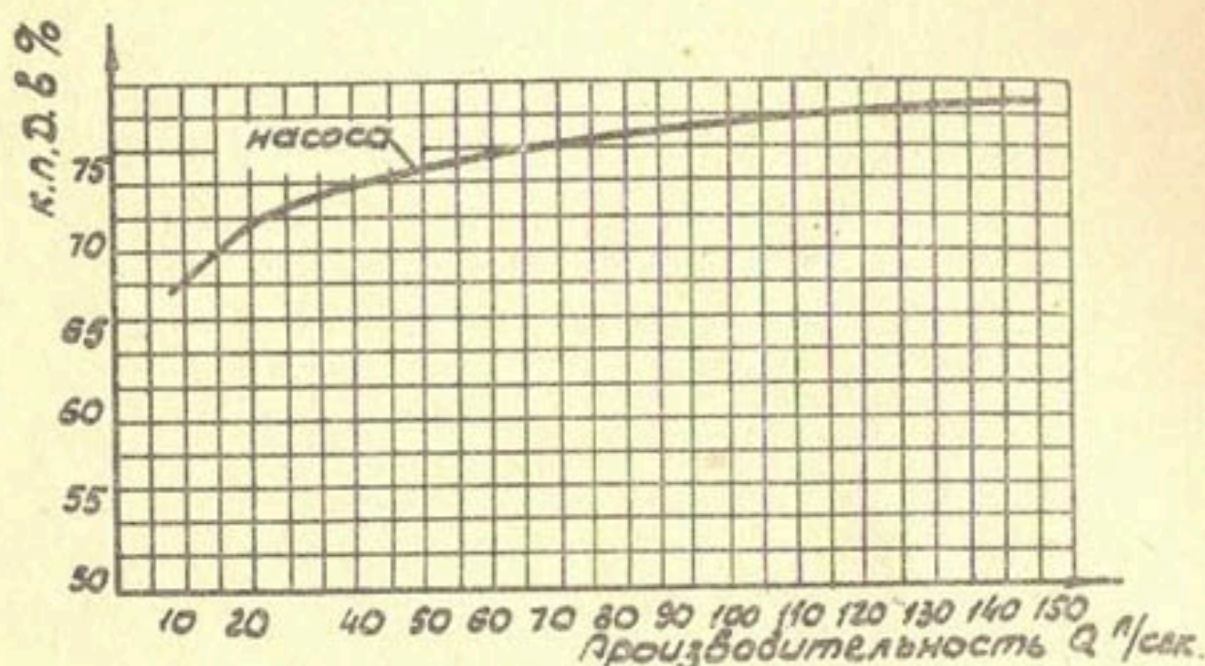


Рис. I4. Зависимость к.п.д. погружных насосов от подачи.

3. Рассчитывается площадь, заключенная между смежными линиями  $Q = \text{const}, F_1, F_2 \dots F_n$ ;

4. С помощью зависимости  $\eta_{\text{max}} = f(Q)$  (рис. I4) определяют максимальный к.п.д. насоса для данной площадки;

5. Средний максимальный к.п.д. насосов на заданном поле  $Q$ - $H$  вычисляют по формуле

$$\eta_{\text{ср. max.}} = \frac{\sum_{i=1}^n \eta_{\text{max. } i} \cdot F_i}{F}, \quad (10)$$

где  $F_i$  - площадь элементарной площадки между смежными значениями  $Q$ ;

$\eta_{\text{max. } i}$  - максимальный к.п.д. насоса при  $Q_i$

$$\eta_{\text{ср.}} = \frac{Q_i - Q_{i-1}}{2}.$$

IV. Определяется оптимальное число типоразмеров насосов для заданного поля  $Q$ - $H$  при различной потребности в них ( $Z$  опт.) путем отыскания такого числа типоразмеров ( $Z$ ), при котором расчетные затраты ( $C$ ) будут минимальными. Минимум расчетных затрат можно определить графоаналитическим или аналитическим способами.



При графоаналитическом способе в формулу (6) при различной потребности в насосах ( $n$  — число скважин) последовательно подставляются различные значения " $Z$ ", например,  $Z = 2, 3, 5, 10, 15$  и т.д.. Полученные значения расчетных затрат для каждого значения " $Z$ " наносятся на график; строятся кривые зависимости  $\Sigma P_3 = f(Z)$  при  $n = const$ , и по этим кривым определяется значение " $Z$ ", соответствующее минимуму расчетных затрат.

При аналитическом способе определения минимума расчетных затрат для упрощения расчетов необходимо из формулы (6) исключить вторую переменную величину  $\rho_{cp}$ , находящуюся в функциональной зависимости от  $Z$  (см. рис. 12). Для этого нужно  $\rho_{cp}$  выразить через  $Z$ .

Минимум полученного выражения расчетных затрат с одним переменным (2) находится общепринятым способом. Берется первая производная выражения и приравнивается нулю. Из полученного уравнения определяется значение " $Z$ ", при котором сумма расчетных затрат будет наименьшей. Очевидно, что полученное значение  $Z$  и есть оптимальное число типоразмеров.

При заданной потребности в насосах ( $n$ ) с увеличением числа типоразмеров средняя стоимость их должна возрастать ввиду уменьшения количества (серийности) изготавливаемых насосов каждого типоразмера; с другой стороны, она должна уменьшаться ввиду снижения средней мощности насосов, а следовательно, и их стоимости.

Если на заданном поле 0-Н используется один типоразмер, то мощность всех насосов должна равняться наибольшей мощности насоса для заданного поля, а значит и стоимость каждого насоса будет максимальной. При увеличении числа типоразмеров средняя стоимость насосов должна уменьшаться.

Таким образом, первое и четвертое слагаемые выражения (6) имеют два коэффициента ( $\alpha$  и  $\gamma$ ), один из которых с увеличением числа типоразмеров среднюю стоимость насосов увеличивает, другой — уменьшает.

Коэффициент изменения стоимости насосов в зависимости от увеличения числа типоразмеров за счет снижения их метал-



лоскости может быть вычислен следующим образом. Заданное поле  $Q-H$  в логарифмических координатах разбивается на две равные части. Затем, по максимальной полезной мощности насоса ( $Q_{max} \cdot H_{max}$ ), необходимой для перекрытия каждой половины поля  $Q-H$ , по зависимости  $K_H = f(N_H)$  определяется их стоимость (рис.13), которая умножается на площадь этой половины в линейных координатах. После чего средняя стоимость насосов вычисляется по формуле

$$K_{H.c.p.} = \frac{K_1 \cdot F_1 + F_2 \cdot K_2}{F}, \quad (II)$$

где  $K_{H1}$  - стоимость насоса, характеристика которого перекрывает 1-ую половину заданного поля  $Q-H$ ;  
 $K_{H2}$  - стоимость насоса, характеристика поля которого перекрывает 2-ую половину заданного поля  $Q-H$ ;  
 $F_1, F_2$  - соответственно площади 1-й и 2-й половины заданного поля.

Затем поля  $Q-H$  делятся в логарифмических координатах на  $Z_2, Z_3 \dots Z_4$  и т.д. частей и для каждого значения определяются  $K_{H.c.p.}$ :

$$K_{H.c.p.} = \frac{\sum K_i \cdot F_i}{F}. \quad (I2)$$

Здесь  $F$  - площадь заданного поля  $Q-H$  в логарифмических координатах.

Полученные результаты наносятся на поле с координатами  $K_{H.c.p.}$  и  $Z$  и по полученным точкам строится зависимость  $K_{H.c.p.} = f(Z)$ .

Если принять за единицу среднюю стоимость ( $K_{H.c.p.}$ ) насоса при одном типоразмере ( $Z = 1$ ), то средняя стоимость насосов может быть выражена в долях от максимальной стоимости (рис.15). Каких-либо достоверных данных о коэффициенте, учитывающем увеличение стоимости насосов при снижении серийности их изготовления, нам получить не удалось.



Если предположить, что произведение коэффициентов ( $\alpha \cdot \gamma$ ) при каждой заданной потребности в насосах — величина постоянная, то нахождение минимума расчетных затрат аналитическим способом в значительной степени упрощается, так как ни первый ни четвертый член выражения ( $\sum \rho z$ ) в этом случае не будет влиять на точку минимума (ввиду отсутствия в их составе переменной величины  $z$ ).

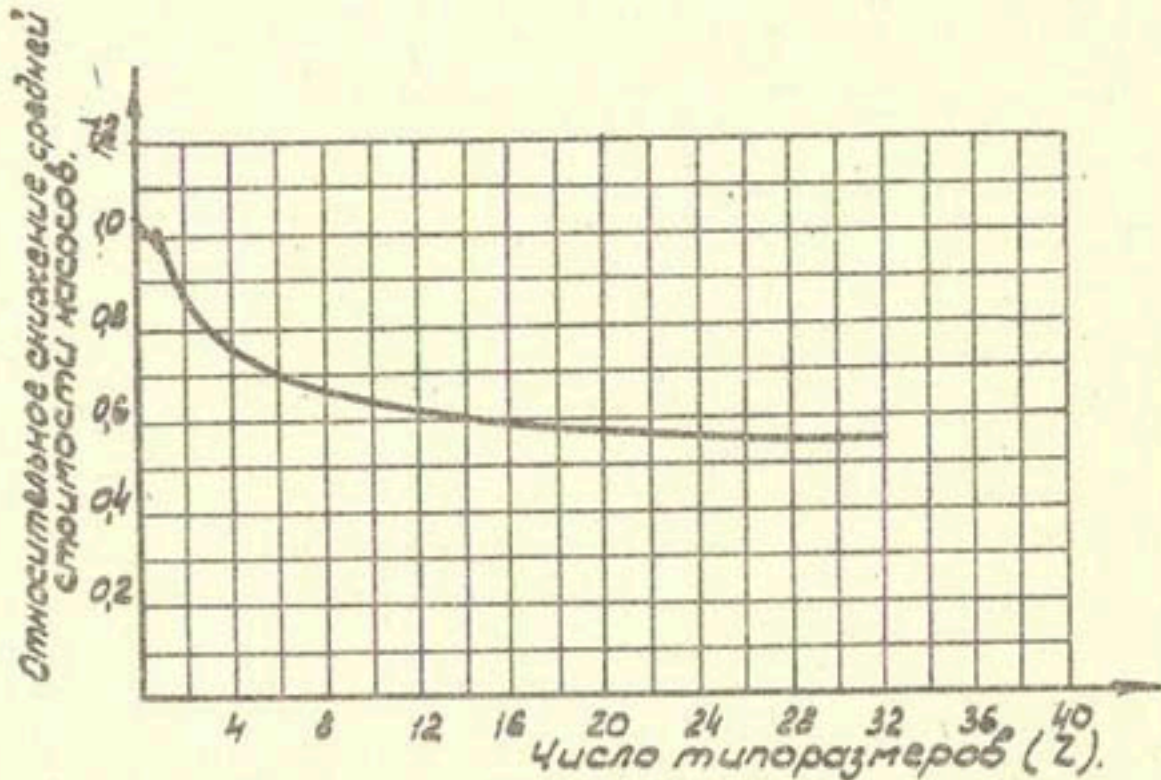


Рис. 15. Снижение средней стоимости насосов в зависимости от числа типоразмеров.

Если принять, что себестоимость насосов определялась при плане выпуска каждого типоразмера в количестве 1000 штук в год (при этом  $\alpha = 1$ ), то может быть построена зависимость  $\alpha = f(\frac{n}{z})$ , при которой произведение  $\alpha \cdot \gamma$  (при любой заданной потребности в насосах, но различном числе типоразмеров) будет величиной постоянной (рис. 16).

Характер полученной кривой, выражающей в долях зависимость стоимости насоса от количества изготавливаемых насосов данного типоразмера, достаточно хорошо совпадает с характером аналогичных зависимостей для других отраслей машиностроения. Поэтому предположение о том, что произведение коэффициентов  $\alpha \cdot \gamma$  есть величина, близкая к постоянной, имеет определенные основания.



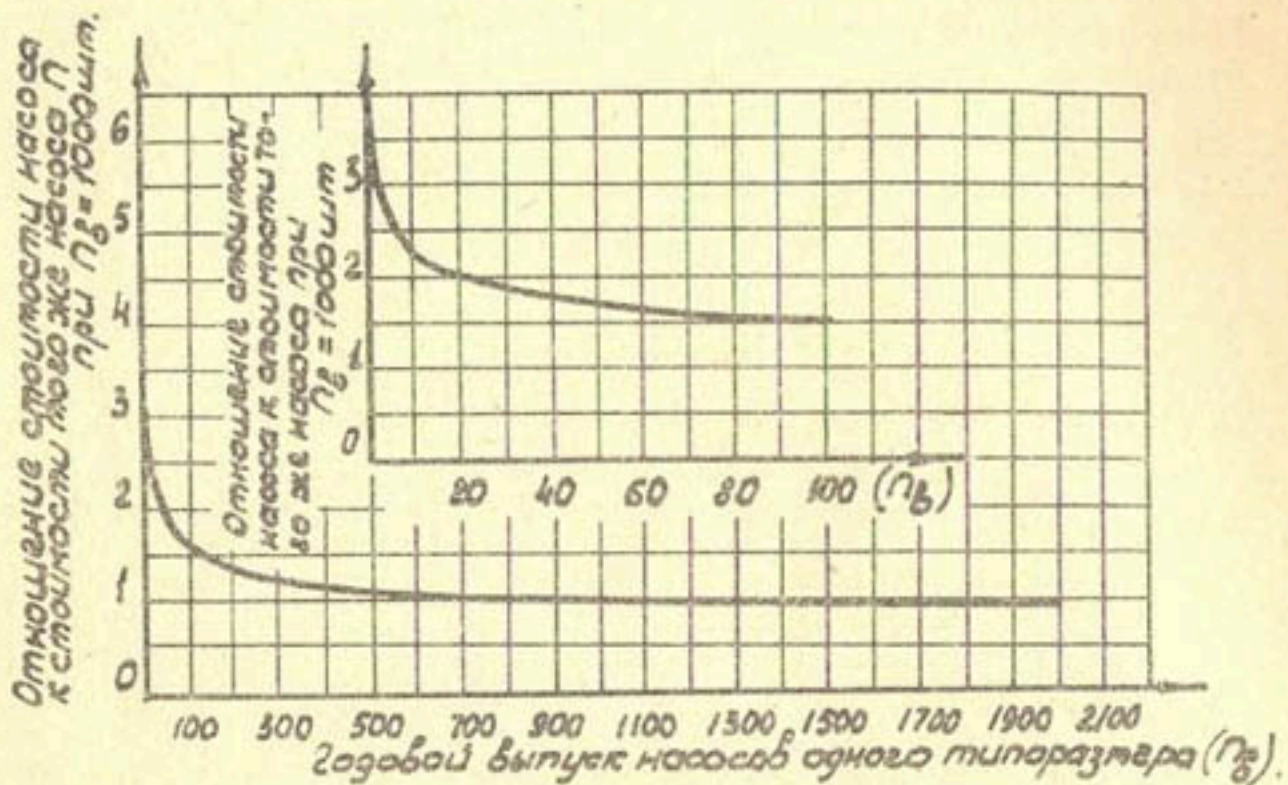


Рис. 16. Зависимость в долях стоимости насоса от количества изготавливаемых насосов данного типоразмера.

В пределах заданного поля  $Q - H$  ( $Q = 10 \div 160$  л/сек;  $H = 10 \div 50$  м) были проведены расчеты по определению оптимального числа типоразмеров насосов для вертикального дренажа при различных потребностях в них.

Расчеты по определению аналитическим способом оптимального числа типоразмеров были проведены в трех вариантах.

I-й вариант. Средняя стоимость освоения одного типоразмера (кап.вложения) была принята равной 100.000 рублей. Средняя (полезная) мощность насоса для заданного поля  $Q - H$  в логарифмических координатах составляет 13,5 квт; среднегодовое число работы агрегатов – 8000 часов; стоимость 1 квт/часа 0,01 руб. Средняя стоимость насоса и % амортизационных отчислений не определялись, так как при вычислении минимума аналитическим способом по условиям расчета ( $\alpha + \gamma = \text{const}$ ) на значения  $Z_{\text{опт}}$  они не влияют.

II-й вариант. Полезные мощности насосов приняты равными 2,5, 5, 10, 20, 30, 40, 50 и 60 квт. Значения остальных



величин приняты по первому варианту.

III-й вариант. Полезные мощности насосов были приняты равными 2,5, 5, 10, 20, 30, 40, 50 и 60 квт, и стоимость освоения, соответственно 25, 30, 35, 45, 60, 70, 80 и 90 тыс. рублей; остальные величины приняты такими же, что и в I варианте.

Расчеты по первому варианту производились в следующей последовательности:

1) определялся средний максимальный к.п.д. на заданном поле  $Q-H$  (практически он совпадал со значением  $\eta_{max}$  у насоса ЭЦВ12-255-30); в расчете максимальный к.п.д. был принят равным 0,635;

2) зависимость  $Z=f(\eta)$  (см. рис. I2), где  $\Delta\eta = \eta_{max} - \eta_{ср. экс.}$  аппроксимировалась аналогичной зависимостью

$$\eta_{ср. экс.} = \eta_{max} - \frac{0,6}{Z}; \quad (I3)$$

3) Формула (6) для определения расчетных затрат без слагаемых, не влияющих на значение минимума, получила вид

$$\begin{aligned} \Sigma P3 &= E \cdot Z \cdot K_{ос} + \frac{N_{ср} \cdot T \cdot \varepsilon \cdot n}{\eta_{ср.}} = \\ &= 0,125 \cdot 100.000 \cdot Z + \frac{13,5 \cdot 8000 \cdot 0,01 \cdot n}{\eta_{ср.}} \end{aligned} \quad (I4)$$

или подставляя значение  $\eta_{ср.}$

$$\Sigma P3 = AZ + \frac{B \cdot Z \cdot n}{E \cdot Z - 0,6}, \quad (I5)$$

где  $A = 12500$  руб.;

$B = 204000$  руб.;

$n$  - количество насосов (потребность);

$E = \eta_{max} = 63,5$  - максимальный к.п.д. агрегата, %.

Дифференцирование выражения (I4), приравнивание к нулю его первой производной и решение квадратного уравнения дает:



$$Z_{onm} = \frac{0,6 \pm \sqrt{\frac{0,6 \cdot B}{A}} n}{E}$$

или

$$Z_{onm} = \frac{0,6 + 0,227 \sqrt{n}}{0,635} \quad (16)$$

Для удобства при дальнейших расчетах введем понятие о единице площади  $Q - H$  в логарифмических координатах. За единицу площади нами принята величина

$$\lg Q \cdot \lg H = 0,1, \quad (17)$$

где  $Q$  - подача, л/сек;  
 $H_M$  - напор, м.

Тогда площадь прямоугольного поля  $Q - H$  в логарифмических координатах будет равна

$$F_{lg} = (\lg Q_1 - \lg Q_2) \cdot (\lg H_1 - \lg H_2) \cdot 10. \quad (18)$$

Площадь заданного поля  $Q - H$  ( $Q = 10-160$  л/сек и  $H = 10-15$  м)  $F_{lg} = 8,41$ .

Т а б л и ц а 2

Значения оптимальных чисел типоразмеров при различных потребностях в насосах

| Потребность в насосах (число скважин),<br>$n$ | Оптимальное число типоразмеров,<br>$Z_{onm}$ | Количество насосов на I типоразмер,<br>$n_{yg}$ | $Z_{yg} = \frac{Z_{onm}}{F_{lg}}$ | $n_{lg} = \frac{n}{F_{lg}}$ |
|-----------------------------------------------|----------------------------------------------|-------------------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|
| 50                                            | 3,48                                         | 14,3                                            | 0,413                             | 5,95                        |
| 100                                           | 4,52                                         | 22,4                                            | 0,537                             | 11,9                        |
| 500                                           | 8,96                                         | 55,8                                            | 1,06                              | 59,5                        |
| 1000                                          | 12,25                                        | 81,5                                            | 1,45                              | 119,0                       |
| 5000                                          | 26,35                                        | 197,0                                           | 3,12                              | 595,0                       |
| 10000                                         | 36,75                                        | 273,0                                           | 4,37                              | 1190,0                      |



На рис.17 графически представлена зависимость удельного оптимального числа типоразмеров ( $Z_{opt}^{yg}$ ) от количества насосов, приходящихся на один типоразмер ( $n_{yg}$ ).

На рис.18 изображена зависимость  $Z_{opt}^{yg} = \varphi(n_{yg}^{eg})$ .

Для определения оптимального числа типоразмеров при заданной потребности в насосах на произвольном поле  $Q-H$  (не выходящем за пределы заданного поля) необходимо вычислить площадь этого поля в логарифмических координатах  $F_{eg}$ , определить  $n_{yg}^{eg} = \frac{n}{F_{eg}}$  по зависимости  $Z_{opt}^{yg} = \varphi(n_{yg}^{eg})$ ; установить  $Z_{opt}^{yg}$  и затем выявить оптимальное число типоразмеров по формуле  $Z_{opt} = Z_{opt}^{yg} \cdot F_{eg}$ .

По второму варианту оптимальное число типоразмеров рассчитывали в следующей последовательности:

1) по данным полезным мощностям насоса определяем максимальный к.п.д. электродвигателя  $\eta_{нас.}^{max} = f(N_n, \eta)$  (рис.19), затем по средней подаче насосов вычисляли  $\eta_{max}$  насоса для каждой его полезной мощности (рис.20). Максимальный к.п.д. агрегата определяли как  $\eta_{max} = \eta_{эв.} \cdot \eta_{нас.}$ ;

2) по зависимости  $Z = f(\beta)$  (рис.12) строилась зависимость  $Z = f(\eta)$  для насоса каждой мощности;

3) подбирались аналитическое выражение зависимости числа типоразмеров от среднеэксплуатационного к.п.д.

Наиболее близкими к экспериментальной зависимости оказались равенства:

$$1. N_{n_1} = 2,5 \text{ кВт}, \eta_{1 \text{ ср. экс.}} = \eta_{1 \text{ max}} - \frac{0,48}{Z} \quad (19)$$

$$2) N_{n_2} = 5,0 \text{ кВт}, \eta_{2 \text{ ср. экс.}} = \eta_{2 \text{ max}} - \frac{0,51}{Z} \quad (20)$$



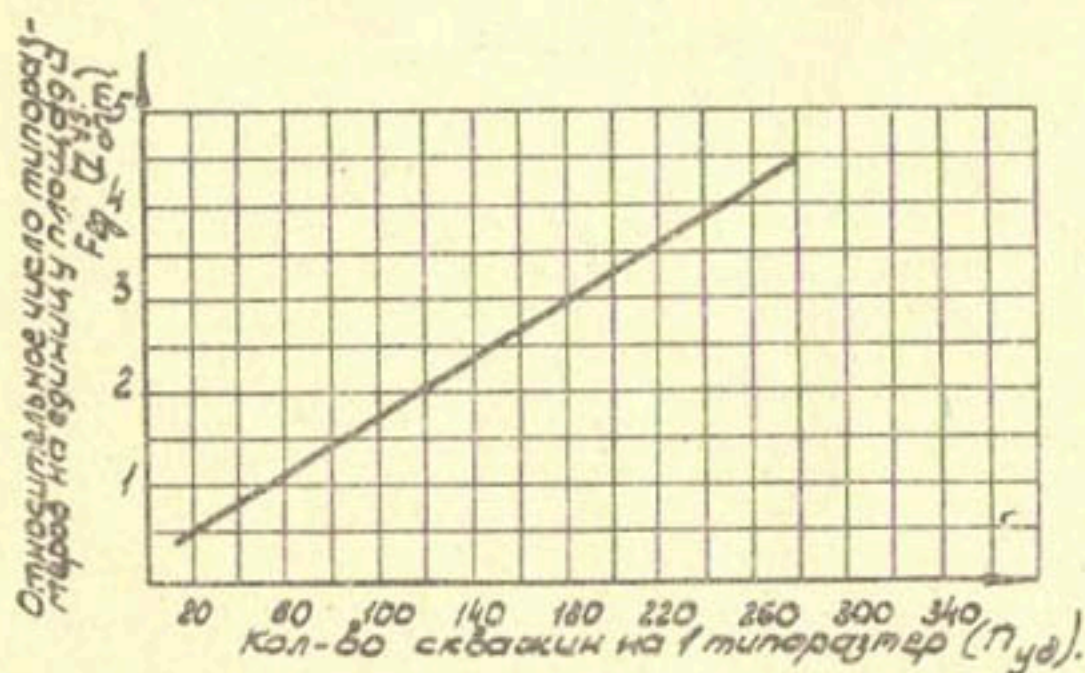


Рис. 17. Зависимость удельного оптимального числа типоразмеров ( $Z_{opt}$ ) от количества насосов, приходящихся на один типоразмер ( $n_{yd}$ ).

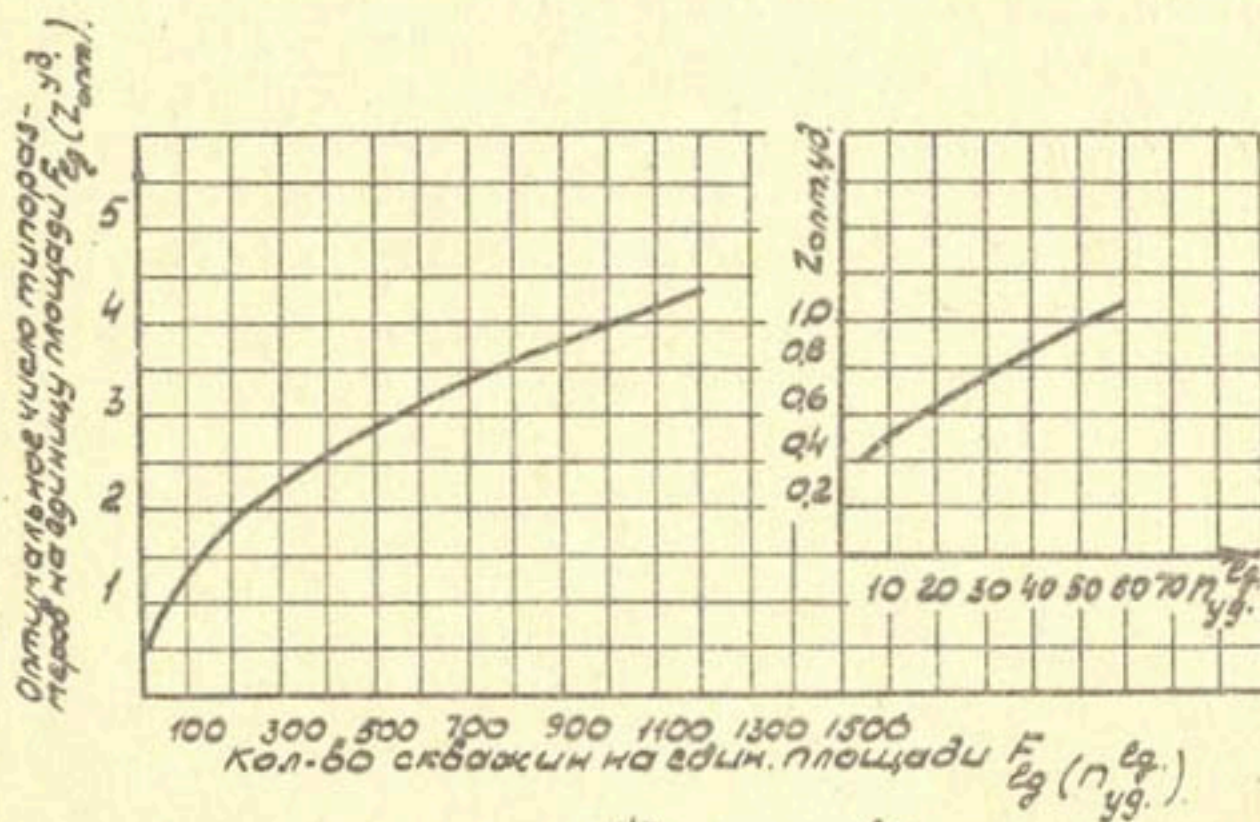


Рис. 18. Зависимость  $Z_{opt}^{yg} = \varphi(n_{yg}^{lg})$ .



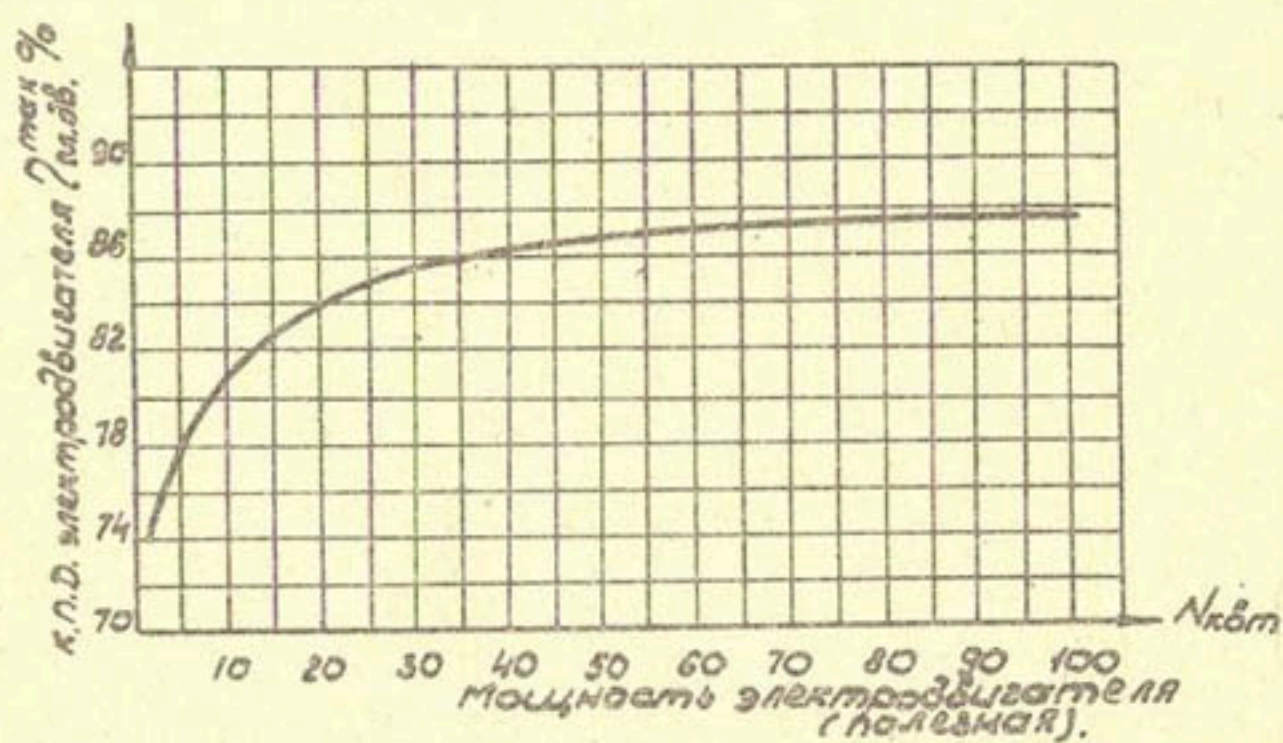


Рис. 19. Зависимость максимального к.п.д. электродвигателя от полезной мощности насоса.

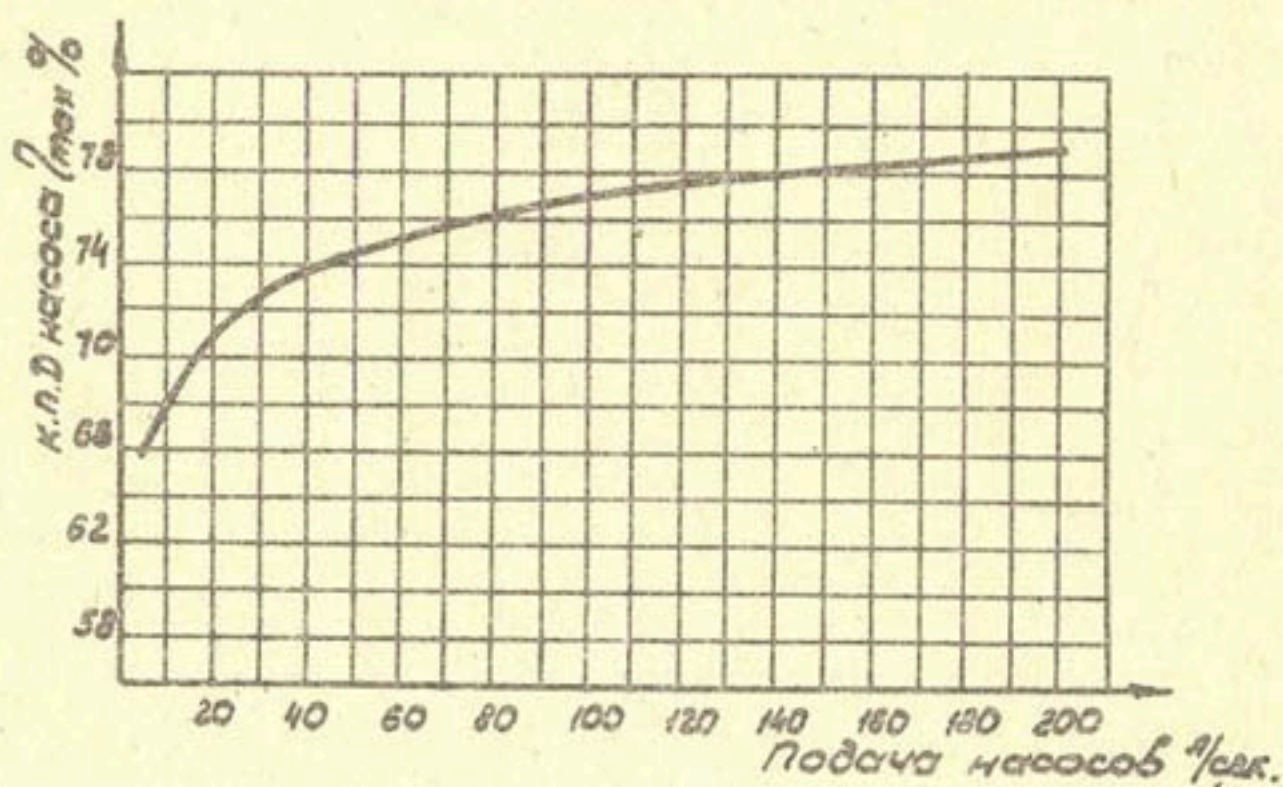


Рис. 20. Зависимость к.п.д. насоса от его подачи.



$$3. N_{n_3} = 10 \text{ кВт}, \quad \eta_{3 \text{ ср. экс.}} = \eta_{3 \text{ max}} - \frac{0,57}{Z} \quad (21)$$

$$4. N_{n_4} = 20,0 \text{ кВт}, \quad \eta_{4 \text{ ср. экс.}} = \eta_{4 \text{ max}} - \frac{0,585}{Z} \quad (22)$$

$$5. N_{n_5} = 30,0 \text{ кВт}, \quad \eta_{5 \text{ ср. экс.}} = \eta_{5 \text{ max}} - \frac{0,605}{Z} \quad (23)$$

$$6. N_{n_6} = 40,0 \text{ кВт}, \quad \eta_{6 \text{ ср. экс.}} = \eta_{6 \text{ max}} - \frac{0,625}{Z} \quad (24)$$

$$7. N_{n_7} = 50,0 \text{ кВт}, \quad \eta_{7 \text{ ср. экс.}} = \eta_{7 \text{ max}} - \frac{0,64}{Z} \quad (25)$$

$$8. N_{n_8} = 60,0 \text{ кВт}, \quad \eta_{8 \text{ ср. экс.}} = \eta_{8 \text{ max}} - \frac{0,664}{Z} \quad (26)$$

4) В третьем члене выражения (6) значение  $\eta_{\text{ср. экс.}}$  заменялось выражениями (19-26), второй и третий члены выражения дифференцировались по  $Z$ , и полученная производная приравнивалась нулю.

Решение этих уравнений дало следующие выражения для

$Z_{\text{опт}}$ :

$$1. Z_{1 \text{ опт}} = \frac{0,48 \pm \sqrt{\frac{0,48 \cdot B_1}{12500} n}}{\eta_{1 \text{ max}}}; \quad (27)$$

$$2. Z_{2 \text{ опт}} = \frac{0,51 \pm \sqrt{\frac{0,51 \cdot B_2}{12500} n}}{\eta_{2 \text{ max}}}; \quad (28)$$

$$3. Z_{3 \text{ опт}} = \frac{0,57 \pm \sqrt{\frac{0,57 \cdot B_3}{12500} n}}{\eta_{3 \text{ max}}}; \quad (29)$$

$$4. Z_{4 \text{ опт}} = \frac{0,58 \pm \sqrt{\frac{0,58 \cdot B_4}{12500} n}}{\eta_{4 \text{ max}}}; \quad (30)$$

$$5. Z_{5 \text{ опт}} = \frac{0,605 \pm \sqrt{\frac{0,605 \cdot B_5}{12500} n}}{\eta_{5 \text{ max}}}; \quad (31)$$



$$6. \quad Z_{6 \text{ опт}} = \frac{0.625 \pm \sqrt{\frac{0.625 \cdot B_6}{12500} n}}{\eta_{6 \text{ max}}}; \quad (32)$$

$$7. \quad Z_{7 \text{ опт}} = \frac{0.64 \pm \sqrt{\frac{0.64 \cdot B_7}{12500} n}}{\eta_{7 \text{ max}}}; \quad (33)$$

$$8. \quad Z_{8 \text{ опт}} = \frac{0.66 \pm \sqrt{\frac{0.66 \cdot B_8}{12500} n}}{\eta_{8 \text{ max}}}; \quad (34)$$

где  $B = N_n \cdot T \cdot \mathcal{E} = 80 \cdot N_n$ .

По данным табл.3 выявлена зависимость  $Z_{\text{опт}}^{yg} = f(\eta_{yg})$ ,  
графически она представлена на рис. 2I.

По данным табл.4 определена зависимость  $Z_{\text{опт}}^{yg} = f(\eta_{yg}^{lg})$   
для каждой мощности насоса (рис.22).

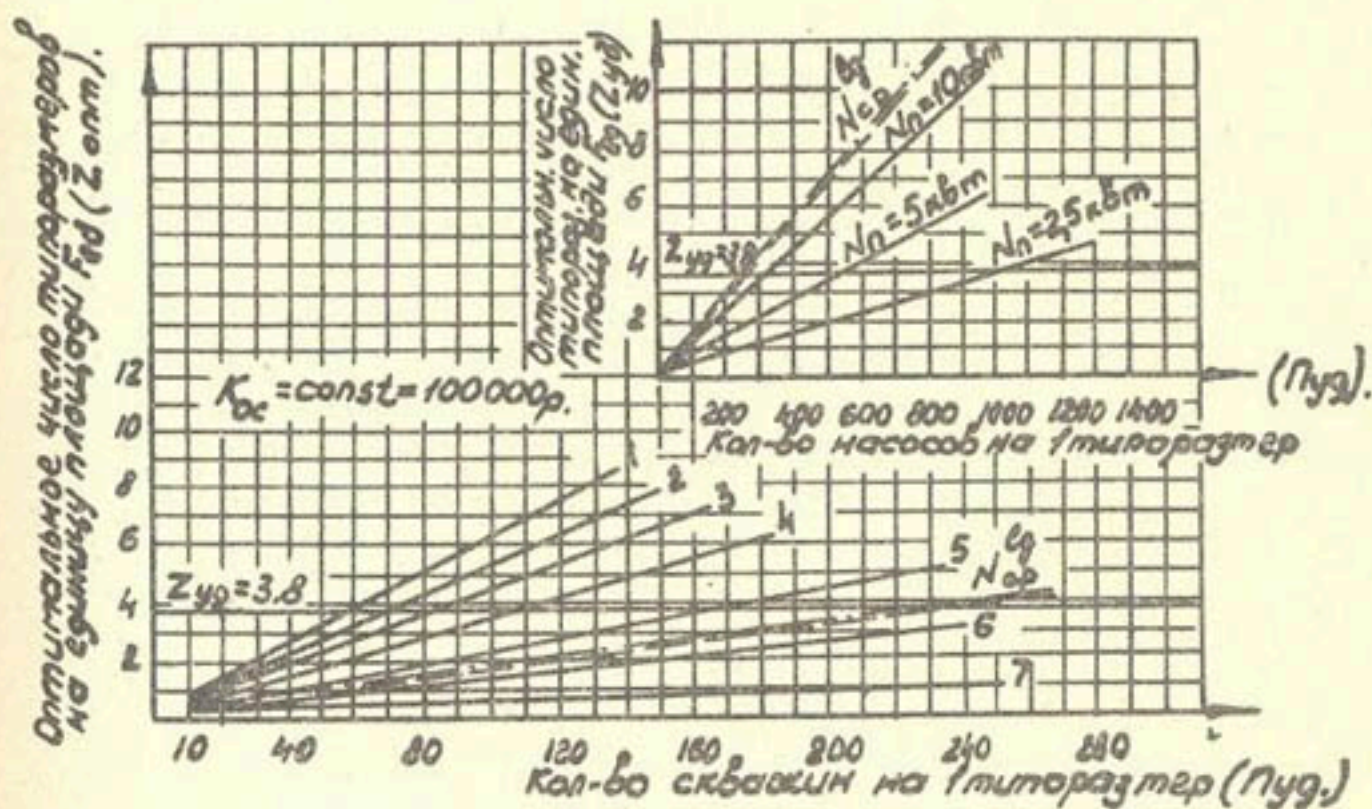


Рис.2I'. Зависимость удельного оптимального числа типоразмеров от количества скважин и насосов на один типоразмер: 1- $N_n=60$  кВт; 2-50; 3-40; 4-30; 5-20; 6-10 и 7-5 кВт.



Таблица 3

Значения оптимальных чисел типоразмеров ( $Z_{opt}$ ) для различного количества скважин и числа их, приходящихся на I типоразмер.

| N <sub>n</sub> | Общее число скважин |      |       |      |        |       |        |      |        |      |        |     |
|----------------|---------------------|------|-------|------|--------|-------|--------|------|--------|------|--------|-----|
|                | 50                  | 100  | 500   | 1000 | 5000   | 10000 |        |      |        |      |        |     |
| 2,5            | 2,12                | 23,6 | 2,6   | 38,4 | 4,7    | 106,0 | 6,3    | 160  | 13     | 380  | 18     | 550 |
| 5,0            | 2,6                 | 19,2 | 3,3   | 30,3 | 6,2    | 80    | 8,4    | 119  | 16,95  | 296  | 23,25  | 420 |
| 10             | 3,28                | 15,2 | 4,24  | 23,4 | 8,27   | 60,5  | 11,27  | 89   | 24,07  | 207  | 32,67  | 305 |
| 20             | 4,02                | 12,5 | 5,28  | 18,9 | 10,63  | 47    | 14,63  | 168  | 31,83  | 157  | 44,43  | 226 |
| 30             | 4,74                | 10,5 | 6,24  | 16,0 | 12,74  | 39,2  | 17,74  | 56   | 38,64  | 129  | 53,94  | 185 |
| 40             | 5,27                | 9,5  | 7,05  | 14,1 | 14,35  | 34,8  | 20,15  | 49   | 44,35  | 113  | 61,95  | 161 |
| 50             | 5,7                 | 8,75 | 7,61  | 13,1 | 15,85  | 31,4  | 22,05  | 45,2 | 48,45  | 103  | 67,55  | 147 |
| 60             | 6,165               | 8,1  | 8,315 | 12   | 17,365 | 28,8  | 24,165 | 41,4 | 52,965 | 94,5 | 73,465 | 136 |



Т а б л и ц а 4

Значения  $Z_{\text{опт}}$  и  $n_{\text{уд}}$  для различного количества эксплуатируемых скважин

| $N_n$ | Общее число скважин                  |                                      |                                      |                                      |                                      |                                      |                                      |                                      |                                      |                                      |                                      |      |
|-------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|------|
|       | 50                                   | 100                                  | 500                                  | 1000                                 | 5000                                 | 10000                                |                                      |                                      |                                      |                                      |                                      |      |
|       | $Z_{уд} : n_{уд} : Z_{опт} : n_{уд}$ | $Z_{уд} : n_{уд} : Z_{опт} : n_{уд}$ | $Z_{уд} : n_{уд} : Z_{опт} : n_{уд}$ | $Z_{уд} : n_{уд} : Z_{опт} : n_{уд}$ | $Z_{уд} : n_{уд} : Z_{опт} : n_{уд}$ | $Z_{уд} : n_{уд} : Z_{опт} : n_{уд}$ | $Z_{уд} : n_{уд} : Z_{опт} : n_{уд}$ | $Z_{уд} : n_{уд} : Z_{опт} : n_{уд}$ | $Z_{уд} : n_{уд} : Z_{опт} : n_{уд}$ | $Z_{уд} : n_{уд} : Z_{опт} : n_{уд}$ | $Z_{уд} : n_{уд} : Z_{опт} : n_{уд}$ |      |
| 2,5   | 0,252                                | 5,95                                 | 0,31                                 | 11,9                                 | 0,56                                 | 59,5                                 | 0,75                                 | 119                                  | 1,54                                 | 595                                  | 2,4                                  | 1190 |
| 5     | 0,31                                 | 5,95                                 | 0,392                                | 11,9                                 | 0,735                                | 59,5                                 | 1,0                                  | 119                                  | 2,05                                 | 595                                  | 2,76                                 | 1190 |
| 10    | 0,39                                 | 5,95                                 | 0,504                                | 11,9                                 | 0,98                                 | 59,5                                 | 1,34                                 | 119                                  | 2,86                                 | 595                                  | 3,88                                 | 1190 |
| 20    | 0,48                                 | 5,95                                 | 0,63                                 | 11,9                                 | 1,26                                 | 59,5                                 | 1,74                                 | 119                                  | 3,78                                 | 595                                  | 5,38                                 | 1190 |
| 30    | 0,56                                 | 5,95                                 | 0,74                                 | 11,9                                 | 1,51                                 | 59,5                                 | 2,1                                  | 119                                  | 4,6                                  | 595                                  | 6,4                                  | 1190 |
| 40    | 0,63                                 | 5,95                                 | 0,84                                 | 11,9                                 | 1,7                                  | 59,5                                 | 2,4                                  | 119                                  | 5,26                                 | 595                                  | 7,35                                 | 1190 |
| 50    | 0,68                                 | 5,95                                 | 0,9                                  | 11,9                                 | 1,88                                 | 59,5                                 | 2,62                                 | 119                                  | 5,75                                 | 595                                  | 8,0                                  | 1190 |
| 60    | 0,73                                 | 5,95                                 | 0,99                                 | 11,9                                 | 2,06                                 | 59,5                                 | 2,87                                 | 119                                  | 6,3                                  | 595                                  | 8,7                                  | 1190 |



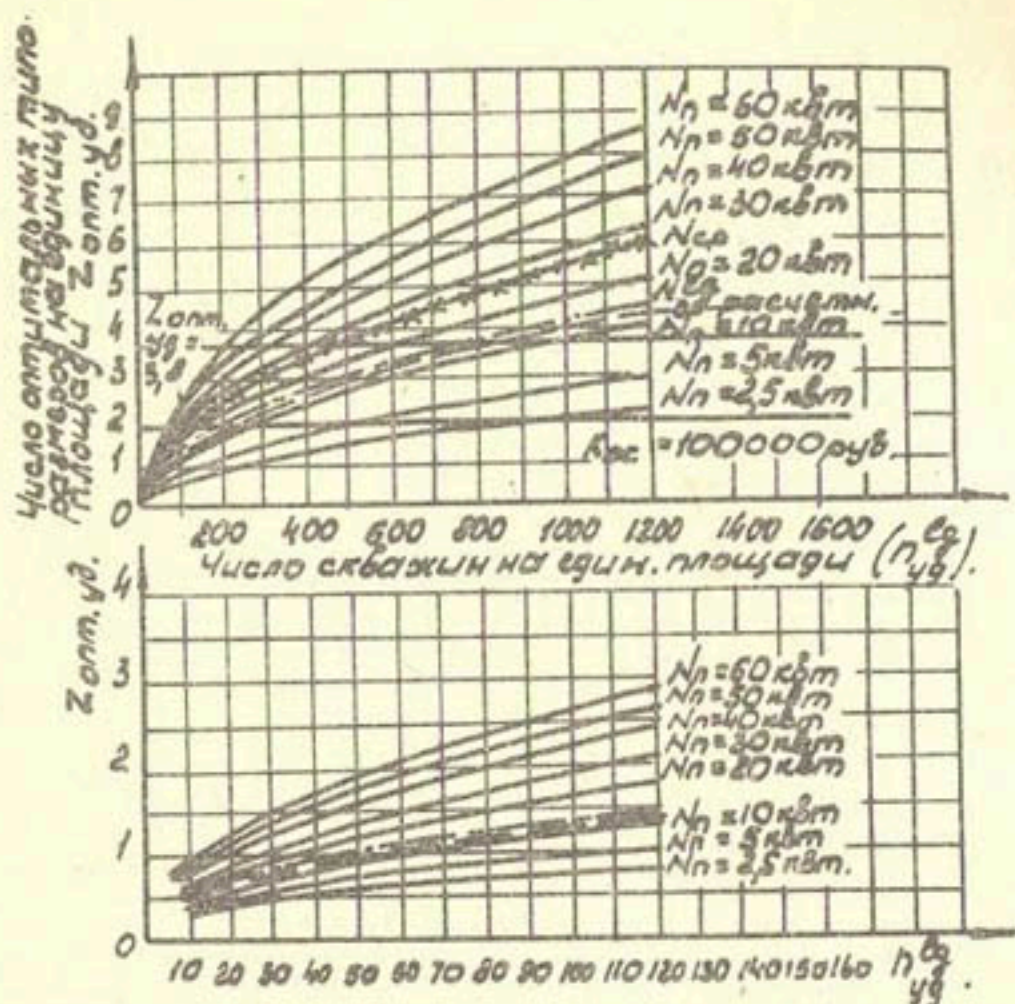


Рис. 22. Зависимость удельного оптимального числа типоразмеров от удельного числа скважин.

Линией с крестиками показана зависимость  $Z_{opt}^{yg} = f(n_{yg}^{eg})$  для заданного поля  $Q - H$  при осреднении мощности в простых координатах  $Q - H$ . Эта зависимость значительно отличается от зависимости, вычисленной при разбишке поля  $Q - H$  на зоны с различной полезной мощностью (пунктирные линии).

При определении оптимального числа типоразмеров на произвольном поле  $Q - H$  необходимо разбить площадь этого поля на участки, тяготеющие к каждой из рассчитанных мощностей, высчитать площадь этих участков в логарифмических координатах ( $F_{eg}$ ), выявить число скважин, приходящихся на единицу площади (в логарифмических координатах;  $n_{yg}^{eg}$  по зависимости  $Z_{opt}^{yg} = f(n_{yg}^{eg})$ , определить  $Z_{opt}^{yg}$ , а затем  $Z_{opt} = Z_{opt}^{yg} \cdot F_{eg}$  для каждого участка.



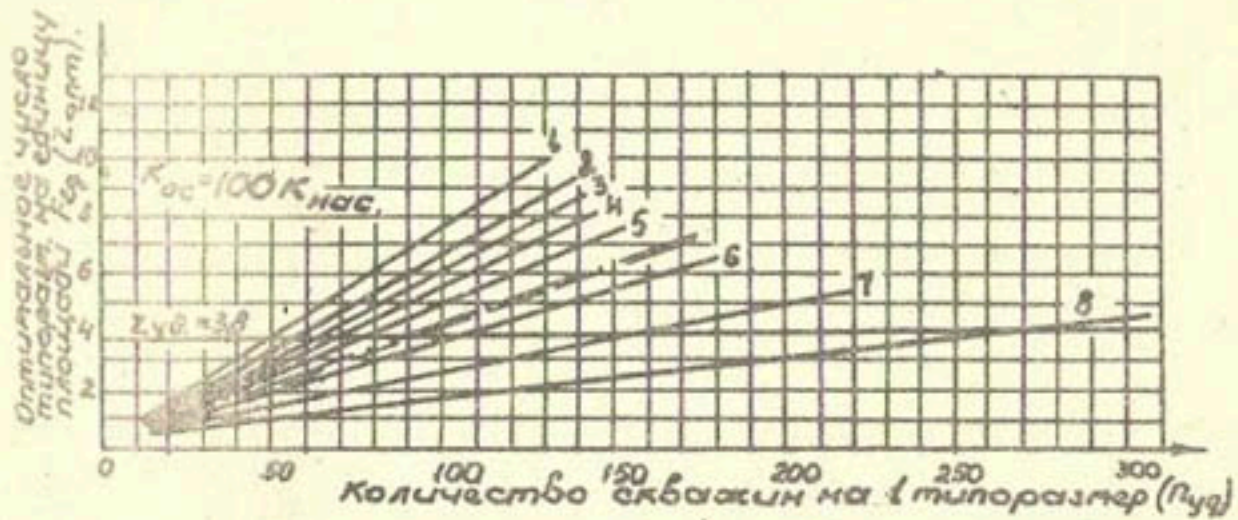


Рис. 23. Зависимость оптимального числа типоразмеров от количества скважин на один типоразмер:  $N_n = 60$  кВт; 2-50; 3-40; 4-30; 5-20; 6-10; 7-5; 8-2,5 кВт.

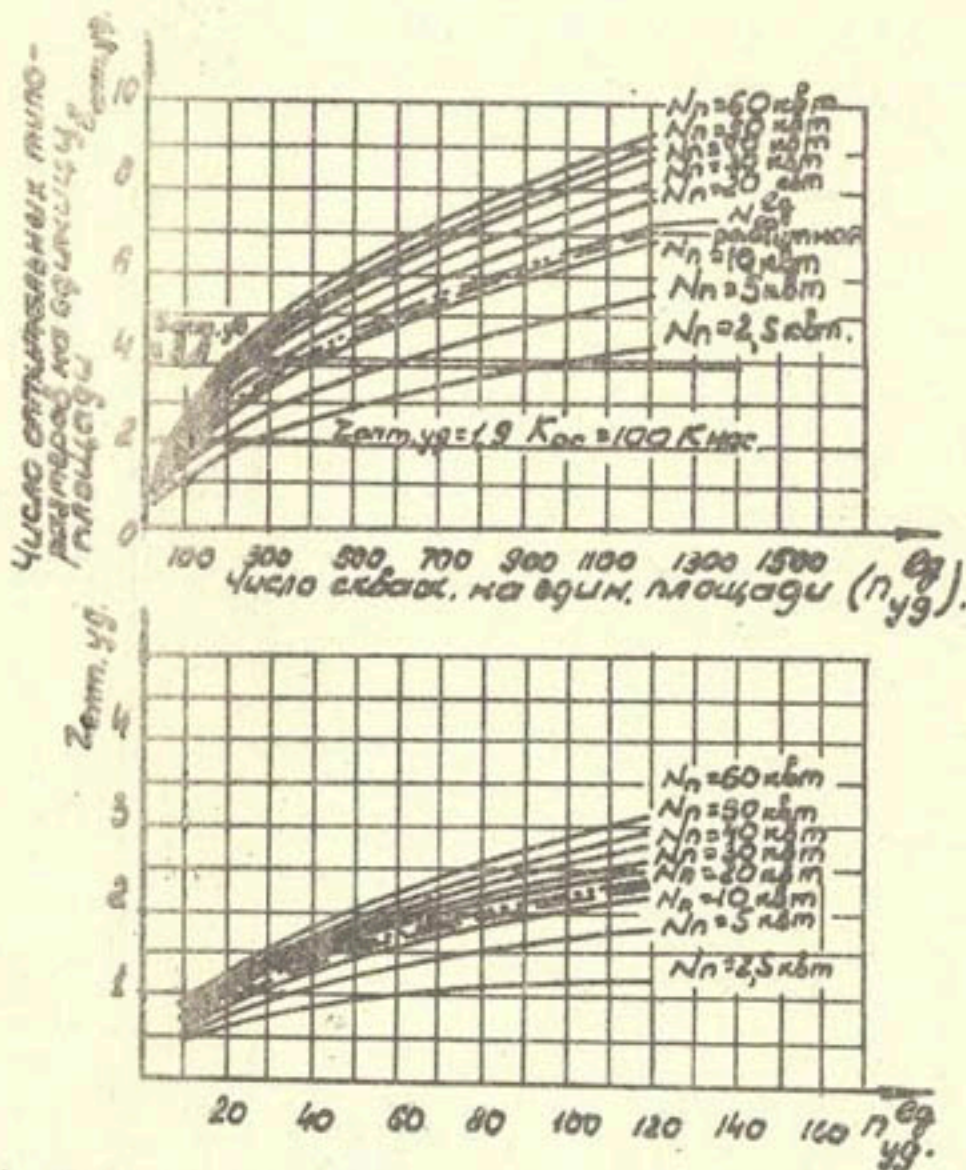


Рис. 24. Зависимость оптимального числа типоразмеров от удельного числа скважин (на I типоразмер).



Оптимальное число типоразмеров для всего поля  $Q - H$  определится как сумма оптимальных типоразмеров на каждом участке, т.е.

$$Z_{opt} = Z_{1opt} + Z_{2opt} + \dots + Z_{nopt}.$$

По третьему варианту оптимальное число типоразмеров рассчитывали в следующей последовательности:

1. По заданным полезным мощностям и подачам насоса определяли максимальный к.п.д. агрегатов  $\eta_{max}$ ;

2. По  $Z = f(\eta_{ср.экс.}) = f(\eta_{max} \cdot \beta)$  для каждой мощности насоса строили зависимость  $\Delta \eta = f(Z)$ ;

3. Подбирали аналитическое выражение зависимости от числа типоразмеров среднеэксплуатационного к.п.д.

Наиболее близкими в экспериментальной зависимости оказались

$$1. \quad 2,5 \cdot \eta_{1ср.экс.} = \eta_{1max} - \frac{0,48}{Z}; \quad (35)$$

$$2. \quad 5 \cdot \eta_{2ср.экс.} = \eta_{2max} - \frac{0,51}{Z}; \quad (36)$$

$$3. \quad 10 \cdot \eta_{3ср.экс.} = \eta_{3max} - \frac{0,57}{Z}; \quad (37)$$

$$4. \quad 20 \cdot \eta_{4ср.экс.} = \eta_{4max} - \frac{0,58}{Z}; \quad (38)$$

$$5. \quad 30 \cdot \eta_{5ср.экс.} = \eta_{5max} - \frac{0,605}{Z}; \quad (39)$$

$$6. \quad 40 \cdot \eta_{6ср.экс.} = \eta_{6max} - \frac{0,625}{Z}; \quad (40)$$

$$7. \quad 50 \cdot \eta_{7ср.экс.} = \eta_{7max} - \frac{0,64}{Z}; \quad (41)$$

$$8. \quad 60 \cdot \eta_{8ср.экс.} = \eta_{8max} - \frac{0,66}{Z}; \quad (42)$$



4. Второй и третий члены выражения дифференцировались по  $Z$ ; первая производная приравнялась нулю. Решение этих уравнений дало следующие выражения для  $Z_{onm}$ :

$$1. \quad Z_{1onm} = \frac{0,48 \pm \sqrt{\frac{0,48 \cdot B_1}{A_1} n \cdot v}}{\eta_{1max}}; \quad (43)$$

$$2. \quad Z_{2onm} = \frac{0,51 \pm \sqrt{\frac{0,51 \cdot B_2}{A_2} n}}{\eta_{2max}}; \quad (44)$$

$$3. \quad Z_{3onm} = \frac{0,57 \pm \sqrt{\frac{0,57 \cdot B_3}{A_3} n}}{\eta_{3max}}; \quad (45)$$

$$4. \quad Z_{4onm} = \frac{0,585 \pm \sqrt{\frac{0,585 \cdot B_4}{A_4} n}}{\eta_{4max}}; \quad (46)$$

$$5. \quad Z_{5onm} = \frac{0,605 \pm \sqrt{\frac{0,605 \cdot B_5}{A_5} n}}{0,645}; \quad (47)$$

$$6. \quad Z_{6onm} = \frac{0,625 \pm \sqrt{\frac{0,625 \cdot B_6}{A_6} n}}{0,66}; \quad (48)$$



$$7. Z_{7\text{ опт}} = \frac{0,64 \sqrt{\frac{0,64 \cdot B_7}{A_7} n}}{0,675}; \quad (49)$$

$$8. Z_{8\text{ опт}} = \frac{0,66 \sqrt{\frac{0,67 \cdot B_8}{A_8} n}}{0,68}; \quad (50)$$

где  $B = 80 \cdot \sqrt{N}$ ,

$$A = N_{\text{ос}} \cdot 0,125$$

На рис. 24 и 25 представлены зависимости  $Z_{\text{опт}} = f(n_{\text{yg}})$  и  $Z_{\text{опт}}^{\text{yg}} = f(n_{\text{yg}}^{\text{yg}})$ .

Оптимальное число типоразмеров любого заданного поля Q-H может быть определено так же и по второму варианту. На рис. 21, 22, 23, 24 пунктирными линиями выражена зависимость  $Z_{\text{опт}}^{\text{yg}} = f_1(n_{\text{yg}}^{\text{yg}})$  и  $Z_{\text{опт}}^{\text{yg}} = f_2(n_{\text{yg}}^{\text{yg}})$ . Для заданного поля Q-H (Q=10-160 л/сек, H=50 м) они проходят между кривыми  $N_H = 10$  кВт и  $N_H = 20$  кВт и примерно соответствуют мощности, осредненной по площади заданного поля Q-H в логарифмических координатах ( $n_{\text{yg}}^{\text{yg}} = 13,5$  кВт);  $Z_{\text{опт}}^{\text{yg}} = f(n_{\text{yg}}^{\text{yg}})$  и  $Z_{\text{опт}}^{\text{yg}} = f(n_{\text{yg}}^{\text{yg}})$ ; для  $N_H = 13,5$  кВт - показаны штрихпунктирными линиями.

Если удельное количество на единицу площади в различных частях поля Q-H распределено неравномерно, изложенную выше задачу необходимо решать для каждой части поля отдельно. Предложенная методика позволяет также решать вопросы последовательности освоения типоразмеров при постоянно возрастающей потребности в насосах.

При небольших потребностях в насосах минимум расчетных затрат выражен на кривых (рис. 25 и 26) достаточно четко. При потребности в насосах на заданном поле Q-H  $N = 5 \div 10$  тыс. штук минимум расчетных затрат определить весьма



Т а б л и ц а 5

Значения оптимальных чисел типоразмеров ( $Z$ ) и количество скважин, приходящихся на 1 типоразмер ( $N_{\text{уд}}$ )

| Общее число скважин |                  |                 |                  |                 |                  |                 |                  |                 |                  |                 |                  |                 |
|---------------------|------------------|-----------------|------------------|-----------------|------------------|-----------------|------------------|-----------------|------------------|-----------------|------------------|-----------------|
| $N_{\text{квм}}$    | 50               | 100             | 500              | 1000            | 5000             | 10000           |                  |                 |                  |                 |                  |                 |
|                     | $Z_{\text{опт}}$ | $N_{\text{уд}}$ | $Z_{\text{опт}}$ | $N_{\text{уд}}$ | $Z_{\text{опт}}$ | $N_{\text{уд}}$ | $Z_{\text{опт}}$ | $N_{\text{уд}}$ | $Z_{\text{опт}}$ | $N_{\text{уд}}$ | $Z_{\text{опт}}$ | $N_{\text{уд}}$ |
| 2,5                 | 3,45             | 14,5            | 4,48             | 22,2            | 8,83             | 56,5            | 12,33            | 82              | 26,13            | 191             | 36,43            | 274             |
| 5,0                 | 4,18             | 11,9            | 5,5              | 18,2            | 11,05            | 45,0            | 15,35            | 65              | 33,25            | 150             | 46,45            | 220             |
| 10,0                | 4,87             | 10,2            | 6,47             | 15,4            | 13,17            | 38,0            | 18,37            | 54,2            | 39,97            | 125             | 55,97            | 178             |
| 20,0                | 5,48             | 9,1             | 7,35             | 13,6            | 15,23            | 32,7            | 21,23            | 47,0            | 46,43            | 108             | 65,13            | 153             |
| 30,0                | 5,77             | 8,65            | 7,73             | 12,9            | 16,13            | 31,0            | 22,43            | 43,5            | 49,33            | 101             | 68,93            | 145             |
| 40,0                | 6,05             | 8,3             | 8,15             | 12,2            | 19,05            | 26,3            | 23,75            | 42,0            | 51,95            | 97              | 72,95            | 137             |
| 50,0                | 6,31             | 7,9             | 8,46             | 11,8            | 17,76            | 28,0            | 24,66            | 40,6            | 54,46            | 92              | 75,96            | 132             |
| 60,0                | 6,47             | 7,7             | 8,72             | 11,5            | 18,17            | 27,5            | 25,37            | 39,4            | 56,97            | 88              | 78,47            | 126             |



Т а б л и ц а 6

Удельные числа типографских и скважин на единицу площади в логарифмических координатах

| Общее число скважин |       |           |          |           |          |           |          |           |          |           |          |           |          |
|---------------------|-------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|----------|
|                     |       | 50        |          | 100       |          | 500       |          | 1000      |          | 5000      |          | 10000     |          |
| $N_n$               | $квм$ | $z_{опт}$ | $z_{уэ}$ | $z_{опт}$ | $z_{уэ}$ | $z_{опт}$ | $z_{уэ}$ | $z_{опт}$ | $z_{уэ}$ | $z_{опт}$ | $z_{уэ}$ | $z_{опт}$ | $z_{уэ}$ |
| 2,5                 | 0,41  | 5,95      | 0,532    | 11,9      | 1,05     | 59,5      | 1,46     | 119       | 3,10     | 595       | 4,33     | 1190      | 1190     |
| 5,0                 | 0,496 | 5,95      | 0,656    | 11,9      | 1,37     | 59,5      | 1,83     | 119       | 3,96     | 595       | 5,5      | 1190      | 1190     |
| 10,0                | 0,58  | 5,95      | 0,77     | 11,9      | 1,56     | 59,5      | 2,18     | 119       | 4,75     | 595       | 6,65     | 1190      | 1190     |
| 20,0                | 0,65  | 5,95      | 0,875    | 11,9      | 1,81     | 59,5      | 2,52     | 119       | 5,50     | 595       | 7,75     | 1190      | 1190     |
| 30,0                | 0,685 | 5,95      | 0,92     | 11,9      | 1,92     | 59,5      | 2,68     | 119       | 5,9      | 595       | 8,20     | 1190      | 1190     |
| 40,0                | 0,72  | 5,95      | 0,97     | 11,9      | 2,06     | 59,5      | 2,82     | 119       | 6,2      | 595       | 8,67     | 1190      | 1190     |
| 50,0                | 0,75  | 5,95      | 1,01     | 11,9      | 2,1      | 59,5      | 3,2      | 119       | 6,45     | 595       | 9,0      | 1190      | 1190     |
| 60,0                | 0,77  | 5,95      | 1,04     | 11,9      | 2,16     | 59,5      | 3,2      | 119       | 6,76     | 595       | 9,3      | 1190      | 1190     |



Оптимальные типоразмеры насосов для установок вертикального дренажа

| Номер по<br>порядку | Марки<br>насоса | Диапазон:<br>напоров<br>(Нм), м | Диапа-<br>зон рас-<br>ходов<br>(Q)<br>м <sup>3</sup> /час | Средняя<br>полезная<br>мощность, кВт | Число<br>насосов<br>на I<br>типоразмер | Количество действующих скважин |                  |                  |                  |
|---------------------|-----------------|---------------------------------|-----------------------------------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------------|--------------------------------|------------------|------------------|------------------|
|                     |                 |                                 |                                                           |                                      |                                        | СССР                           | УЗССР            | 1985 г.          | 1980 г.: 1985 г. |
| I                   | 2               | 3                               | 4                                                         | 5                                    | 6                                      | 7                              | 8                | 9                | 10               |
| 1                   | ЭЦВ 43-14       | 10-15                           | 51-36                                                     | 1,5                                  | 350                                    | 16                             |                  |                  |                  |
| 2                   | ЭЦВ 43-21       | 15-22                           | 51-36                                                     | 2,1                                  | 290                                    | 1396 <sup>x</sup>              |                  |                  |                  |
| 3                   | ЭЦВ 43-31       | 22-33                           | 51-36                                                     | 3,05                                 | 230                                    | 4915 <sup>x</sup>              |                  |                  |                  |
| 4                   | ЭЦВ 43-46       | 33-50                           | 51-36                                                     | 4,55                                 | 160                                    | 305 <sup>x</sup>               |                  |                  |                  |
| 5                   | ЭЦВ 57-14       | 10-15                           | 72-51                                                     | 2                                    | 295                                    | 46                             |                  |                  |                  |
| 6                   | ЭЦВ 57-21       | 15-22                           | 72-51                                                     | 3                                    | 230                                    | 651 <sup>x</sup>               | 137              |                  |                  |
| 7                   | ЭЦВ 57-31       | 22-33                           | 72-51                                                     | 4,4                                  | 165                                    | 1402 <sup>x</sup>              |                  |                  |                  |
| 8                   | ЭЦВ 57-46       | 33-50                           | 72-51                                                     | 6,6                                  | 136                                    | 136 <sup>x</sup>               | 39               | 39               | 39               |
| 9                   | ЭЦВ 86-14       | 10-15                           | 100-72                                                    | 2,7                                  | 240                                    | 207                            | 147              | 197              | 220              |
| 10                  | ЭЦВ 86-21       | 15-22                           | 100-72                                                    | 4,2                                  | 180                                    | 765 <sup>x</sup>               | 30               | 146              | 155              |
| 11                  | ЭЦВ 86-31       | 22-33                           | 100-72                                                    | 6,1                                  | 138                                    | 766 <sup>x</sup>               | 10               |                  |                  |
| 12                  | ЭЦВ 86-46       | 33-50                           | 100-72                                                    | 9,2                                  | 108                                    | 247 <sup>x</sup>               |                  |                  |                  |
| 13                  | ЭЦВ 120-14      | 10-15                           | 145-100                                                   | 4,0                                  | 170                                    | 671 <sup>x</sup>               | 300 <sup>x</sup> | 521 <sup>x</sup> | 566 <sup>x</sup> |



Продолжение табл.7

| I  | : | 2          | : | 3     | : | 4       | : | 5    | : | 6   | : | 7                 | : | 8                | : | 9                | : | 10               |
|----|---|------------|---|-------|---|---------|---|------|---|-----|---|-------------------|---|------------------|---|------------------|---|------------------|
| 14 |   | ЭПВ 120-21 |   | 15-22 |   | 145-100 |   | 6,0  |   | 140 |   | 1100 <sup>x</sup> |   | 295 <sup>x</sup> |   | 595 <sup>x</sup> |   | 662 <sup>x</sup> |
| 15 |   | ЭПВ 120-21 |   | 22-33 |   | 145-100 |   | 6,9  |   | 122 |   | 1712 <sup>x</sup> |   | 7                |   | 100              |   | 106              |
| 16 |   | ЭПВ 120-46 |   | 33-50 |   | 145-100 |   | 13,3 |   | 88  |   | 2016 <sup>x</sup> |   |                  |   |                  |   |                  |
| 17 |   | ЭПВ 165-14 |   | 10-15 |   | 210-145 |   | 5,9  |   | 142 |   | 357 <sup>x</sup>  |   | 263 <sup>x</sup> |   | 453 <sup>x</sup> |   | 634 <sup>x</sup> |
| 18 |   | ЭПВ 165-21 |   | 15-22 |   | 210-145 |   | 8,8  |   | 110 |   | 1030 <sup>x</sup> |   | 154 <sup>x</sup> |   | 200 <sup>x</sup> |   | 239 <sup>x</sup> |
| 19 |   | ЭПВ 165-31 |   | 22-33 |   | 210-145 |   | 12,9 |   | 94  |   | 1475 <sup>x</sup> |   | 13               |   | 13               |   | 143 <sup>x</sup> |
| 20 |   | ЭПВ 165-46 |   | 33-50 |   | 210-145 |   | 19,6 |   | 77  |   | 776 <sup>x</sup>  |   |                  |   |                  |   |                  |
| 21 |   | ЭПВ 250-14 |   | 10-15 |   | 290-210 |   | 8,1  |   | 114 |   | 400 <sup>x</sup>  |   | 46               |   | 232 <sup>x</sup> |   | 457 <sup>x</sup> |
| 22 |   | ЭПВ 250-21 |   | 15-22 |   | 290-210 |   | 12,1 |   | 94  |   | 865 <sup>x</sup>  |   | 274 <sup>x</sup> |   | 667 <sup>x</sup> |   | 802 <sup>x</sup> |
| 23 |   | ЭПВ 250-31 |   | 22-33 |   | 290-210 |   | 17,8 |   | 78  |   | 577 <sup>x</sup>  |   | 274 <sup>x</sup> |   | 433 <sup>x</sup> |   | 667 <sup>x</sup> |
| 24 |   | ЭПВ 350-14 |   | 10-15 |   | 400-290 |   | 11,1 |   | 100 |   | 610 <sup>x</sup>  |   | 186 <sup>x</sup> |   | 431 <sup>x</sup> |   | 520 <sup>x</sup> |
| 25 |   | ЭПВ 350-21 |   | 15-22 |   | 400-290 |   | 16,7 |   | 81  |   | 420 <sup>x</sup>  |   | 155 <sup>x</sup> |   | 290 <sup>x</sup> |   | 379 <sup>x</sup> |
| 26 |   | ЭПВ 350-31 |   | 22-33 |   | 400-290 |   | 24,4 |   | 68  |   | 900 <sup>x</sup>  |   | 47               |   | 83 <sup>x</sup>  |   | 83 <sup>x</sup>  |
| 27 |   | ЭПВ 480-14 |   | 10-15 |   | 570-400 |   | 15,8 |   | 84  |   |                   |   |                  |   |                  |   |                  |
| 28 |   | ЭПВ 480-21 |   | 15-22 |   | 570-400 |   | 23,8 |   | 69  |   | 59                |   |                  |   |                  |   |                  |
| 29 |   | ЭПВ 480-31 |   | 22-33 |   | 570-400 |   | 35   |   | 62  |   | 132 <sup>x</sup>  |   |                  |   |                  |   |                  |

И т о г о :

23952 2115 4145 4912

Примечание: заведочками обведены типоразмеры, подлежащие освоению.



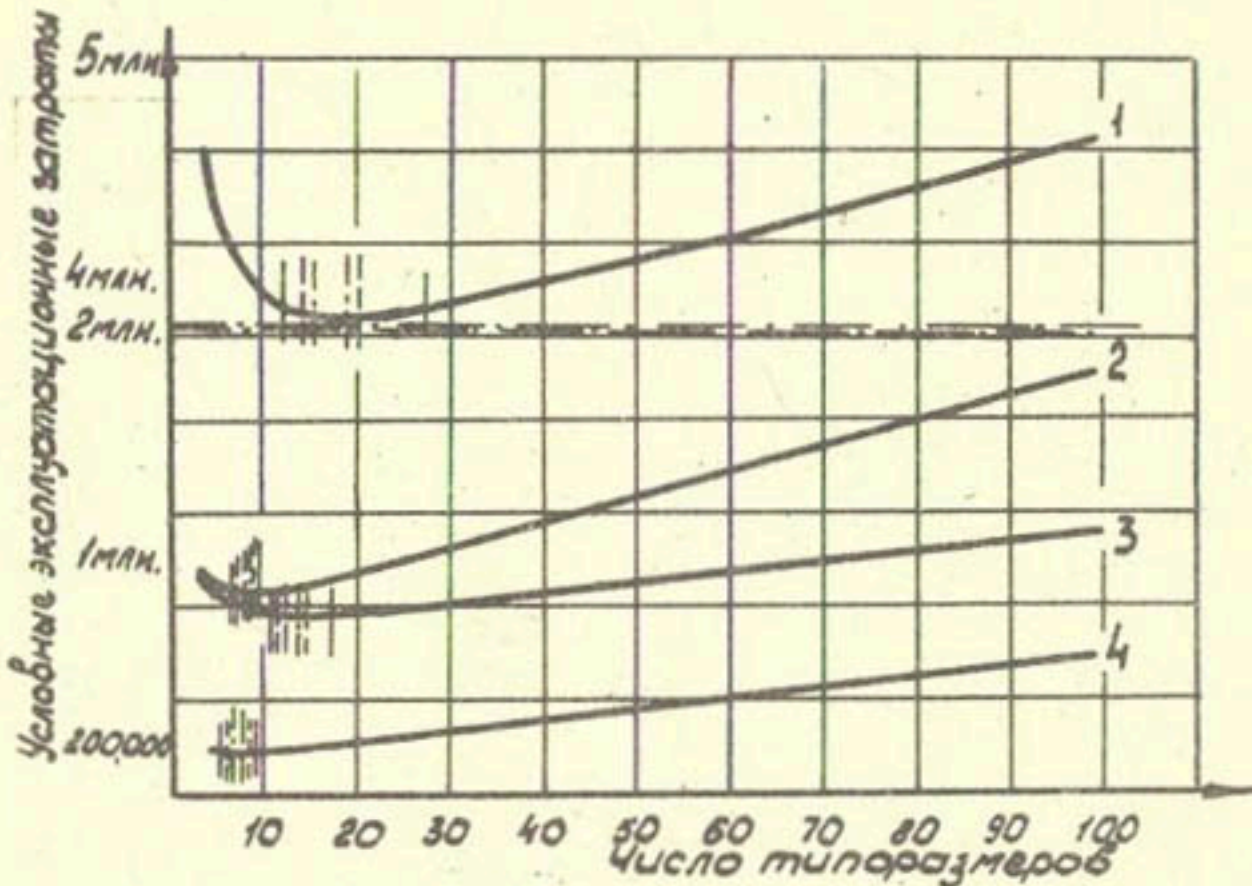


Рис. 25. Зависимость расчетных затрат от числа типоразмеров: 1 —  $N_n = 60$  квт;  $n = 500$  шт; 2 —  $N_n = 60$ ;  $n = 100$ ; 3 —  $N_n = 60$ ;  $n = 500$ ; 4 —  $N_n = 10$  квт;  $n = 100$  шт.

трудно. Так, при изменении числа типоразмеров от 30 до 70 для потребности  $n = 10\,000$  сумма расчетных затрат изменяется лишь на 2–5%. Примерно то же наблюдается при потребности на 5000 штук.

Характер изменения расчетных затрат при большой потребности в насосах позволяет считать, что для заданного поля  $Q - H$  увеличение числа типоразмеров свыше 35 — до 70–100 расчетных затрат практически не изменяет и что при необходимости можно смело ввести дополнительные типоразмеры (свыше 30–35), так как к заметному экономическому ущербу это не приведет.

#### Составление оптимального ряда типоразмеров электропогружных насосов для вертикального дренажа

Для составления оптимального ряда типоразмеров необходимо знать количество работающих скважин вертикального дренажа, а также число скважин, которые будут введены в эксплуатацию за период времени, в течение которого этот



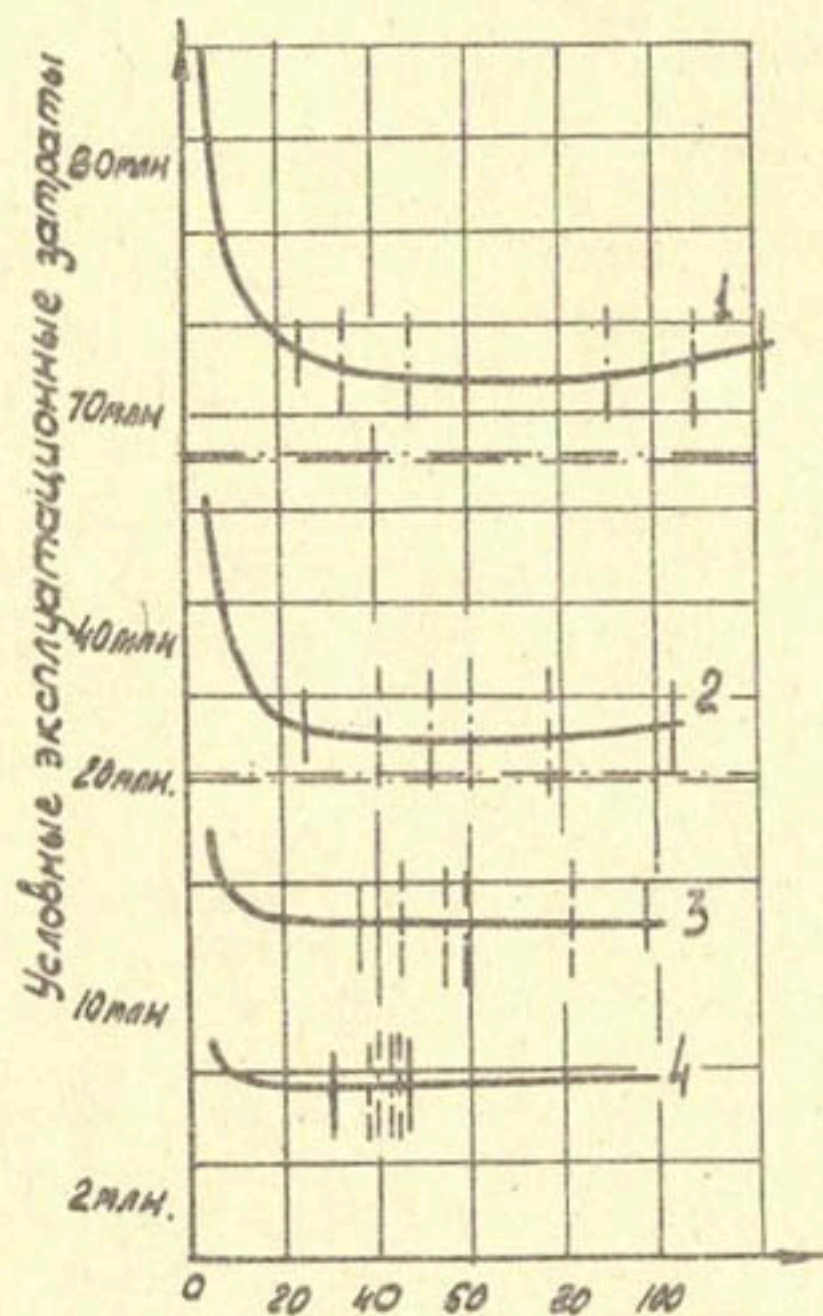


Рис.26. Зависимость расчетных затрат от числа типоразмеров: 1 -  $N_n = 60$  кВт;  $n = 10000$  шт; 2 -  $N_n = 60$ ;  $n = 5000$ ; 3 -  $N_n = 10$ ;  $n = 10000$ ; 4 -  $N_n = 10$  кВт;  $n = 5000$  шт.



ряд останется неизменным и явится руководящим документом.

При изменяющейся с годами потребности в насосах постоянно придерживаться оптимального числа типоразмеров на каждый небольшой период времени (например год) невозможно, так как при изменении числа типоразмеров на заданном поле  $Q - H$  меняются параметры типоразмеров. Типоразмер, вписывающийся в ряд на данном периоде, может не вписаться в ряд в следующий период, т.е. оказаться промежуточным.

Поэтому, по нашему мнению, необходимо определить количество насосов, которые будут эксплуатироваться к концу определенного, достаточно продолжительного отрезка времени (исходя из предположения, что число насосных установок вертикального дренажа будет постоянно увеличиваться), и для этого количества составить оптимальный ряд насосов, число типоразмеров в котором будет равно оптимальному числу их для количества действующих установок к концу принятого отрезка времени.

Оптимальное число типоразмеров на промежуточных этапах будет поддерживаться путем установления последовательности освоения новых типоразмеров по мере роста количества действующих насосных установок. Каждый новый типоразмер будет вписываться в общий ряд и после его освоения изготавливаться до конца принятого отрезка времени (т.е. не будет сниматься с производства).

Нами была предпринята попытка составления оптимальных рядов типоразмеров погружных электронасосов для вертикального дренажа для отрезка времени до 1985 г., исходя из ориентировочного количества и параметров насосных установок, которые будут действовать к концу этого периода в Советском Союзе и, в частности, в Узбекистане.

С этой целью были собраны сведения о планируемом количестве скважин вертикального дренажа и их параметрах ( $Q - H$ ) к концу выбранного отрезка времени. Эти данные были нанесены на поле  $Q - H$  в логарифмических координатах.

При принятии решения об оптимальном ряде типоразмеров учитывались следующие обстоятельства:

I. Увеличение удельного числа типоразмеров более чем  $Z_{уд} = 3,6-4,2$ ;  $Z = 30-36$  для заданного поля  $Q - H$  рас-



четных затрат практически не изменяет;

2. Равномерное распределение типоразмеров по полю  $Q - H$  в логарифмических координатах создает возможность использования одних и тех же погружных электродвигателей для привода насосов с одинаковой мощностью.

Кривые расчетных полезных мощностей представляют собой прямые линии, проходящие под  $45^\circ$  к осям координат (при одинаковом масштабе на оси абсцисс и оси ординат). Поэтому, если в логарифмических координатах принять поля  $Q - H$ , неперекрываемые одним типоразмером, в виде квадрата, то все насосы могут быть объединены в минимальное число групп при условии, что в каждой группе привод насосов будет осуществляться от одного типоразмера погружного электродвигателя.

Если на графиках (рис. 23 и 24) провести прямую параллельно оси абсцисс, с ординатой  $Z_{opt}^{yg} = 3,8$ , то абсциссы точек пересечения этой прямой с кривыми зависимости  $Z_{opt}^{yg} = f(n_{yg})$  будут выражать количество скважин, приходящихся на один типоразмер насоса, при достижении которого изготавливать этот типоразмер экономически целесообразно. Из сравнения зависимостей (рис. 21, 22, 23, 24) видно, что количество насосов, приходящихся на один типоразмер при условии одинаковой стоимости их освоения, значительно превышает эту величину при условии дифференцирования стоимости освоения, особенно для насосов небольшой мощности.

По нашему мнению, предположение о зависимости стоимости освоения типоразмера от его цены ближе к действительности, чем предположение о постоянстве стоимости освоения типоразмера вне зависимости от мощности насоса, поэтому при составлении оптимального ряда и оптимальной последовательности освоения типоразмеров насосов вертикального дренажа, мы будем исходить из предположения, что стоимость освоения типоразмера пропорциональна стоимости насоса.

На рис. 27 представлено ориентировочное число действующих скважин вертикального дренажа, которые будут введены в эксплуатацию к 1985 г.



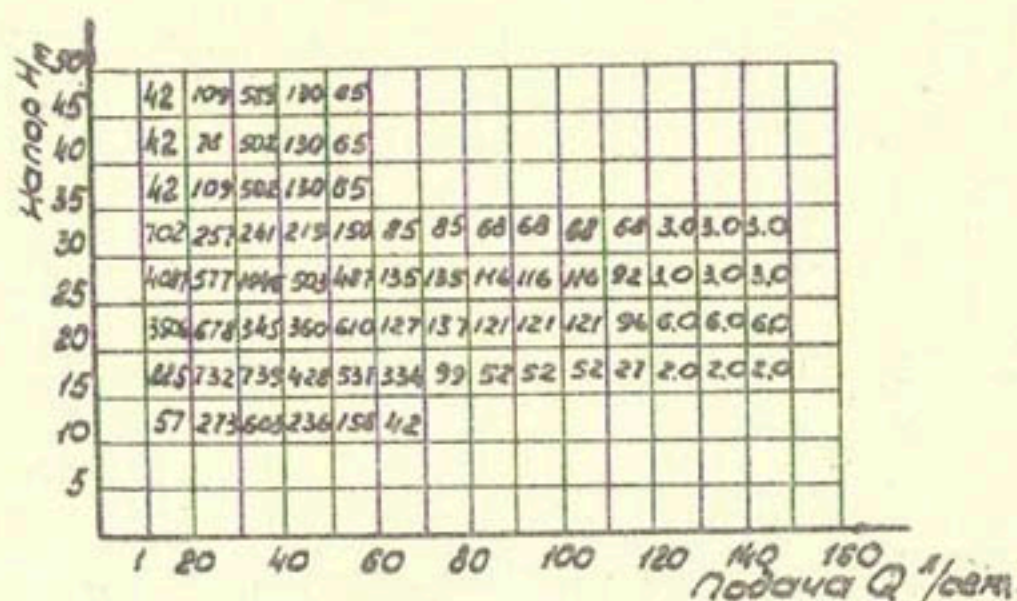


Рис. 27. Распределение числа скважин на поля Q-H.

Площадь поля Q-H в логарифмических координатах будет выглядеть так:

$$F_{\lg} = 10(\lg Q_2 - \lg Q_1)(\lg H_2 - \lg H_1) + (\lg Q_4 - \lg Q_3)(\lg H_4 - \lg H_3).$$

(Q даны в л/сек; H - в метрах),

$$F_{\lg} = 10(\lg 160 - \lg 10)(\lg 35 - \lg 10) + (\lg 55 - \lg 10)(\lg 50 - \lg 35),$$

$$F_{\lg} = 10(2204 - 1) \times (1,544 - 1) + (1,74036 - 1,04) \times (1,699 - 1,544) = 7,696.$$

Удельное количество насосов, приходящееся на единицу площади  $n_{yg} = \frac{23130}{7,696} = 3140$ ; число оптимальных типов-

размеров  $z_{opt} \approx 85$ .

Удельное число типоразмеров при этом по зависимости  $z_{opt, yg} = f(n_{yg})$  составит  $z_{opt, yg} = 10$ , т.е. значительно больше, чем удельное число типоразмеров, после увеличения которого расчетные затраты практически не изменяются (3,6-4,2).

Оптимальное число типоразмеров электропогружных насосов вертикального дренажа к 1985 году для СССР составит:

$$z_{opt} = z_{opt, yg} \cdot F_{\lg} = 10 \times 7696 = 77$$



Учитывая, что после увеличения удельного числа типоразмеров (выше 3,6–4,2) расчетные затраты практически не изменяются, для составления ряда из оптимального числа типоразмеров примем минимальное —  $Z_{\text{опт.уд.}} = 3,8$ . При этом, число типоразмеров будет равно  $Z_{\text{опт}} = 7,696 \times 3,8 = 29$ .

Средний же эксплуатационный к.п.д. для каждого типоразмера составит  $\beta = 0,975$  от максимального к.п.д. насоса, а минимально допустимый к.п.д. — 0,95 от максимального.

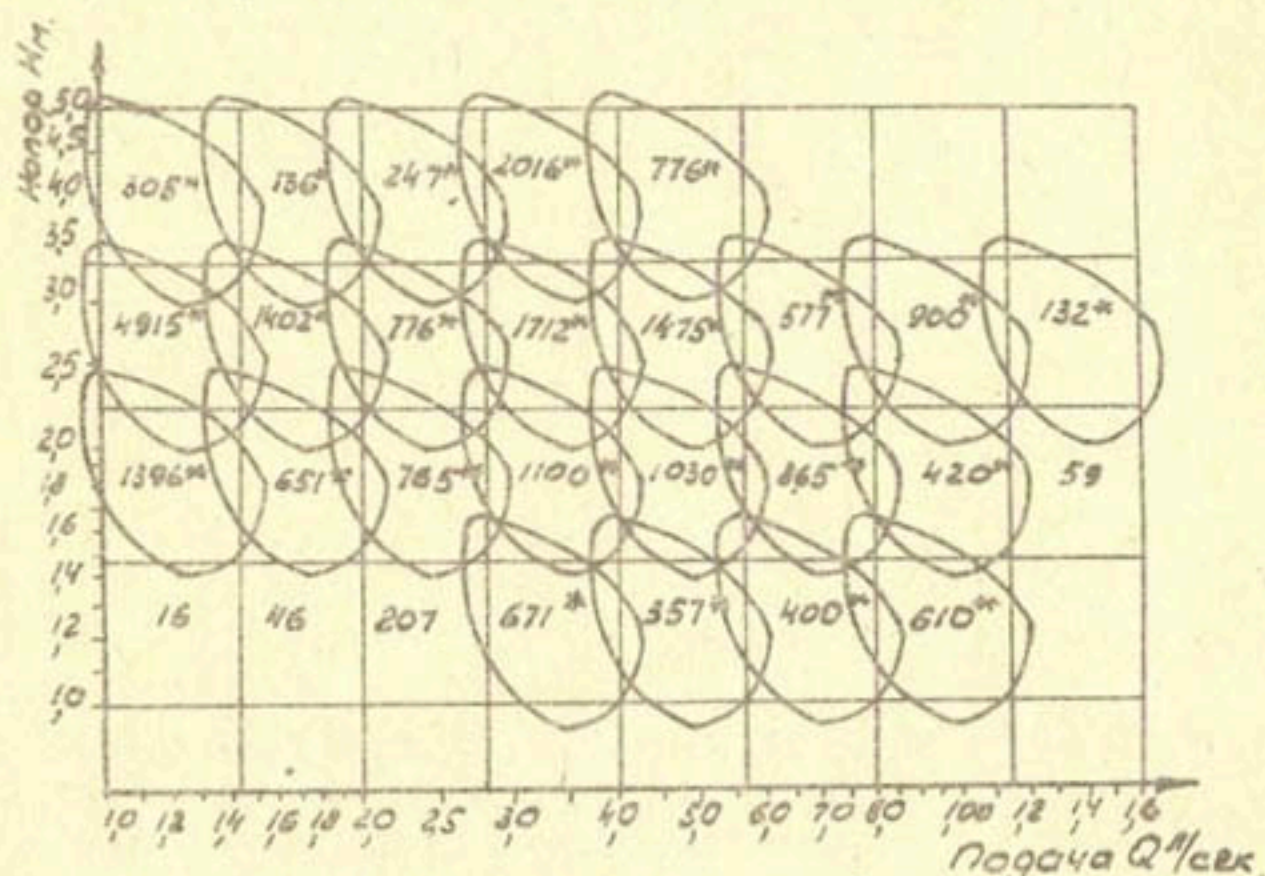


Рис. 28. Распределение полей  $Q-H$  отрицательного числа параметров типоразмеров насосов (цифры на графике — число скважин на I типоразмер).

На рис. 28 представлено поле  $Q-H$  с нанесенными на нем полями принятых типоразмеров с указанием ориентировочного количества насосов, приходящихся на каждый типоразмер в Советском Союзе к 1985 году. Естественно, дальнейшее увеличение типоразмеров рационально в зоне поля  $Q-H$ , где число насосов, приходящееся на один типоразмер, наибольшее.

Мы не располагаем данными о динамике роста числа скважин вертикального дренажа в СССР по годам и их параметрам, поэтому определить оптимальные сроки освоения типоразмеров для СССР не представляется возможным.



В таблице 7 приводится перечень и параметры 29 типоразмеров насосов для вертикального дренажа, полученных в результате расчета. Сравнивая число скважин вертикального дренажа, приходящихся на каждый типоразмер, в этой таблице с числом скважин, приходящихся на один типоразмер (графа 6), при достижении которого этот типоразмер экономически целесообразно изготавливать, можно определить оптимальное число типоразмеров электропогружных насосов для скважин вертикального дренажа на уровне 1985 года. В этой же таблице приведено число скважин вертикального дренажа на территории Узбекистана в 1985 г., приходящихся на каждый типоразмер насоса (рис. 29), а также динамика роста числа скважин по некоторым зонам орошения УзССР (по данным института Узгипроводхоз и Средазгипроводхозов), оптимальное число типоразмеров этой зоны и последовательность их освоения (если предположить, что других зон не существует).

## ВЫВОДЫ

Предложенная методика определения оптимального числа типоразмеров электропогружных насосов для вертикального дренажа позволяет определить:

- оптимальное число типоразмеров для любого поля  $Q-H$  при известном числе скважин и их параметрах;
- нормальный ряд типоразмеров насосов с минимальным отклонением от оптимального;
- последовательность и сроки освоения насосов при наличии данных о динамике роста количества скважин вертикального дренажа и параметрах скважин;
- диапазон изменения числа типоразмеров, в котором расчетные затраты практически не изменяются.

Следует отметить, что при определении оптимального числа типоразмеров для СССР и УзССР нами были использованы ориентировочные данные о стоимости освоения насосов и их себестоимости. Однако при установлении более точных значений этих показателей по эмпирическим формулам легко



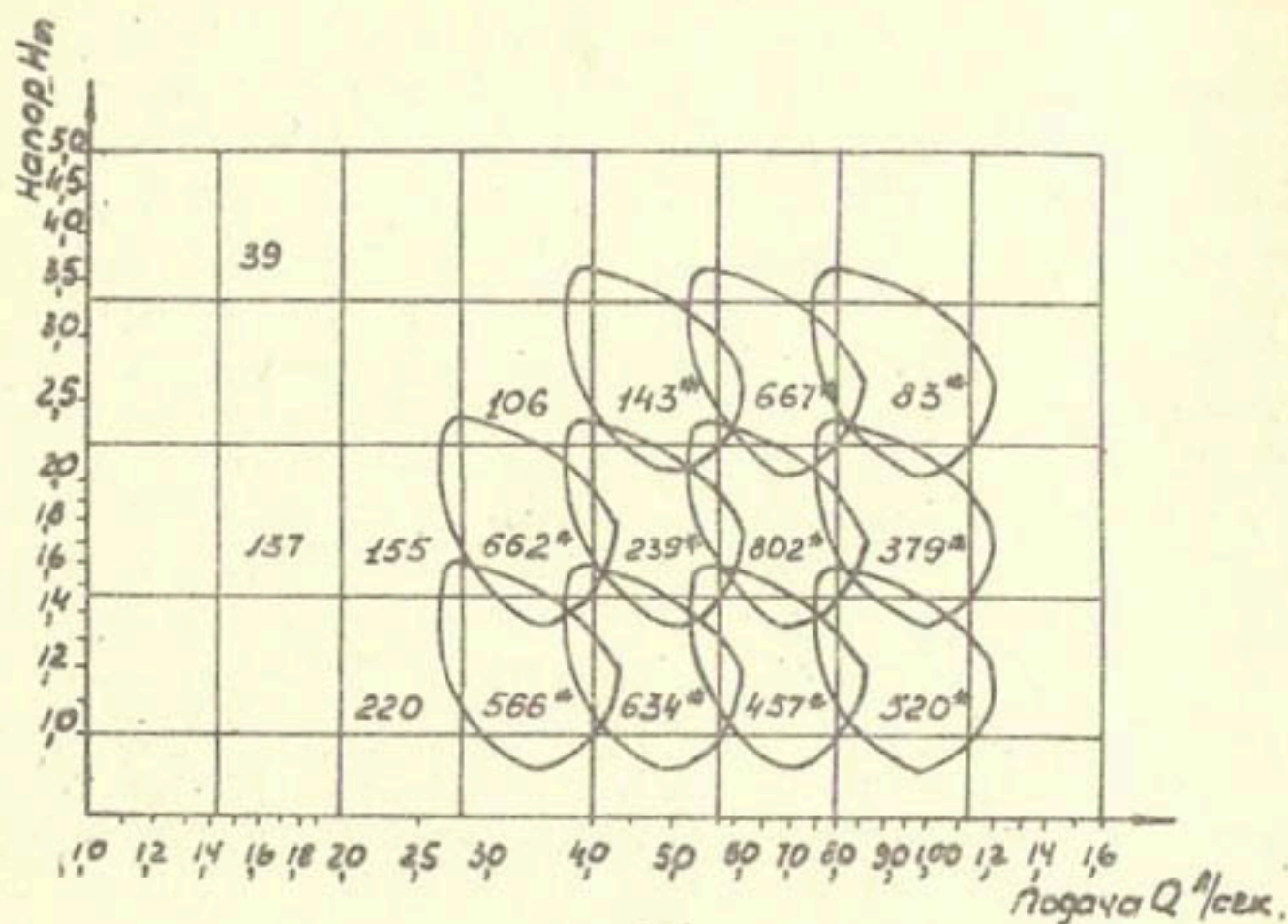


Рис. 29. Распределение полей Q-H типоразмеров, подлежащих освоению по заказам Узбекистана к 1985 г. (без учета потребности по другим зонам).

определить новые значения оптимальных чисел типоразмеров.

По предложенной методике был установлен оптимальный ряд типоразмеров для скважин вертикального дренажа в СССР и УзССР на уровне 1985 года. В качестве примера был определен порядок освоения типоразмеров для некоторых районов УзССР (при предположении об изолированном существовании).



Таблица 7

Оптимальные типоразмеры насосов для установок вертикального дренажа

| Номер по порядку | Марка насоса (предлагаемая) | Диапазон напора, Нм | Диапазон расходов, $Q$ м <sup>3</sup> /час | Средняя полезная мощность, кВт | Число насосов на I типоразмер | Количество действующих скважин |                  |                  |                  |
|------------------|-----------------------------|---------------------|--------------------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|------------------|------------------|------------------|
|                  |                             |                     |                                            |                                |                               | УзССР                          |                  |                  |                  |
|                  |                             |                     |                                            |                                |                               | 1985 г.                        | 1975 г.          | 1980 г.          | 1985 г.          |
| I                | 2                           | 3                   | 4                                          | 5                              | 6                             | 7                              | 8                | 9                | 10               |
| 1.               | ЭЦВ 43-14                   | 10-15               | 51-36                                      | 1,5                            | 350                           | 16                             |                  |                  |                  |
| 2.               | ЭЦВ 43-21                   | 15-22               | 51-36                                      | 2,1                            | 290                           | 1396 <sup>ж</sup>              |                  | 137              | 137              |
| 3.               | ЭЦВ 43-31                   | 22-33               | 51-36                                      | 3,05                           | 230                           | 4915 <sup>ж</sup>              |                  |                  |                  |
| 4.               | ЭЦВ 43-46                   | 33-50               | 51-36                                      | 4,55                           | 160                           | 305 <sup>ж</sup>               |                  |                  |                  |
| 5.               | ЭЦВ 57-14                   | 10-15               | 72-51                                      | 2                              | 295                           | 46                             | 38               |                  |                  |
| 6.               | ЭЦВ 57-21                   | 15-22               | 72-51                                      | 3                              | 230                           | 651 <sup>ж</sup>               |                  |                  |                  |
| 7.               | ЭЦВ 57-31                   | 22-33               | 72-51                                      | 4,4                            | 165                           | 1402 <sup>ж</sup>              |                  |                  |                  |
| 8.               | ЭЦВ 57-46                   | 33-50               | 72-51                                      | 6,6                            | 136                           | 136 <sup>ж</sup>               | 39               | 39               | 39               |
| 9.               | ЭЦВ 86-14                   | 10-15               | 100-72                                     | 2,7                            | 240                           | 207                            | 147              | 197              | 220              |
| 10.              | ЭЦВ 86-21                   | 15-22               | 100-72                                     | 4,2                            | 180                           | 765 <sup>ж</sup>               | 30               | 146              | 155              |
| 11.              | ЭЦВ 86-31                   | 22-33               | 100-72                                     | 6,1                            | 138                           | 766 <sup>ж</sup>               | 10               |                  |                  |
| 12.              | ЭЦВ 86-46                   | 33-50               | 100-72                                     | 9,2                            | 108                           | 247 <sup>ж</sup>               |                  |                  |                  |
| 13.              | ЭЦВ 120-14                  | 10-15               | 145-100                                    | 4,0                            | 170                           | 671 <sup>ж</sup>               | 300 <sup>ж</sup> | 521 <sup>ж</sup> | 566 <sup>ж</sup> |
| 14.              | ЭЦВ 120-21                  | 15-22               | 145-100                                    | 6,0                            | 140                           | 1100 <sup>ж</sup>              | 295 <sup>ж</sup> | 595 <sup>ж</sup> | 662 <sup>ж</sup> |
| 15.              | ЭЦВ 120-21                  | 22-33               | 145-100                                    | 6,9                            | 122                           | 1712 <sup>ж</sup>              | 7                | 100              | 106              |
| 16.              | ЭЦВ 120-46                  | 33-50               | 145-100                                    | 13,3                           | 88                            | 2016 <sup>ж</sup>              |                  |                  |                  |
| 17.              | ЭЦВ 165-14                  | 10-15               | 210-145                                    | 5,9                            | 142                           | 357 <sup>ж</sup>               | 263 <sup>ж</sup> | 453 <sup>ж</sup> | 634 <sup>ж</sup> |



Продолжение таблицы 7

| 1   | 2          | 3     | 4       | 5    | 6   | 7                 | 8                | 9                | 10               |
|-----|------------|-------|---------|------|-----|-------------------|------------------|------------------|------------------|
| 18. | ЭПВ 165-21 | 15-22 | 210-145 | 8,8  | 110 | 1030 <sup>ж</sup> | 154 <sup>ж</sup> | 200 <sup>ж</sup> | 239 <sup>ж</sup> |
| 19. | ЭПВ 165-31 | 22-33 | 210-145 | 12,9 | 94  | 1475 <sup>ж</sup> | 13               | 13               | 143 <sup>ж</sup> |
| 20. | ЭПВ 165-46 | 33-50 | 210-145 | 19,6 | 77  | 776 <sup>ж</sup>  |                  |                  |                  |
| 21. | ЭПВ 250-14 | 10-15 | 290-210 | 8,1  | 114 | 400 <sup>ж</sup>  | 46               | 232 <sup>ж</sup> | 457 <sup>ж</sup> |
| 22. | ЭПВ 250-21 | 15-22 | 290-210 | 12,1 | 94  | 865 <sup>ж</sup>  | 274 <sup>ж</sup> | 667 <sup>ж</sup> | 802 <sup>ж</sup> |
| 23. | ЭПВ 250-31 | 22-33 | 290-210 | 17,8 | 78  | 577 <sup>ж</sup>  | 274 <sup>ж</sup> | 433 <sup>ж</sup> | 667 <sup>ж</sup> |
| 24. | ЭПВ 350-14 | 10-15 | 400-290 | 11,1 | 100 | 610 <sup>ж</sup>  | 186 <sup>ж</sup> | 431 <sup>ж</sup> | 520 <sup>ж</sup> |
| 25. | ЭПВ 350-21 | 15-22 | 400-290 | 16,7 | 81  | 420 <sup>ж</sup>  | 155 <sup>ж</sup> | 290 <sup>ж</sup> | 379 <sup>ж</sup> |
| 26. | ЭПВ 350-31 | 22-33 | 400-290 | 24,4 | 68  | 900 <sup>ж</sup>  | 47               | 83 <sup>ж</sup>  | 83 <sup>ж</sup>  |
| 27. | ЭПВ 480-14 | 10-15 | 570-400 | 15,8 | 84  |                   |                  |                  |                  |
| 28. | ЭПВ 480-21 | 15-22 | 570-400 | 23,8 | 69  | 59                |                  |                  |                  |
| 29. | ЭПВ 480-31 | 22-33 | 570-400 | 35   | 62  | 132 <sup>ж</sup>  |                  |                  |                  |

И т о г о :

23952 2115 4145 4912

Примечание: Звездочками отмечены типоразмеры, подлежащие освоению.



А.П.ОРЛОВА,  
канд. техн. наук, руковод. отдела охраны водных  
ресурсов  
(САНИИРИ им.В.Д.Журина)

### ПРОГНОЗ КАЧЕСТВА ВОДЫ Р.СЫРДАРЬИ

Предварительный прогноз качественного состава воды р.Сырдарьи разработан на основании водного баланса, составленного Средазгипроводхозом в "Схеме комплексного использования водных ресурсов бассейна р.Сырдарьи". Прогноз на 1975 год составлялся с учетом полной механической и неполной биологической очистки стока. Очистка учитывалась лишь там, где согласно плану предусматривался ввод в работу очистных сооружений.

Прогнозирование производили по еловому составу реки по году 75%-ной обеспеченности при водопотреблении на уровне 1975 и 1990 гг. Остальные виды загрязнения рассматривались на случай критического соотношения между количеством сточных вод и речным стоком.

С целью составления прогноза нами было определено следующее:

- Характеристика сточных вод, влияние их на общее санитарное состояние водоема.
- Концентрация ряда компонентов, влияющая на органолептические свойства воды.
- Концентрация отдельных веществ в воде, влияющих на санитарно-токсикологические свойства воды.
- Изменение солевого состава воды (влияние сбросов коллекторно-дренажных и возвратных вод).

Изменение минерализации воды бассейна р.Сырдарьи в основном зависит от количества и качества сбросов коллекторных и возвратных вод. Используя данные исследований

САНИИРИ, Казгипроводхоза, Узгипроводхоза и других организаций, мы приняли следующие изменения минерализации коллекторно-дренажных вод.



Минерализация коллекторных вод Ферганской долины в основном колеблется в пределах 1 – 2,5 г/л. Средневзвешенная минерализация в расчете прогноза принимается равной 1,85 г/л.

По среднему течению минерализация коллекторных вод составляет 1,2 – 4 г/л, а у коллекторов, сток которых поступает в Арнасайскую впадину – до 5,0 г/л и более. Сброс из Арнасайской впадины в Сырдарью, учитываемый в балансе, равен 1,51 км<sup>3</sup>/год, со средневзвешенной минерализацией 3,5 г/л. Принимаемая в расчете прогноза средневзвешенная минерализация воды сброса коллектора в среднем течении р.Сырдарьи равна 2 г/л. По Чакиру минерализация вод коллектора незначительна; средневзвешенная величина ее – 0,8 г/л.

Группа левобережных коллекторов – Главный пойменный с минерализацией от 2,0 до 3,4 г/л, Шурузякский – 2,5 – 5 г/л, и прочие – имеют средневзвешенную минерализацию до 3,0 г/л.

Коллекторные воды нижнего течения мало изучены. В перспективе данный район, в основном, будет орошаться возвратными водами, поэтому предполагается, что минерализация коллекторных вод будет повышена и приблизится к грунтовым водам.

Минерализация изученных коллекторных вод колеблется от 2,5 до 5,0 г/л; у грунтовых вод она очень большая – доходит до 25 г/л. Минерализация в пойме р.Сырдарьи составляет 1–3 г/л; с удалением до сухого русла – 3–5 г/л; ниже – от 5 до 10 г/л (сульфатно-хлоридные воды). Имеются большие массивы с минерализацией грунтовых вод от 10 до 25 г/л и более (хлоридно-сульфатные воды). Поэтому минерализация коллекторных вод в перспективе принимается равной 3,5 г/л.

Составленный прогноз ожидаемой минерализации на уровень 1975 и 1990 гг. является предварительным, так как приведенные расчеты требуют уточнения и дополнительных исследований.

Концентрацию плотного остатка по р.Сырдарье рассчитывали по зависимости

$$K = \frac{Q_1 K_1 + Q_2 K_2 + Q_3 K_3}{Q + Q_1 + Q_2},$$



- где  $K$  – ожидаемая концентрация речных вод данного створа;  
 $Q$  – расход реки, поступающий транзитом к данному створу;  
 $Q_1$  и  $Q_2$  – расходы коллекторных и возвратных вод;  
 $K_1$  – концентрация компонентов в реке;  
 $K_2$  и  $K_3$  – то же соответствующих коллекторов.

Минерализацию любого створа определяли по средневзвешенной минерализации, полученной из суммы произведения расхода на концентрацию как транзитного стока, так и возвратных вод. В результате рассчитывали суммарный ионный сток в миллионах тонн солей в год в данном створе. Делением ионного стока на суммарный расход рассматриваемого створа определяли среднегодовую минерализацию (г/л).

По итогам предварительного прогнозирования минерализация в створе Каль к 1975 г. составит 0,65 г/л. Вниз по течению происходит наращивание минерализации воды за счет сброса коллекторно-дренажных вод, и содержание плотного остатка по створу Бекабад составляет 1,03 г/л, Надеждинский – 1,12 г/л.

В створе Кокбулак концентрация плотного остатка, вследствие притока вод Чирчик-Ангренского бассейна с пониженной концентрацией равна 1,06 г/л., в створе Чардара – 1,36 г/л. На участке Чардара-Казалинск прирост минерализации составляет 0,5 г/л. Это объясняется тем, что, хотя сброс коллекторных вод на данном участке и незначителен, однако, солевые запасы в грунтовых водах и почвах колеблются в очень больших пределах. Вследствие этого концентрация плотного остатка в створе Казалинск составляет 1,77 г/л. Таким образом, по прогнозу на 1975 г. предполагаемое изменение минерализации по р.Сырдарье составляет от 0,65 до 1,81 г/л.

В перспективе к 1990 г. качество воды по створу Каль остается без изменения, т.е. 0,65 г/л. Основное изменение концентрации компонентов воды стока ожидается в среднем течении и максимальное – в низовье реки. Так, в среднем тече-



нии величина плотного остатка по створу Бекабад составит 1,25 г/л, а по Кокбулаку – уже 1,16 г/л; в Надеждинском – она будет равна 1,42 г/л; по створу Чардара – 1,41 г/л, а в Казалинску концентрация увеличится до 2,2 г/л (со сбором в Аральское море 2,42 г/л).

Таким образом, на участке от Чардары до Казалинска концентрация плотного остатка за 20 лет возрастет почти на 1 г/л. Ввиду того, что коллекторные воды дважды используются на орошение, минерализация их принята в 3,5 г/л. От истока до устья минерализация Сырдарьи будет увеличиваться и в 1990 г. достигнет 1,8 г/л.

Результаты расчета по прогнозу на уровне развития орошения на 1975–1990 гг. приведены в табл. I. Как видно из таблицы, изменения минерализации в истоке почти не произойдет. Основное увеличение ее ожидается в низовье – на 1 г/л и в среднем течении – до 0,5 г/л. Резкое ухудшение качества воды произойдет за счет изменения ее анионно-катионного состава с увеличением легко растворимых солей ( $\text{Na}^+ \text{Mg}^{++} \text{Ca}^{++}$ ).

До створа Каль среди анионов будут преобладать карбонатные соли  $\text{HCO}_3^-$ , катионов –  $\text{Ca}^{++}$  и только в верховье Нарына –  $\text{Mg}^{++}$ . Начиная со створа Акджар до Аральского моря будет превалировать сульфатная группа анионов  $\text{SO}_4^{--}$ , а среди катионов – Ca. Затем появятся равнозначные количества катионов  $\text{Mg}^{++}$  и  $\text{Na}^+$  и ниже Тимень–Арыка будет преобладать катион  $\text{Na}^+$ .

Анионно-катионный состав воды изменяется в зависимости от величины плотного состава. До суммы ионов 0,6–0,8 г/л преобладает  $\text{HCO}_3^-$ , а при большей минерализации воды –  $\text{SO}_4^{--}$ . Среди катионов до 0,7–0,8 г/л преобладает  $\text{Ca}^{++}$ , а при более высокой минерализации –  $\text{Na}^+ \approx \text{Mg}^{++}$ . С гидропостата Надеждинского при сумме ионов выше 0,8–1,0 г/л преобладает катион  $\text{Na}^+$ . В нижнем течении Сырдарьи с 1975 г. будут преобладать  $\text{Na}^{++}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{--}$  и увеличится  $\text{Mg}^{++}$ .

При повышении минерализации до 3 г/л употребление воды р. Сырдарьи для целей водоснабжения делается непригодным. Использование ее для орошения должно быть изучено.



## Т а б л и ц а 1

Прогноз анионно-катионного состава воды бассейна р.Сырдарьи

| Но-<br>мер:<br>по:<br>по-<br>ряд<br>ку: | Наименование<br>створа | Современное состояние                          |                               |                                  |                               | 1985 г.        |                               |                                   |                                                | 1990 г.                       |                     |                     |  |
|-----------------------------------------|------------------------|------------------------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|-------------------------------|----------------|-------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------------------|-------------------------------|---------------------|---------------------|--|
|                                         |                        | средн.<br>годо-<br>вая ми-<br>нерали-<br>зация | преобладающие<br>анио-<br>ны  | катио-<br>ны                     | преобладающие<br>анио-<br>ны  | средн.<br>год. | преобладающие<br>анио-<br>ны  | катио-<br>ны                      | средн.<br>годо-<br>вая ми-<br>нерали-<br>зация | преобладающие<br>анио-<br>ны  | катио-<br>ны        |                     |  |
| 1.                                      | Нарын, п.Учкурган      | 0,44                                           | HCO <sub>3</sub> <sup>1</sup> | Ca <sup>..</sup>                 | HCO <sub>3</sub> <sup>1</sup> | 0,59           | HCO <sub>3</sub> <sup>1</sup> | Ca                                | 0,59                                           | HCO <sub>3</sub> <sup>1</sup> | Ca <sup>..</sup>    | Ca <sup>..</sup>    |  |
| 2.                                      | Капардья с притоками   | 0,56                                           | HCO <sub>3</sub> <sup>1</sup> | Ca <sup>..</sup>                 | HCO <sub>3</sub> <sup>1</sup> | 0,65           | HCO <sub>3</sub> <sup>1</sup> | Ca                                | 0,65                                           | HCO <sub>3</sub> <sup>1</sup> | Ca <sup>..</sup>    | Ca <sup>..</sup>    |  |
| 3.                                      | Сырдарья, исток        | 0,64                                           | HCO <sub>3</sub> <sup>1</sup> | Ca <sup>..</sup>                 | HCO <sub>3</sub> <sup>1</sup> | 0,60           | HCO <sub>3</sub> <sup>1</sup> | Ca                                | 0,60                                           | HCO <sub>3</sub> <sup>1</sup> | Ca <sup>..</sup>    | Ca <sup>..</sup>    |  |
| 4.                                      | Сырдарья, Кайраккум    | 0,92                                           | SO <sub>4</sub> <sup>..</sup> | Ca <sup>..</sup> Na <sup>1</sup> | SO <sub>4</sub> <sup>..</sup> | 0,98           | SO <sub>4</sub> <sup>..</sup> | Mg <sup>..</sup> Na               | 1,21                                           | SO <sub>4</sub> <sup>..</sup> | Mg <sup>..</sup> Na | Mg <sup>..</sup> Na |  |
| 5.                                      | Сырдарья, Бекабад      | 0,95                                           | SO <sub>4</sub> <sup>..</sup> | Na <sup>1</sup>                  | SO <sub>4</sub> <sup>..</sup> | 1,03           | SO <sub>4</sub> <sup>..</sup> | Mg <sup>..</sup> Na               | 1,25                                           | SO <sub>4</sub> <sup>..</sup> | Mg <sup>..</sup> Na | Mg <sup>..</sup> Na |  |
| 6.                                      | Сырдарья, Надеждинский | 0,97                                           | SO <sub>4</sub> <sup>..</sup> | Na <sup>1</sup>                  | SO <sub>4</sub> <sup>..</sup> | 1,12           | SO <sub>4</sub> <sup>..</sup> | Na <sup>..</sup> Mg               | 1,42                                           | SO <sub>4</sub> <sup>..</sup> | Mg <sup>..</sup> Na | Mg <sup>..</sup> Na |  |
| 7.                                      | Чакир                  | 0,7                                            | HCO <sub>3</sub> <sup>1</sup> | Ca <sup>..</sup>                 | HCO <sub>3</sub> <sup>1</sup> | 0,9            | HCO <sub>3</sub> <sup>1</sup> | Ca <sup>..</sup>                  | 0,71                                           | HCO <sub>3</sub> <sup>1</sup> | Ca <sup>..</sup>    | Ca <sup>..</sup>    |  |
| 8.                                      | Кокбулак               | 0,75                                           | SO <sub>4</sub> <sup>..</sup> | Na <sup>1</sup>                  | SO <sub>4</sub> <sup>..</sup> | 1,06           | SO <sub>4</sub> <sup>..</sup> | Na <sup>..</sup> Mg <sup>..</sup> | 1,16                                           | SO <sub>4</sub> <sup>..</sup> | Mg <sup>..</sup> Na | Mg <sup>..</sup> Na |  |
| 9.                                      | Чардара                | 0,77                                           | SO <sub>4</sub> <sup>..</sup> | Na <sup>1</sup>                  | SO <sub>4</sub> <sup>..</sup> | 1,36           | SO <sub>4</sub> <sup>..</sup> | Na <sup>..</sup> Mg <sup>..</sup> | 1,41                                           | SO <sub>4</sub> <sup>..</sup> | Mg <sup>..</sup> Na | Mg <sup>..</sup> Na |  |
| 10.                                     | Тюмень-Арык            | 0,87                                           | SO <sub>4</sub> <sup>..</sup> | Mg <sup>..</sup> Na <sup>1</sup> | SO <sub>4</sub> <sup>..</sup> | 1,38           | SO <sub>4</sub> <sup>..</sup> | Na <sup>1</sup>                   | 1,57                                           | SO <sub>4</sub> <sup>..</sup> | Na <sup>1</sup>     | Na <sup>1</sup>     |  |
| 11.                                     | Кызыл-Орда             | 0,94                                           | SO <sub>4</sub> <sup>..</sup> | Mg <sup>..</sup> Na <sup>1</sup> | SO <sub>4</sub> <sup>..</sup> | 1,60           | SO <sub>4</sub> <sup>..</sup> | Na <sup>1</sup>                   | 1,99                                           | SO <sub>4</sub> <sup>..</sup> | Na <sup>1</sup>     | Na <sup>1</sup>     |  |
| 12.                                     | Казалинск              | 0,98                                           | SO <sub>4</sub> <sup>..</sup> | Na <sup>1</sup>                  | SO <sub>4</sub> <sup>..</sup> | 1,77           | SO <sub>4</sub> <sup>..</sup> | Na <sup>1</sup>                   | 2,2                                            | SO <sub>4</sub> <sup>..</sup> | Na <sup>1</sup>     | Na <sup>1</sup>     |  |
| 13.                                     | Сбор в Аральское море  | 1,0                                            | SO <sub>4</sub> <sup>..</sup> | Na <sup>1</sup>                  | SO <sub>4</sub> <sup>..</sup> | 1,81           | SO <sub>4</sub> <sup>..</sup> | Na <sup>1</sup>                   | 2,42                                           | SO <sub>4</sub> <sup>..</sup> | Na <sup>1</sup>     | Na <sup>1</sup>     |  |



Дополнительно был составлен прогноз качественного состава воды р.Сырдарьи с учетом промышленного и хозяйственного бытового загрязнения (табл.2).

Прогноз качества воды на 1975 г. составлялся с учетом неполной механической и биологической очистки стока; на 1990 г. – с учетом полной очистки стока. С этим учетом и был рассчитан состав остаточных загрязнений и влияние их на водоток.

Результаты прогноза качества воды по створам следующие. – Створ Каль на современном уровне, как и к 1975 г., относится к водотокам III категории. После залповых сбросов Андижанского гидролизного завода и стоков городов Андижана, Намангана, БПК<sub>5</sub> на данном участке будет равна 4,5-7 мг/л; окисляемость достигнет 16 мг/л, коли-титр – 0,04.

На уровне 1990 г. этот участок с учетом полной очистки стока перейдет в чистый водоток. Так, БПК<sub>5</sub> определяется в 2,2 мг/л, т.е. в пределах нормы. Далее по реке происходит самоочищение, и вновь она загрязняется только после Сохского и Каракалпакского коллекторов, где река загрязняется, в основном, нефтепродуктами пропарочной станции и нефтеперерабатывающего завода.

– В створе Акдзар на уровне 1975 г. водоток будет загрязнен пленкой нефти до Кайраккумского водохранилища. На этом участке появляются дополнительные сбросы со стороны г.Коканда и г.Ленинска. БПК<sub>5</sub> на уровне 1975 г. доходит до 3,5 мг/л, коли-титр – до 0,04; водоток относится к III категории. На уровне 1990 г. после полной очистки отсутствия сброса с нефтеперерабатывающих заводов, пропарочной станции и железнодорожного транспорта, р.Сырдарья на этом участке будет водотоком II категории.

– Створ Бекабадский на участке, который распространяется до сбросов р.Ахангаран и р.Чирчик от Кайраккумского водохранилища, имеет стоки, идущие транзитом из верхнего участка, и дополнительные стоки – с участка левобережного Верхне-Сырдарьинского, а также правобережного водохозяйственного районов.



## Прогноз качественного состава воды р.Сырдарьи

| Участок                                   | 1970 год                 |              |          |                        |        |
|-------------------------------------------|--------------------------|--------------|----------|------------------------|--------|
|                                           | млн. м <sup>3</sup> /год |              |          | мг/л                   |        |
|                                           | хоз-                     | произ-       | сущ.     |                        |        |
|                                           | быт. стоки               | водст-венные | очист-ка | компоненты загрязнения |        |
| Каль                                      | 1,6                      | 2,7          | 2,9      | БПК <sub>5</sub> - 7   |        |
|                                           |                          |              |          | Окисляемость           | - 16   |
|                                           |                          |              |          | Коли-титр              | - 0,04 |
| Акджар                                    | 82,7                     | 109          | 69,5     | БПК <sub>5</sub>       | - 4,6  |
|                                           |                          |              |          | Пленка нефти           |        |
| Бекабад                                   | 90,1                     | 127,5        | 71,3     | БПК <sub>5</sub>       | - 4,5  |
|                                           |                          |              |          | Коли-титр              | - 0,04 |
| Надеждинский<br>(створ само-<br>очищения) | 141,1                    | 127,5        | 71,3     | Коли-титр              | - 0,04 |
|                                           |                          |              |          | Пл.остаток             | - 900  |
|                                           |                          |              |          | Общ.жестк.             | -10,2  |
|                                           |                          |              |          | Сульфаты               | - 500  |
| Кокбулак                                  | 414,1                    | 802,5        | 582,0    | Аммиак                 | - 2,5  |
|                                           |                          |              |          | БПК <sub>5</sub>       | - 5,8  |
|                                           |                          |              |          | Коли-титр              | - 0,04 |
| Кызыл-Орда                                | 421,1                    | 841,5        | 582,6    | Коли-титр              | - 0,04 |
|                                           |                          |              |          | БПК <sub>5</sub>       | - 7,5  |
|                                           |                          |              |          | Окисляем.              | - 18   |
|                                           |                          |              |          | Пл.остаток             | - 900  |
| Казалинск                                 | 421,4                    | 846,1        | 582,6    | БПК <sub>5</sub>       | - 5,0  |
|                                           |                          |              |          | Коли-титр              | -0,001 |
|                                           |                          |              |          | Пл.остаток             | -1406  |



Т а б л и ц а 2

на 1975-1990 гг.

| 1975 год         |                         |                            |                 |                           |        |                  |
|------------------|-------------------------|----------------------------|-----------------|---------------------------|--------|------------------|
| кате-<br>гория   | млн.м <sup>3</sup> /год |                            |                 | мг/л                      |        | кате-<br>гория   |
| загряз-<br>нения | хоз-<br>быт.            | произ-<br>водст-<br>венные | сущ.<br>очистка | компоненты<br>загрязнения |        | загряз-<br>нения |
| III              | 4,6                     | 3,7                        | 3,2             | БПК <sub>5</sub>          | - 4,5  | III              |
|                  |                         |                            |                 | Коли-титр                 | - 0,4  |                  |
| IV               | 12,9                    | 142,2                      | 107,5           | БПК <sub>5</sub>          | - 3,5  | III              |
|                  |                         |                            |                 | Пленка нефти              |        |                  |
|                  |                         |                            |                 | Коли-титр                 | - 0,04 |                  |
| IV               | 144,3                   | 162,2                      | 109,5           | БПК <sub>5</sub>          | - 4,0  | III              |
|                  |                         |                            |                 | Коли-титр                 | - 0,04 |                  |
| III              |                         |                            |                 | Коли-титр                 | - 0,04 | II               |
| III              | 507,4                   | 964,2                      | 790             | Аммиак                    | - 2,5  | III              |
|                  |                         |                            |                 | БПК <sub>5</sub>          | - 4,5  |                  |
|                  |                         |                            |                 | Коли-титр                 | - 0,01 |                  |
|                  |                         |                            |                 | Пл.остаток                | - 1200 |                  |
| III              | 515                     | 1019                       | 796             | Коли-титр                 | - 0,04 | III              |
|                  |                         |                            |                 | БПК <sub>5</sub>          | - 5,5  |                  |
|                  |                         |                            |                 | Окисляем.                 | - 14   |                  |
|                  |                         |                            |                 | Пл.остаток                | - 1600 |                  |
| III              | 516                     | 1024                       | 797             | БПК <sub>5</sub>          | - 4,0  | III              |
|                  |                         |                            |                 | Коли-титр                 | - 0,04 |                  |
|                  |                         |                            |                 | Пл.остаток                | - 1500 |                  |
|                  |                         |                            |                 | Сульфаты                  | - 0,6  |                  |



Продолжение табл. 2

| Участок                                   | 1990 год                 |                                 |                      |                           |       |  | ка-<br>тего-<br>рия<br>за-<br>гряз-<br>не-<br>ния |      |      |
|-------------------------------------------|--------------------------|---------------------------------|----------------------|---------------------------|-------|--|---------------------------------------------------|------|------|
|                                           | млн. м <sup>3</sup> /год |                                 |                      | мг/л                      |       |  |                                                   |      |      |
|                                           | хоз-<br>быт.             | произ-<br>водст-<br>вен-<br>ные | сущ.<br>очист-<br>ка | компоненты<br>загрязнения |       |  |                                                   |      |      |
|                                           |                          |                                 |                      |                           |       |  |                                                   |      |      |
| Каль                                      | 169                      | 14                              | 165                  |                           |       |  | II                                                | 183  | 175  |
| Акижар                                    |                          |                                 |                      |                           |       |  | II                                                |      |      |
| Бекабад                                   | 1048                     | 888                             | 1916                 | БПК <sub>5</sub>          | - 2,7 |  | II                                                | 1936 | 1839 |
| Надеждинский<br>(створ само-<br>очищения) |                          |                                 |                      |                           |       |  | II                                                |      |      |
| Кокбулак                                  | 1964                     | 2919                            |                      | БПК <sub>5</sub>          | - 2,7 |  | III                                               | 4883 | 4683 |
|                                           |                          |                                 |                      | Пл.остаток                |       |  |                                                   |      |      |
|                                           |                          |                                 |                      | 1300                      |       |  |                                                   |      |      |
| Кызыл-Орда                                | 2164                     | 2928                            | 4360                 | БПК <sub>5</sub>          | - 3,0 |  | III                                               | 5092 | 4837 |
|                                           |                          |                                 |                      | Пл.остаток                |       |  |                                                   |      |      |
|                                           |                          |                                 |                      | 2200                      |       |  |                                                   |      |      |
| Казалинск                                 | 2264                     | 2943                            | 4470                 | Пл.остаток                |       |  | III                                               | 5207 | 4946 |
|                                           |                          |                                 |                      | 2500                      |       |  |                                                   |      |      |



На данном участке компоненты основного вида загрязнения на 1975 г. будут те же, что и на современном уровне. Это хозяйственно-бытовые сточные воды, дающие увеличение БПК<sub>5</sub> до 4,0 мг/л, коли-титра до 0,04.

На уровне 1990 г. несколько повысится БПК<sub>5</sub> - до 2,7 мг/л, за счет 5%-ной недоочистки хозяйственно-бытовых стоков, что принято в условиях полной биологической очистки стока,

На уровне 1990 г. р.Сырдарья на Бекабадском участке будет водотоком II категории.

- Надеждинский створ до сброса р.Ахангаран - это участок самоочищения; на уровне 1975 г. он относится к III категории за счет повышения нормы плотного остатка, сульфатов, магния и жесткости. Прогнозируемая величина плотного остатка на уровне 1990 г. равна 1,42 мг/л; соответственно возрастают и сульфаты, и соли магния. По минерализации Сырдарья в створе Надеждинском на уровне 1990 г. будет относиться к водотоку III категории.

- Кокбулакский створ. Основное загрязнение Сырдарья получает за счет сбросов р.Чирчик, Ахангаран, Геджиген. На уровне 1975 г. основными компонентами загрязнения являются БПК<sub>5</sub> - 4,5 мг/л; коли-титр - 0,04; соли аммония - 2,5 мг/л. Специфическим загрязнением на этом участке является повышение азотной группы солей аммония, нитратов, нитритов за счет сбросов промышленных сточных вод ЧЭХК; хозяйственных вод городов Ангрена, Ташкента, Чирчика, Янгйюля и вносимых удобрений Чирчик-Ангрен-Келесского бассейна. Участок реки относится к водотоку III категории. Прогноз на уровне 1990 г. дает повышение БПК<sub>5</sub> до 2,7 мг/л; плотного остатка - до 1,4 мг/л. Река относится к водотокам II категории.

- Кзылординский участок на уровне 1975 г. имеет повышенную БПК<sub>5</sub> - до 5,5 мг/л, окисляемость до 14 мг/л, в створе полного смешения после сбросов ЦКК величина плотного остатка достигает 1,5 мг/л, коли-титра - до 0,04. Участок III категории.



- Казалинск - участок после сбросов сточных вод города; река в 1975 г. относится к водотоку III категории, БПК возрастает до 4,0 мг/л, плотный остаток - до 1,5-1,6 мг/л; коли-титр - до 0,04.

В результате разработанного прогноза качества на 1975 - 1990 годы была составлена "Схема качества воды р.Сырдарьи в перспективе".

Данный прогноз может быть использован при водохозяйственных расчетах.

### Л и т е р а т у р а

1. Г е н е р а л ь н а я с х е м а комплексного использования и охраны водных ресурсов Узбекской, Киргизской, Таджикской и Туркменской ССР (первый этап 1966-1970 гг.). Ташкент, УЗИНТИ, 1965.
2. Л а з а р е в К.Г., Я к у ш е в а Н.С. Ожидаемые изменения минерализации и относительного состава воды в бассейне р.Сырдарьи (на уровне 1980 г.). Гидрохимические материалы, т.Х, Л., Гидрометеоиздат, 1965.
3. О р л о в а А.П. Вопросы охраны и очистки от загрязнения водных источников Средней Азии. "Вопросы гидротехники", вып.33, Ташкент, 1968.
4. У к л о н с к и й А.С. Материалы для геохимической характеристики вод Туркестана. Управление водного хозяйства в Средней Азии, Ташкент, 1925.
5. А л е к и н О.А. Гидрохимия рек СССР, ч.III, гл.УІ, Труды ГТИ, вып.15, М., 1949.



А.П.ОРЛОВА,  
канд.техн.наук, рук. отдела  
Л.В.ЯРОШЕНКО,  
ст.инженер  
Н.А.СОЛОДКИНА  
мл.научн.сотр.

(САНИИРИ им. В.Д. Журина)

## ХАРАКТЕРИСТИКА КАЧЕСТВА ВОДЫ ВОДОТОКОВ БАССЕЙНА Р.СЫРДАРЬИ И РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ЕЕ ОХРАНЕ

Вопросы качества воды и степень ее загрязнения, а также разработка мероприятий по охране водотоков от загрязнения подчеркнута постановлением СМ СССР от 22 апреля 1960 г. "О мерах по упорядочению использования и охраны водных ресурсов", а также целым рядом постановлений союзных республик, в том числе и постановлением УзССР "О мерах по улучшению использования и усилению охраны водных ресурсов".

Отделом охраны водных ресурсов САНИИРИ проведены научные исследования в бассейне реки Сырдарья, направленные на выполнение этих постановлений.

Основными источниками загрязнения р.Сырдарья являются промышленные, хозяйственно-бытовые сточные воды и коллекторно-дренажные сбросы.

Общее количество промышленных и хозяйственно-бытовых сточных вод составляет 1 млрд. 267 млн.м<sup>3</sup>/год, коллекторных - 12 км<sup>3</sup>/год.

Река Сырдарья от истока до Кайраккумского водохранилища получает 212,5 млн.м<sup>3</sup>/год сточных вод Ферганской долины, в том числе промышленных 129,8 млн.м<sup>3</sup>/год, из них 42% сбрасывается без очистки.

В настоящее время 28 крупных промышленных предприятий, нефтепромыслов и ряд коммунально-бытовых объектов загрязняют водотоки Ферганской долины.

Только в стоках Ферганского нефтеперерабатывающего завода содержится от 20 до 500 мг/л нефти и от 5 до 2000 мг/л



фенолов, в год сбрасывается до 1550 т. нефти и 800 т. фенолов.

Азотнотуковый комбинат сбрасывает в водотоки вместе с промышленными сточными водами 233 т. аммиачной селитры и 103 т. аммиака в месяц.

В сточных водах Алтынаркского нефтеперерабатывающего завода содержится до 1000 мг/л нефтепродуктов и до 30 мг/л фенолов.

В залповых сбросах пропарочной станции — до 20300 мг/л нефти и фенолов.

В г.Коканде самым крупным промышленным объектом и основным источником загрязнения водных ресурсов является суперфосфатный завод, в стоках которого до 3000 мг/л соляной кислоты, фтора 250 мг/л,  $pH = 1,6$ . Стоки завода вместе со стоками горканизации, чулочне-прядельной фабрики сбрасываются в Сохский коллектор, загрязняя его фтором, жирами, повышая БПК<sub>5</sub> и снижая кислород.

Сточные воды г.Андижана попадают в испарительно-накопительные карты с расходом 11713 м<sup>3</sup>/сут., работающие как поля фильтрации. В период перегрузки карт сток, имеющий БПК<sub>5</sub> до 1610 мг/л, окисляемость до 935 мг/л,  $pH = 3,8$ , сероводород до 6,5 мг/л, взвешенные вещества до 5310 мг/л, непосредственно поступает в р.Карадарью, сильно загрязняя ее. На качество воды р.Карадарьи, а следовательно, и р.Сырдарьи влияют и сточные воды г.Намангана и г.Ленинска.

Река на участке от Кейраккумского до Чардаринского водохранилища получает 949 млн.м<sup>3</sup>/год сточных вод с Чирчик-Ангренского промышленного района, а по бассейну р.Чирчик сумма сброса сточных вод составляет 20,3 м<sup>3</sup>/сек (включая Ташкентскую область), по бассейну р.Ахангаран 9,2 м<sup>3</sup>/сек. Общее количество сточных вод по Чирчик-Ангренскому бассейну определено в 30,5 м<sup>3</sup>/сек.

Самым крупным промышленным объектом, загрязняющим р.Чирчик, является сток Чирчикского электрохимического комбината, имеющий сброс 9,8 м<sup>3</sup>/сек, загрязненный солями аммония от 10 до 520 мг/л, нитратами от 25 до 560 мг/л, нитритами до 6 мг/л. Другим крупным производством, сбрасыва-



ющим сильно загрязненные воды в р.Чирчик, является комбинат тугоплавких и жаропрочных металлов. Сточные воды его содержат ионов аммония до 2800 мг/л, нитратов до 15060 мг/л, нитритов до 70 мг/л, плотный остаток до 20000 мг/л. На качество воды р.Чирчик влияет также сброс сточных вод г.Ташкента и примыкающих к нему районов в размере 558,8 т.м<sup>3</sup>/сут, из них сток очистных сооружений с повышенным БПК<sub>5</sub> до 60 мг/л, окисляемостью до 72 мг/л составляет 259 мг/л. Ухудшают качество воды и сбросы джуто-кенафных заводов, имеющие большое органическое загрязнение, в результате резко меняется БПК<sub>5</sub> речной воды до 70 мг/л, окисляемость возрастает до 38,5 мг/л, увеличивается содержание аммонийного азота и взвешенных веществ.

Вторым водотоком, влияющим на качество воды р.Сырдарьи на этом участке, является р.Ахангаран с общим сбросом сточных вод Ахангаранского бассейна 800 т.м<sup>3</sup>/сут, из них производственных 548 т.м<sup>3</sup>/сут. Крупными источниками загрязнения р.Ахангаран являются Ангренская и Ахангаранская горканализации, джуто-кенафные заводы, угольный разрез и шахта № 9. Стоки в виде пульпы из-за разрушенного пульпопровода не поступают на гидроотвалы, а сбрасываются в реку, в результате чего вода в реке приобретает темно-серый цвет на расстоянии 50 км, несет взвеси до 2300 мг/л, фенолы.

Участок реки от Чардаринского водохранилища до Аральского моря рассматривается в пределах Чимкентской и Кызылординской областей, суммарный сброс сточных вод которых составляет 138 млн.м<sup>3</sup>/год, из них 54 млн.м<sup>3</sup>/год попадают в Сырдарью. Основным загрязнителем на этом участке реки является р.Арысь, куда впадает р.Бадам со своими сточными водами. Главными загрязнителями промышленными стоками р.Сырдарьи в Кызылординской области остаются целлюлозно-картонный комбинат (ЦКК) и ТЭЦ,

Следует отметить, что на данном участке река получает, в основном, органическое загрязнение после сбросов ЦКК и хозяйственных сбросов городов Кызыл-Орда, Казалинск, Джусалы, Ленинск и ряда населенных пунктов. Кроме того, 256 насосных



станций различной мощности загрязняют реку маслами и нефтью.

Кроме производственных и хозяйственно-бытовых стоков на качество воды в реке влияют и стоки дренажных вод (около  $12 \text{ км}^3/\text{год}$ ), имеющих, как правило, высокую минерализацию за счет выносов солей из почв.

На участке от истока до Кайраккумского водохранилища на минерализацию воды в р.Сырдарье влияют, в основном, Каракалпакский коллектор с расходом до  $15 \text{ м}^3/\text{сек}$  и минерализацией от 2300 до 4290 мг/л; Северо-Багдадский — от 20 до  $54 \text{ м}^3/\text{сек}$  и от 4650 до 2220 мг/л соответственно, Сохисфаринский — с расходом до  $13 \text{ м}^3/\text{сек}$  и минерализацией от 4120 до 1730 мг/л. В этих коллекторах содержится 58% сульфатов и до 5% гидрокарбонатов. Наибольшая минерализация до 7500 мг/л в коллекторе „дрена Д”. Жесткость воды достигает до 28 мгэкв/л, в том числе солей кальция до 240 мг/л (11 мгэкв/л), солей магния до 207 мг/л (17 мгэкв/л).

От Кайраккумского до Чардаринского водохранилища река принимает стоки нескольких систем коллекторов: Дальверзинские, Чакира, Голодностепские, имеющие сброс непосредственно в Фархадское водохранилище. Химический состав воды в этих коллекторах таков: сульфатов 50-65%, карбонатов 5-7%, хлоридов до 7-12%. Расход главного пойменного коллектора от 4,5 до  $13 \text{ м}^3/\text{сек}$ , а величина плотного остатка 3500 — 2100 мг/л. Наибольшая минерализация воды в Шурузякском коллекторе с расходом 6-20  $\text{м}^3/\text{сек}$  и плотным остатком 2500-5000 мг/л. В остальных она несколько ниже — от 1100 до 3000 мг/л.

Коллекторно-дренажная сеть ниже Чардаринского водохранилища до Аральского моря развита слабо и мало исследована.

Минерализация коллекторных вод на этом участке находится в пределах 3840 мг/л до 5650 мг/л, 52-68% сульфатов, 5% гидрокарбонатов и 15% хлоридов. Воды с рисовых полей сбрасываются в пойму реки и заболачивают ее. Минерализация этих вод колеблется в пределах 2800-3500 мг/л.

На основании обобщений выполненных исследований в САНИИРИ в течение 1967-1972 гг. по 85 створам наблюдений,



а также материалов гидрометслужбы УзССР можно дать характеристику современного состояния качества воды р.Сырдарьи.

**М и н е р а л и з а ц и я** р.Сырдарьи в истоке изменяется в паводок и в межень в небольших пределах и составляет по плотному остатку 0,36–0,24 г/л. От истока до Кайраккумского водохранилища в реку впадает большая группа высокоминерализованных коллекторов. Величина плотного остатка в реке по левому берегу, например, после сбросов коллектора Сарысу в межень поднимается до 1,8 г/л; Каракалпакского коллектора возрастает до 1,6 г/л, Северо-Багдадского до 1,14 г/л; Сохисфаринского до 1,27 г/л. В результате плотный остаток реки в паводок возрастает от 0,24 до 0,71 г/л и от 0,36 до 1,2 г/л – в межень.

На выходе из Кайраккумского водохранилища большая минерализация реки сохраняется, после г. Ленинабада она составляет 1,03–1,1 г/л. На участке до впадения рек Ахангаран и Чирчик минерализация реки возрастает до 1,44–0,88 г/л за счет стоков из следующих коллекторов: ГВКС, Уртукли, Песчаный, Главный пойменный и др. На участке, где впадает маломинерализованная р.Ахангаран, плотный остаток р.Сырдарьи падает – в межень с 1,44 до 1,1 г/л и в паводок с 0,88 до 0,54 г/л. После впадения р.Чирчик плотный остаток р.Сырдарьи составил 0,9–0,44 г/л. Перед Чардаринским водохранилищем в реку впадают такие крупные коллекторы как Урумбай, Восточный, Келес, в результате величина плотного остатка опять увеличивается до 1,1–1,3 г/л. От Чардаринского водохранилища до устья минерализация воды в реке несколько увеличивается: плотный остаток в межень составляет 1,2–1,5 г/л. Таким образом, от истока до устья минерализация р.Сырдарьи изменяется от 0,36 до 1,5 г/л, т.е. в среднем увеличивается в 5 раз.

В истоке р.Сырдарьи величина **с у л ь ф а т о в**, **с о - л е й к а л ь ц и я** и **м а г н и я** незначительна. Сульфаты составляют 0,14–0,082 г/л. На участке от Кайраккумского водохранилища до Чардары они составляют 0,67–0,38 г/л, после стоков рек Ахангаран и Чирчик – 0,47–0,11 г/л. В зоне подпора Чардаринского водохранилища после сбросов



коллекторных вод сульфатная группа вновь сильно возрастает до 0,77-0,41 г/л. В створе после Казалинска сульфаты уже составляют 0,83-0,49 г/л. Отмечено, что в реке наличие сульфатов в среднем увеличивается на 700-400 мг/л.

Кальция и магния в истоке реки содержится 50,0 мг/л и 31-35 мг/л, в створе после Чардаринского водохранилища до Кайраккума соответственно 100 мг/л и 54,7 мг/л, что выше ПДК. Таким образом, по минеральному составу согласно классификации воды по О.А.Алекину, вода в реке в верхних створах, где минерализация небольшая, до 1000 мг/л и преобладают анионы  $\text{HCO}_3^-$  и катионы  $\text{Ca}^{2+}$ , является гидрокарбонатно-кальциевой, однако с возрастанием минерализации реки среди анионов начинают преобладать  $\text{SO}_4^{2-}$  и катионы  $\text{Mg}^{2+}$  и вода становится сульфатно-натриевой. Ирригационный коэффициент по р.Сырдарье по О.А.Алекину, изменяется от 53 в истоке до 18 после Кайраккумского водохранилища, 45 после Чардаринского водохранилища и 15 в Казалинском створе. Отсюда качество воды в верхнем течении реки по ирригационному коэффициенту хорошее, в среднем и нижнем - удовлетворительное. Из всех видов агрессивности (углекислотной, общей кислотной, выщелачивающей, магниальной и др.) вода в Сырдарье обладает сульфатной агрессивностью, что отрицательно влияет на качество бетона гидротехнических сооружений. На кислородный режим и биохимическое потребление кислорода

р.Сырдарьи в основном влияют промышленные и хозяйственно-бытовые сбросы городов и поселков, расположенных по берегам реки или вблизи нее. В истоке реки величина растворенного кислорода колеблется от 8 до 11 мг, БПК<sub>5</sub> - от 1,5 до 3,8 мг/л. Кислородный режим после Восточного коллектора ухудшается, БПК<sub>5</sub> увеличивается до 4,5 мг/л. Затем идет участок самоочищения р.Сырдарьи до стока Сохского коллектора, принимающего сбросы г.Коканда. БПК<sub>5</sub> здесь вновь увеличивается, достигая 3,2 мг/л, кислород падает до 6,8 мг/л. Далее вновь идет участок самоочищения реки, где количество кислорода возрастает до 9,2-8 мг/л, БПК<sub>5</sub> падает до 1,75-2,08 мг/л.



После выхода из Кайраккумского водохранилища на кислородный режим реки оказывает влияние сброс очистных сооружений г. Ленинабада — БПК<sub>5</sub> увеличивается до 4,6 мг/л, растворенный кислород уменьшается до 6,64 мг/л и города Бекабада соответственно 3,85 мг/л и 6,4 мг/л. Далее на кислородный режим реки оказывают влияние стоки р. Ахангаран и р. Чирчик. После впадения р. Ахангаран растворенный кислород падает до 6,8 мг/л, БПК<sub>5</sub> увеличивается до 5,8 мг/л, а после р. Чирчик соответственно до 5,4 мг/л и 6,6 мг/л. На этом участке рек в основном влияют сбросы кенафных заводов.

На участке от Чардаринского водохранилища до Аральского моря основными загрязнителями реки по кислородной группе являются сбросы ЦКК г. Кызыл-Орда и сток р. Арсы. В случае минимального расхода по реке и выхода из строя очистных сооружений на ЦКК на расстоянии 18–20 км количество БПК<sub>5</sub> и кислорода в воде выше нормы.

Далее величина БПК<sub>5</sub> выравнивается до 2–3 мг/л, кислорода 9–10 мг/л, окисляемости 2–3 мг/л и только после городов Туркестана, Джусалы, Тюратама, Казалинска БПК вновь повышается до 4–4,5 мг/л, а кислорода снижается до 6,5–7 мг/л.

Таким образом, р. Сырдарья по кислородному режиму имеет локальные участки загрязнения, на которых БПК<sub>5</sub> и свободный кислород в несколько раз превышают предельно допустимые нормы. Однако в силу физико-географических факторов вода в реке достаточно хорошо самоочищается.

Для полной характеристики качества воды важно знать биогенные компоненты загрязнения — ион аммония, нитриты и нитраты. Содержание иона аммония в истоке реки во время паводка и межени колеблется в пределах 0,16–0,56 мг/л и нитратов 2,6–8 мг/л соответственно.

Нитратная группа стабильна и составляет почти на всех участках 7,5–8 мг/л. Содержание ионов аммония увеличивается по реке после впадения Каракалпакского коллектора до 0,96 мг/л, после Багдадского и Сохского коллекторов — 0,6 мг/л; до 2,8 мг/л — в паводок, 0,38 мг/л — в межень после сброса городских очистных сооружений г. Ленинабада.



Наибольшее повышение соединений азотной группы наблюдается в створе после впадения р. Чирчик, являющейся приемником сточных вод Чирчикского электрохимического комбината (в период залпа ионов аммония 274 мг/л, нитратов 60 мг/л, нитритов 14 мг/л). Величина ионов аммония по правому берегу достигает 2,4-2,6 мг/л, нитратов 12-14,4 мг/л, нитритов 0,076 мг/л. В Чардаринском водохранилище концентрация ионов аммония составляет 0,5-0,8 мг/л, нитратов - 9,0-10,8 мг/л. Далее содержание ионов аммония по реке колеблется в пределах 0,1-0,07 мг/л, нитратов 7,0-7,5 мг/л, нитритов 0,02-0,01 мг/л. В створе после сброса ЦКК наблюдается наибольшее повышение ионов аммония до 2,43 мг/л, нитратов до 6 мг/л.

Ниже г. Кызыл-Орда количество ионов аммония достигает 0,6 мг/л. Нитратная группа находится в пределах 7-8 мг/л.

Помимо перечисленных загрязнителей реки в период залповых сбросов в межень прослеживается пленка нефти до Кайраккумского водохранилища. В нижнем течении пленка нефти по реке наблюдается в вегетационный период на участке от Яны-Кургана до Кызыл-Орды. Загрязнение реки этими компонентами происходит после впадения в нее стоков Алтыарыкского нефтеперерабатывающего завода, пропарочной станции, Кызылтепинского коллектора и ряда насосных станций, расположенных на р. Сырдарье.

Для оздоровления водных ресурсов бассейна р. Сырдарьи и предотвращения их дальнейшего загрязнения необходимо провести ряд мероприятий.

- Построить канализационные сети и проводить полную механическую и биологическую очистку стоков на очистных сооружениях Ташкента, Анграна, Чирчика, Ахангарана и других городов. Запроектировать и построить Чирчикский межрайонный коллектор с отводом стоков в пруд-накопитель с дальнейшим использованием их на сельскохозяйственных полях орошения.

- Закончить строительство отводящего объединенного коллектора с очистными сооружениями Фергано-Маргиланского промышленного района. Создать зоны санитарной охраны.



- Построить земледельческие поля орошения для очистки хозяйственно-бытовых стоков.

- Нормировать стоки по компонентам загрязнения из учета самоочищающей способности поверхностных вод.

- Провести охранные мероприятия на водосборе от паводковых и солевых потоков.

Для очистки сточных вод крупных промышленных предприятий необходимо следующее:

1. Андижанскому гидролизному заводу необходимо перенести от реки испарительно-накопительные карты и увеличить их площадь в 5 раз. Ввести в эксплуатацию очистные сооружения с полной биологической очисткой стоков, что позволит снизить БПК<sub>5</sub> с 4000 до 30-50 мг/л.

2. Ферганскому заводу азотных удобрений организовать строительство вспомогательных цехов для утилизации отходов увеличить пропускную способность канализационного коллектора.

3. Заводу фурановых соединений необходимо иметь усреднительные резервуары для приема залповых сбросов и прекратить сброс условно-чистых вод в реку.

4. Алтынаркскому нефтеперерабатывающему заводу и пропарочной станции необходимо создать эффективное нефтеловушечное хозяйство с кварцевыми фильтрами, что позволит снизить концентрацию нефтепродуктов до 10-15 мг/л и утилизировать до 2000 т. нефти и более 300 т. фенолов в год.

5. Кокандскому суперфосфатному заводу нейтрализовать стоки для доведения pH до 7-7,5. Сточные воды обезфторивать с помощью товарной извести 50%-ной активности.

6. Ввести оборотную систему водоснабжения с повторным использованием воды на нефтепромыслах "Бостон" и "Южный Аламышик", это значительно повысит процент экономии свежей воды до 70% и снизит величину сброса производственных стоков.

7. Прекратить сброс условно-чистых вод Чимкентскому заводу фосфорных удобрений, снизив фосфаты с 250 мг/л до 0,2 мг/л.



8. Целлюлозно-картонному комбинату прекратить сброс со шламоотвалов в водоток, снизив БПК<sub>5</sub> с 2130 до 200 мг/л.

Все эти мероприятия будут способствовать улучшению качества воды в водотоках бассейна р.Сырдарьи.

### Л и т е р а т у р а

1. А л е к с и н О.А. Гидрохимия рек СССР, ч. III, гл. VI. Бессточные бассейны Казахстана и Средней Азии. 2. Реки Средней Азии. Бассейн р.Сырдарьи. Труды ГТИ, вып. 15, 1949.
2. Д р а ч е в С.М. Борьба с загрязнением рек, озер, водохранилищ сточными водами, Изд. "Наука", 1964.
3. Ж у к о в А.И. Генеральные мероприятия по уменьшению загрязнения водоемов. "Водоснабжение и санитарная техника", 1965, № 4.
4. К а п л и н В.Т. Ф е с е н к о Н.Г. Загрязнение и самоочищение водоемов, Гидрохимический материал, т. XV, 1967.
5. О р л о в а А.П., Д а н и е л о в а Л.Н., Д у н и н - Б а р к о в с к а я О.С. Методические указания по исследованию степени загрязнения сточных вод и водотоков, Ташкент, 1969.
6. Санитарная охрана водоемов от загрязнения промышленными сточными водами. Под ред. проф. Черкинского С.Н. за 1951, 1954, 1964, 1966, 1968, 1970 гг.



Е.Н.МИХЛИН  
ст.преподаватель ТашПИ,

В.Г.МУРАШКИН  
ст.преподаватель ТашПИ,

М.З.ВАГИЗОВ  
ст.преподаватель ТашПИ,

Р.Д.БЕРИШТИН  
ст.преподаватель ТашПИ

### К ВОПРОСУ О ПРИМЕНЕНИИ КРИТЕРИЕВ СОГЛАСИЯ

При применении статистических методов обработки опытных данных одним из этапов является получение теоретических зависимостей. Как бы хорошо ни была подобрана эта зависимость, между ней и полученной экспериментально неизбежны некоторые расхождения.

Для проверки соответствия между теоретической и экспериментальной зависимостями применяются так называемые "критерии согласия". Они должны ответить на вопрос: объясняются ли эти расхождения только случайными обстоятельствами, связанными с ограниченным числом наблюдений, или они существенны и связаны с тем, что подобранная теоретическая зависимость плохо выравнивает экспериментальные данные.

При проведении опытов, с целью повышения точности исследования, обычно стремятся получить большое количество опытных данных по изучаемому процессу, явлению и т.д., что вполне логично. Однако часто получается так, что с увеличением количества измерений (наблюдений) показатели критериев согласия ухудшаются. Согласно принципам, на которых основываются критерии согласия при увеличении количества опытных данных, экспериментальная зависимость должна неограниченно приближаться к теоретической.

В конкретных исследованиях при выборе теоретических зависимостей вводится ряд упрощающих допущений, которые препятствуют неограниченному приближению экспериментальной зависимости к теоретической, в связи с чем и ухудшаются показатели критериев согласия.



В качестве примера рассмотрим применение критерия согласия  $\chi^2$  (критерий Пирсона) к нормальному закону распределения, наиболее часто встречающемуся при исследованиях сельхозмашин и тракторов. Этому закону подчиняется сумма бесконечно большого числа независимых (или слабо зависимых) случайных величин, подчиненных каким угодно законам распределения.

Основное ограничение, налагаемое на суммируемые величины, состоит в том, что все они в общей сумме играют относительно малую роль /1/. На практике это встречается редко, так как в структуре какого-либо явления (процесса) может участвовать и очень большое число величин, но роль их в общей сумме весьма различна, поэтому при неограниченном увеличении числа опытных данных экспериментальная зависимость приближается к теоретической до определенного предела.

При обработке небольшого количества опытных данных случайные расхождения, учитываемые критерием согласия, могут быть большими, поэтому показатель критерия  $\chi^2$  оказывается небольшим, а при увеличении числа опытных данных эти расхождения должны уменьшаться, однако по вышесказанным соображениям, показатель критерия  $\chi^2$  ухудшается.

В работах А.Д.Бродского и В.Л.Кана /2/ показаны экспериментальные и соответствующие им теоретические распределения (рис.1). Распределение, изображенное на рис.2, получено на кафедре "Сельхозмашины и тракторы" ТашПИ при обработке результатов измерений крутящего момента на ВОМе трактора при навеске хлопкоуборочной машины.

Визуально на рис.1 экспериментальное и теоретическое распределения согласуются плохо, а на рис.2 — совпадение довольно точное. Показатели же критерия согласия

$\chi^2$  для первого и второго случая равны:  $\chi^2_{3_1} = 12$ ;

$\chi^2_{3_2} = 148,8$ . Число степеней свободы у них одинаково (равное количеству классов) и равно 7. По работе /2/ для первого значения при уровне зависимости 5% (величина доверительной вероятности 0,95)  $\chi^2 = 14,1$ , что удов-



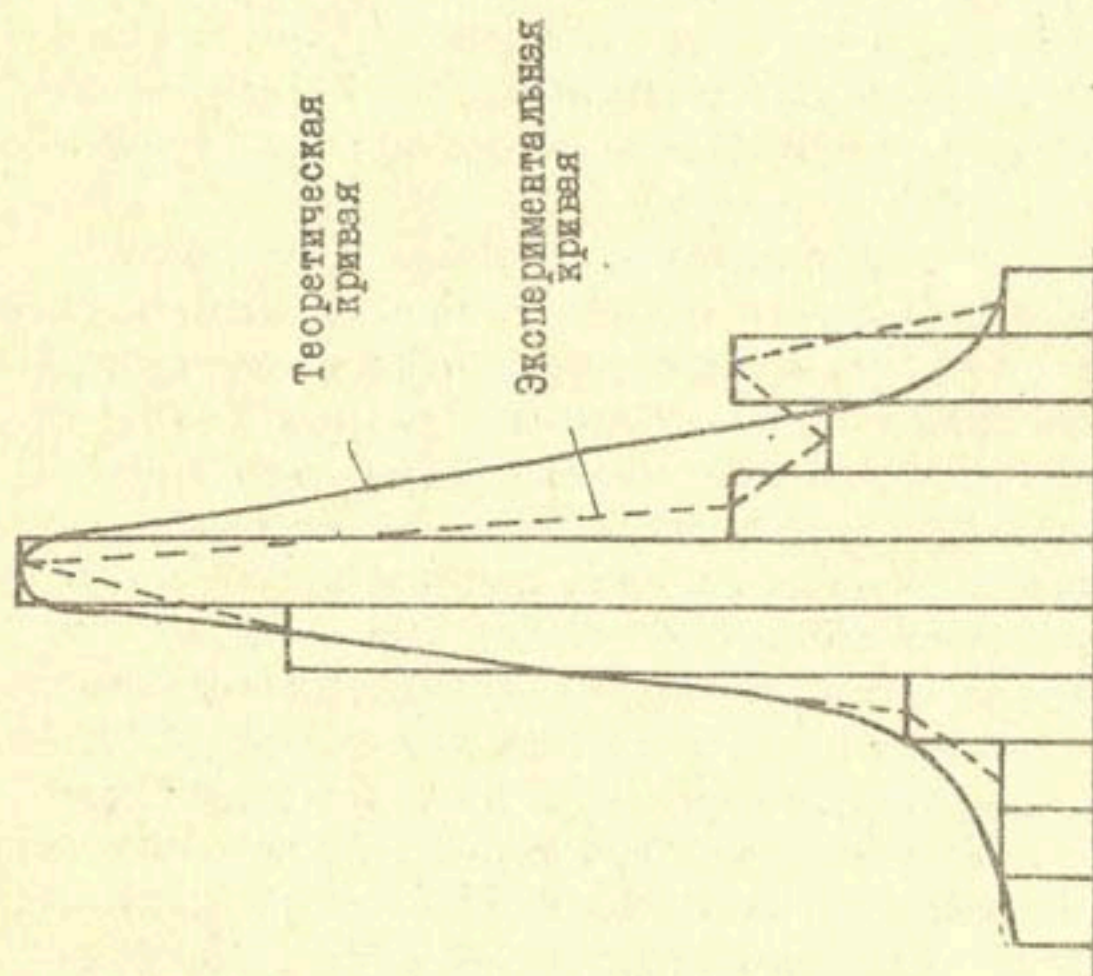


Рис. 1. Распределения, полученные при  
объеме ряда  $\gamma = 46$ .

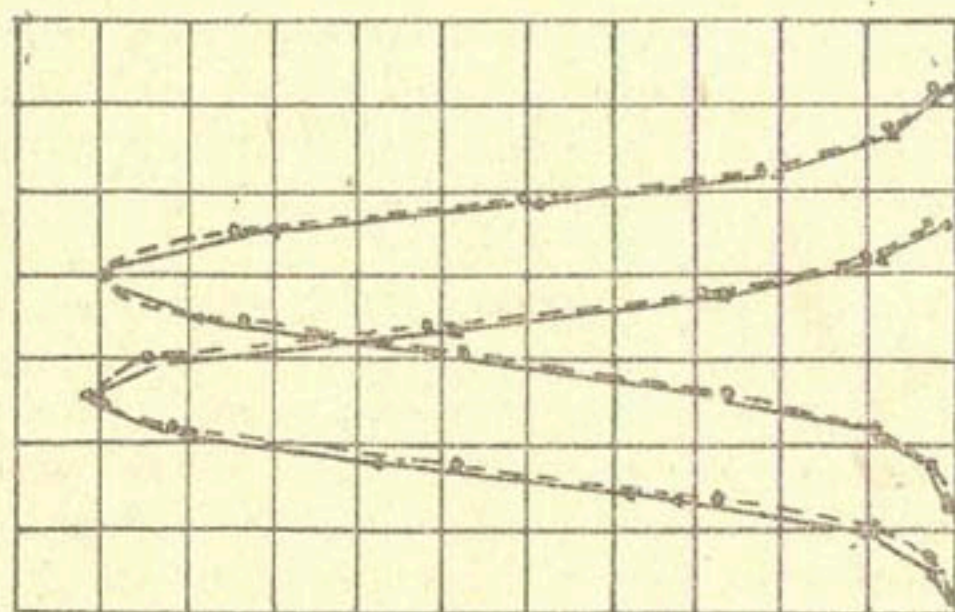


Рис. 2. Распределения, полученные  
при объеме ряда  $\gamma = 3903$ .



летворяет условию  $\chi^2_3 < \chi^2_7$ , а для второго случая такого значения нет даже в таблице, т.е. уровень значимости должен быть значительно ниже 0,001%. Это явилось следствием того, что в первом случае число опытных данных равно 46, а во втором — 3903. Критерий Пирсона подсчитывается по формуле

$$\chi^2 = n \sum_{i=1}^k \frac{(P'_i - P_i)^2}{P_i},$$

где  $n$  — число опытных данных;

$P'_i$  и  $P_i$  — соответственно теоретическая и экспериментальная вероятности.

Как видно из приведенной формулы, при соответственно равных значениях  $P'_i$  и  $P_i$  для опытов с различными  $n$  значения критерия  $\chi^2$  пропорциональны числу опытных данных  $n$ .

Некоторые авторы [3] рекомендуют при возрастании числа опытных данных  $n$  увеличивать число классов, на которые разбивается исследуемый процесс. Это трудно выполнимо при применении механизированной обработки с помощью классификаторов типа ПОБД-12, позволяющих получать не более 12 классов.

Следовательно, при обработке большого количества опытных данных в случае, когда теоретическая и экспериментальная зависимости различаются незначительно, для дальнейших расчетов можно рекомендовать теоретическую зависимость.

### Л и т е р а т у р а

1. В е н т ц е л ь Е.С. Теория вероятностей, Изд-во "Наука", М., 1969.
2. Б р о д с к и й А.Д., К а н В.Л. Краткий справочник по математической обработке результатов измерений, М., Стандартгиз, 1960.
3. Дж. Б е н д а т, А. П и р с о н. Измерение и анализ случайных процессов, пер. с англ. Изд-во "Мир", М., 1971.



Ф.Н.Ким — зам.директора, к.с.-х.н. (КазНИИВХ)

## ОСНОВНЫЕ ИТОГИ И ЗАДАЧИ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ КазНИИВХ В ДЕВЯТОЙ ПЯТИЛЕТКЕ

XXIU съездом КПСС поставлена ответственная задача перед наукой — всемерно повышать её эффективность, дальше развивать фундаментальные исследования, концентрировать силы и внимание ученых на наиболее важных и перспективных направлениях научно-технического прогресса.

Каковы же основные результаты научных исследований и чем располагает коллектив КазНИИВХ для успешного выполнения задач по научно-техническому прогрессу в области мелиорации и водного хозяйства страны.

Согласно координационному плану важнейших научно-исследовательских работ за 1966–1970 гг. институт участвовал в выполнении 6 научно-технических проблем:

- разработаны мероприятия по борьбе с засолением орошаемых земель на основе дренажа и промывок (проблема 0.52.000; задание — 0.52.001, 0.52.002, 0.52.003 и 0.52.005).

- разработаны экономически целесообразные системы сельскохозяйственного водоснабжения и обводнения пастбищ в засушливых районах, включая оазисное орошение подземными водами (проблема 0.52.200; задание 0.52.201, 0.52.202, 0.52.203).

- разработаны способ и техника полива сельскохозяйственных культур с применением средств механизации и автоматизации для различных природных и хозяйственных условий (проблема 0.52.050; задание 0.52.051, 0.52.052 и 0.52.053).

- разработаны конструкции оросительных систем и гидротехнических сооружений, обеспечивающих механизацию и автоматизацию процессов водораспределения и полива (проблема 0.52.100; задание 0.52.101 и 0.52.102).

- разработан метод повышения экономической эффективности мелиорации земель орошения, осушения и обводнения пастбищ на 1966–1970 гг. (проблема по ММВХ СССР; задание I и III).

- разработаны теоретические основы и методы селекции и создания новых высокопроизводительных сортов сельскохозяйственных культур, отзывчивых на удобрение и орошение, устойчивых к болезням и вредителям, с повышенной зимостойкостью и засухоустойчивостью (проблема 0.51.150; задание



0.51.157).

По плану научно-технического сотрудничества со странами СЭВ (ГДР, НРБ, ВНР) институт выполнил исследования по заданию "Механизация и автоматизация полива сельскохозяйственных культур".

За пятилетие 1966-1970 гг. институтом завершены исследования по 45 темам: по сельскохозяйственному водоснабжению и обводнению, оазисному и лиманному орошению - 19 тем; мелиорации и гидротехнике - 7 тем; орошению и экономике - 14 тем; механизации и технике полива - 5 тем.

Предложения и рекомендации по завершенным исследованиям переданы заказчикам договорных работ: Минводхозу Казахской ССР, МСХ Казахской ССР, Госплану Казахской ССР, проектным и эксплуатационным организациям. К основным из них следует отнести следующие работы:

- экономический анализ и разработка предложений к мероприятиям по развитию орошения на 1971-1975 гг. по Казахской ССР. В работе даны предложения по объемам и темпам ведения работ по орошению земель и реконструкции действующих оросительных систем на базе совершенствования существующей и внедрения новой техники полива; улучшению мелиоративного состояния земель путем устройства коллекторно-дренажной сети, промывки земель и нормирования орошения; переустройству оросительной сети с учетом требований новой техники орошения и дренажа; оснащению сети водомерными и регулирующими сооружениями; проведению противофильтрационных мероприятий на каналах максимального использования невегетационного стока. Предлагается и экономически обосновывается необходимость реконструкции оросительных систем Казахстана на площади 1485 тыс.га. При этом общие затраты оцениваются в 1000 млн. руб. или в среднем 630 руб. на 1 га поливной площади.

- рекомендации по режимам и нормам водопотребления на групповых системах сельскохозяйственного водоснабжения (на примере Ишимского и Булаевского групповых водопроводов), позволяющие при проектировании систем сельскохозяйственного водоснабжения определять рациональные параметры сооружений и снизить затраты на их строительство. Предлагается методика расчета групповых систем сельскохозяйственного водоснабжения с резервуарами многодневного регулирования, применение ко-



торой позволяет уменьшить размеры сооружений и водоводов и снизить капитальные вложения на 8-12%.

— рекомендации по улучшению технической эксплуатации Ишимского и Булаевского групповых водопроводов, обеспечивающих водой более 500 населенных пунктов, железнодорожных станций и других потребителей. Предлагаются мероприятия по повышению эффективности работы этих водопроводов путем подключения дополнительных потребителей за счет свободных мощностей и упорядочения службы ремонтно-эксплуатационных участков (РЭУ) на внутрихозяйственной сети.

— изучены и обоснованы режимы орошения, способы и техника полива кормовых культур и система агромероприятий по их возделыванию для условий чуротной зоны песков Муун-Кунов и пустынных пастбищ Кызыл-Ординской области. Средняя оросительная норма для песчаных территорий  $6000 \text{ м}^3/\text{га}$ , гидро-модуль — 0,6 — 0,8 л/сек/га, продуктивность — 5-8 тыс. корм.ед/га при их себестоимости 3-5 коп.

Анализ и оценка агроклиматических, гидрогеологических и почвенно-мелиоративных условий позволили ориентировочно выявить до 1500 тыс.га земель, пригодных для развития орошаемого кормопроизводства, из них около 400 тыс.га с хорошими почвенными и гидрогеологическими условиями. На этой основе дается схематическое районирование по перспективам развития и размещения участков оазисного орошения и нормативы для их проектирования.

На ближайшие годы рекомендуется использовать под орошаемое кормопроизводство на базе подземных вод до 200 тыс. га пустынных пастбищ Джамбулской, Чимкентской и Кызыл-Ординской областей.

— разработана методика районирования орошаемых земель по применению наиболее целесообразных способов и техники полива, выполнено районирование орошаемых земель на примере Джамбулской и Алма-Атинской областей. Из 430 тыс.га орошаемых земель Джамбулской области поверхностным способом по бороздам и полосам должны поливаться 320,3 тыс. га (74,4%), дождеванием — 49,2 тыс.га (11,4%) и комбинированным (дождевание + по бороздам) — 61,0 тыс.га (14,2%). Аналогично из 643,6 тыс.га орошаемых земель Алма-Атинской области поверхностным способом полива по бороздам и поло-



сам - 496,9 тыс.га (77,2%), дождеванием - 91,7 тыс.га (14,2%) и комбинированным способом - 55 тыс.га (8,6%).

- проведена мелиоративная оценка и выполнено мелиоративное районирование орошаемых земель в зоне Арнось-Туркестанского канала (АТК). В результате выявлена и обоснована необходимость строительства дренажа на площади 68 тыс.га, в том числе: вертикального - 31,3 тыс.га, закрытого горизонтального - 18,0 тыс.га и открытого горизонтального - 18,7 тыс.га, а также проведения промывок на площади 37,5 тыс.га. Составлены рекомендации по промывкам засоленных земель юга Казахстана и материалы к проекту "ТУ по промывкам засоленных земель", которые переданы главному координатору САНИИРИ.

- установлены режимы орошения риса на засоленных и незасоленных землях в условиях Левобережного Кызыл-Ординского рисового массива, позволяющие сократить оросительные нормы до 23-27 тыс.м<sup>3</sup>/га (почти в 2 раза) и получать урожаи риса до 45-47 ц/га.

- на основе выполнения конструкторских и исследовательских работ разработана и изготовлена установка для гидромеханической очистки шахтных колодцев (ГМОШК). Производительность агрегата составила 2-3 колодца в смену с учетом переезда на расстояние до 10-12 км. Дебит колодцев после очистки повышается в 1,5 - 2 раза. Документация передана в зональное конструкторское бюро (ЗКБ) МСХ Казахской ССР для доведения и изготовления опытно-промышленных образцов.

- разработаны гасители энергии обросных сооружений лиманов, уменьшающие размыв в нижнем бьефе в 1,5-2 раза по сравнению с существующими конструкциями сооружений. Составлены рекомендации и методика их гидравлического расчета, которые включены в проект "ТУ ИП по проектированию систем лиманного орошения".

- по результатам исследований на Черноярской оросительной системе Павлодарской области рекомендуется технология применения дождевальных агрегатов ДДА-100М в условиях закрытых оросительных систем, позволяющая увеличить кпд использования машин до 0,87-0,90 и режим орошения основных сельскохозяйственных культур. Наиболее рациональным режимом орошения сельскохозяйственных культур является: для картофеля -



поддержание влажности почвы корнеобитаемого слоя не ниже 60–65% от ППВ, что обеспечивается в средний по увлажненности год на фоне влагозарядкового полива нормой  $600 \text{ м}^3/\text{га}$  и проведением 6 – 7 вегетационных поливов оросительной нормой  $3000\text{--}3500 \text{ м}^3/\text{га}$ ; для капусты – влажность почвы не ниже 70–75% от ППВ, что обеспечивается 6–8 приживочными и 10–14 вегетационными поливами оросительной нормой  $3000\text{--}4200 \text{ м}^3/\text{га}$ ; для огурцов – влагозарядковый полив нормой  $500 \text{ м}^3/\text{га}$  и 10–12 вегетационных поливов оросительной нормой  $3000\text{--}3500 \text{ м}^3/\text{га}$ ; для томатов – 4 приживочных полива нормой  $60\text{--}75 \text{ м}^3/\text{га}$  и 7 вегетационных поливов оросительной нормой  $2500\text{--}3000 \text{ м}^3/\text{га}$ ; для яровой пшеницы – сочетание влагозарядки и 2–3 вегетационных полива оросительной нормой  $600\text{--}1700 \text{ м}^3/\text{га}$ .

Соблюдение рекомендуемых режимов орошения позволяет хозяйствам области получить 300–320 ц/га картофеля (вместо 60–70 ц/га), до 500 ц/га капусты, до 30 ц/га зерна яровой пшеницы сорта "Мильтурум" и 12–13 ц/га гречихи.

– на основе обобщения опыта проектирования и материалов исследований по лиманам Казахстана разработан проект "технических условий и норм проектирования лиманных систем" (ТУ и НП). Проект ТУ и НП включает методы проектирования лиманов, методику установления расчетной величины стока, выбор конструкции гидросооружений и методику их расчета. Даны расчеты норм лиманного орошения при различном сельскохозяйственном использовании с учетом глубины промерзания, уровня грунтовых вод, физико-механических свойств почв и биологических особенностей растительности. Проект ТУ и НП был рассмотрен и одобрен на координационном совещании по проблеме 0.52.100 (ВНИИГиМ, 1969 г.) и научно-техническом Совете Минводхоза СССР (январь, 1970 г.).

– разработаны "Временные технические указания по расчету поливных режимов сельскохозяйственных культур" в различные по увлажненности годы и для разных природно-климатических зон, что позволяет проектировщикам объективно оценить водопотребление и правильно выполнять водохозяйственные расчеты при проектировании оросительных систем и их эксплуатации.



Кроме того, в практике проектирования и эксплуатации объектов водного хозяйства Казахстана широко используются рекомендации института, а именно: расчет и проектирование каналов с уклоном дна больше критического, эксплуатация оросительных систем в невегетационный период, технология применения дождевальных и дождевально-поливных агрегатов на поливе сахарной свеклы и овощных культур и другие.

Кроме того, за пятилетие институтом выполнен большой объем научных разработок и опытно-конструкторских работ по созданию новых образцов машин, оборудования и рабочих органов. Всего изготовлено 89 наименований на общую сумму 324 тыс.руб. К ним относятся: выдвижной подземный гидрант и импульсные дождевальные аппараты, устройство для телеуправления задвижками дождевальных установок, устройство для подачи воды к поливным машинам в движении, прибор для регистрации испарения с водной поверхности и испаряемости с поверхности почвы, рабочие органы агрегата для внутрипочвенного орошения и многие другие, защищенные авторскими свидетельствами.

Результатом опытно-конструкторских и исследовательских работ является создание стационарной закрытой автоматизированной дождевальной системы с выдвижными импульсными аппаратами конструкции КазНИИВХ, а также полустационарной системы с выдвижными водовыпусками, внедряемые в настоящее время в Молдавии, Таджикистане, также в совхозе "Бурненский" Джамбулской области и в совхозе им. Чапаева Алма-Атинской области Казахской ССР.

За восьмью пятилетку защищены авторскими свидетельствами на уровне изобретений 26 опытно-конструкторских и исследовательских работ, 18 заявок приняты Госкомитетом по делам изобретений при Совете Министров СССР для рассмотрения. По результатам законченных научно-исследовательских работ институтом подготовлены и переданы водохозяйственным и сельскохозяйственным организациям более 50 конкретных предложений и рекомендаций, в том числе: Минводхозу СССР - 16, Минводхозу Казахской ССР - 28, Казгипроводхозу - 6, Союзгипрорису и Главриссовхозострой - 4.

Объем финансирования на научную деятельность за пятилетие вырос на 33% и в 1970г. составил 692 тыс.руб., в



том числе 43% обеспечиваются договорными работами. В целях укрепления производственной базы введены в действие лабораторный корпус отдела обводнения ( $456 \text{ м}^2$ ) и стационар по испытанию опреснительной техники в с. Аккуль ( $168 \text{ м}^2$ ), в стадии строительства находятся Северо-Казахстанский опорный пункт сельскохозяйственного водоснабжения, Муюнкумский опорный пункт оазисного орошения, построена Джамбулская опытная станция обводнения.

Краткий обзор результатов НИР и внедрения за восьмую пятилетку наглядно показывают, что коллектив КазНИИВХ способен успешно решать сложные научно-технические проблемы в области мелиорации и водного хозяйства.

На 1971–1975 гг. КазНИИВХ наметил исследования в соответствии с координационным планом по решению основных научно-технических проблем, утвержденных Госкомитетом науки и техники Совета Министров СССР, и заявок республиканских организаций на условиях хозяйственных договоров. Все они отвечают задачам, выдвинутым девятым пятилетним планом развития народного хозяйства страны. С 1971 г. институт приступил к разработке 38 научных тем: по обводнению и сельскохозяйственному водоснабжению – 16 тем, орошению и технике полива – 13 тем, мелиорации и гидросооружениям – 5 тем, экономике и эксплуатации – 4 темы. Тематика направлена на дальнейшее совершенствование оросительных и обводнительных систем с автоматизацией водораспределения и высокопроизводительными средствами полива, улучшение использования мелиорированных земель и значительное повышение урожайности сельскохозяйственных культур, развитие оазисного и лиманного орошения путем их интенсификации для создания устойчивой кормовой базы и т.д. В частности, по разработке экономичных методов обводнения пастбищ с применением обводнительных каналов и водопроводов; по разработке технологии, средств механизации и автоматизации высокопроизводительных поливов дождеванием и по бороздам; по разработке автоматических устройств по регулированию водоподачи на рисовых системах; по разработке режима орошения и техники полива риса и культур рисового севооборота в условиях низовий р. Или; водо-балансовых и мелиоративных исследований в условиях Левобережного Кзыл –



Ординского рисового массива, Акдалинского массива орошения в низовьях р. Или, зоны АТК и канала Иртыш-Караганда; по совершенствованию эксплуатации оросительных и обводнительных систем; по разработке приемов использования и повышения продуктивности систем лиманного орошения Западного Казахстана; по разработке оптимальных режимов работы групповых систем осельскохозяйственного водоснабжения Северного Казахстана и на юге республики.

Долг коллектива КазНИИВХ успешно выполнить намеченный объем научно-исследовательских работ и внести свой вклад в дальнейший научно-технический прогресс и создание материально-технической базы коммунизма в нашей стране.

Ф.Н. Ким - зам.директора, к.с.-х.н.,

Ю.Я. Грамкин - зав.сектором, М.В. Дерюгина - ИИС (КазНИИВХ)

#### О КАЧЕСТВЕ ОПРЕСНЕННОЙ ВОДЫ, ПОЛУЧАЕМОЙ НА ЭЛЕКТРОДИАЛИЗНЫХ ОПРЕСНИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВКАХ

На стационаре КазНИИВХ в с. Аккуль Джамбулской области смонтированы и работают электродиализные опреснительные установки ЭДУ-50, ЭДУМ-400-4, НИИПМ-25-2, СЭХО-П. Опресненная вода, полученная на данных установках, подается для водоснабжения села (раньше оно снабжалось привозной водой, доставляемой за 60 км).

Сотрудниками института ( группа опреснения ) проведены испытания установок в условиях хозяйственной работы при различных эксплуатационных режимах. Рабочий режим устанавливался, исходя из теоретических расчетов и опытным путем на основании данных химических анализов исходной и опресненной воды.

При пуске установок проводится полный физико-химический и бактериологический анализы исходной воды, имеющей минерализацию по сухому остатку 2,6 г/л. Вода сульфатно -



кальциево-натриевого класса, жесткость её высокая - 20 мг-экв/л. Солеосодержание воды в скважине несколько меняется по сезонам года. Так, содержание сульфатов колеблется от 26 до 31 мг-экв/л (1250 - 1500 мг/л); повышенное их содержание придает воде горький вкус. По другим физическим показателям она соответствует требованиям ГОСТ на питьевую воду: прозрачна, не имеет запаха, содержание взвешенных веществ ничтожно мало, температура 18°C, pH равно 7. Хлориды содержатся в воде в количестве, соответствующем требованиям ГОСТ, железо - 0,3 мг/г, фтор, бром иод - в очень малом количестве; содержание ионов кальция магния натрия завышенное.

Выбор рабочего режима установки зависит от минерализации и жесткости исходной воды. От правильного (оптимального) выбора рабочего режима в значительной степени зависит величина энергетических затрат на опреснение, а также количество и качество получаемой опресненной воды. Проведенные исследования работы установок на воде различной минерализации показали, что при опреснении слабоминерализованных вод до 3 г/л имеется возможность увеличить производительность электродиализных установок на 20-25%. При минерализации исходной воды более 3 г/л увеличение производительности маловероятно, но есть возможность выбрать минимальную силу тока, достаточную для получения пресной воды, отвечающей требованиям ГОСТ.

Выбор наиболее экономичного режима установки сопровождается проведением химических анализов исходной и опресненной воды, по которым контролируется её качество. Желательно получить опресненную воду с минерализацией 0,8 - 0,95 г/л, более глубокое опреснение ведет к значительному перерасходу электроэнергии. Для этого устанавливаются все параметры технологического режима, установка запускается в работу; отбираются пробы исходной, опресненной воды и рассола (концентрата); проводится анализ проб по определению физико-химических показателей. Все данные заносятся в журнал: время отбора проб, производительность установки, ток в активной зоне, напряжение на электродах аппарата, условное сопротивление аппарата, потребляемая мощность на опреснение, расход кислоты, давление на входе в аппарат;



солесодержание исходной опресненной воды и рассола.

Затем устанавливается новый режим работы (все параметры меняются): вновь отбираются пробы, проводится их анализ. Подобным образом установка испытывается на различных технологических режимах. Изменение солесодержания опресненной воды при различных технологических режимах показано на рис. I.

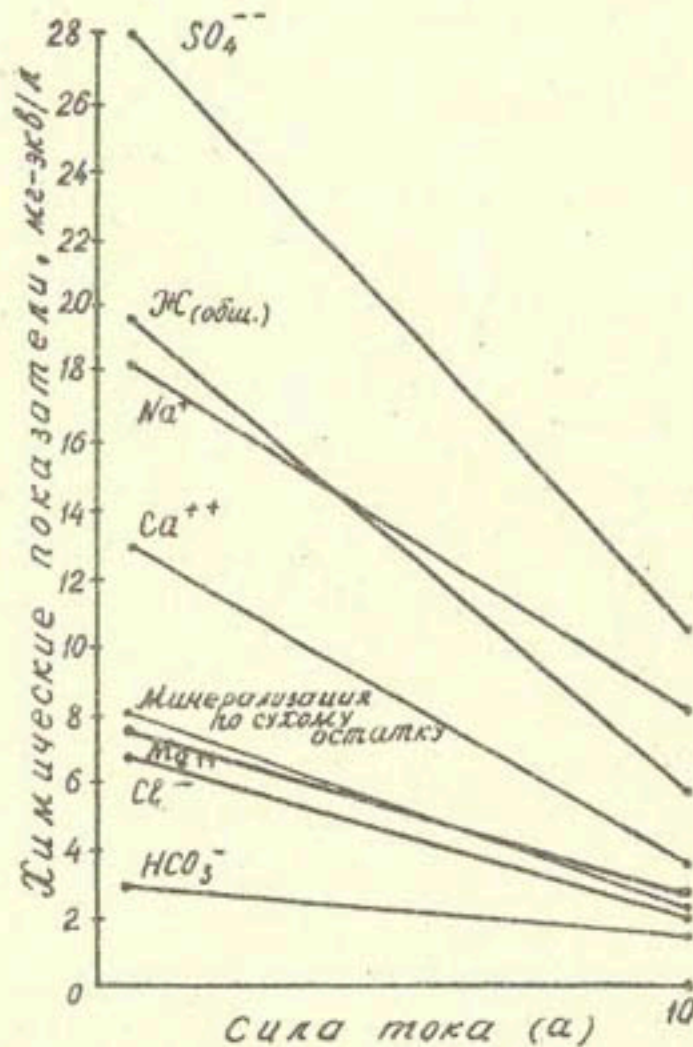


Рис. I. Изменение качественного состава воды при опреснении.

(Наиболее оптимальный режим работы установки НИИПМ-25).

Путем сравнения всех полученных данных выбирается наиболее оптимальный режим, который устанавливается как "рабочий". При этом режиме производительность установки наивысшая, затраты электроэнергии наименьшие, опресненная вода соответствует требованиям ГОСТ 2874-54 "Вода питьевая".



При проверке качеств опресненной воды проводится физико-химический анализ, при котором определяются:

1. Физические свойства воды: температура, мутность, цветность, запах, вкус и привкус.

2. Химические показатели воды: активная кислотность, общее содержание железа, нитрит - ион, нитрат - ион, ион аммония, карбонат - ион, гидрокарбонат - ион, жесткость общая, ион кальция, ион магния, жесткость карбонатная, сульфат - ион, хлорид - ион, ионы калия и натрия, фтор - ион, окисляемость, щелочность или кислотность, сумма минеральных веществ, сухой остаток.

3. Бактериологические показатели воды: баканализ воды включает определение коли-титра и коли-индекса.

Минерализация опресненной воды по сухому остатку 0,8-1 г/л, вода по физическим, химическим показателям отвечает требованиям ГОСТ 2874-54. При опреснении резко снижается ее жесткость (от 20 до 6-5 мг-экв/л), содержание ионов кальция, магния, натрия, сульфат-ионов; в результате горький вкус исчезает. Ионы железа определяются только в виде следов. Окисляемость воды невысокая. Замечено, что при повышении оптимальной плотности тока, окисляемость увеличивается. Можно предположить, что происходит некоторое "смывание" органического вещества мембран, но этот вопрос требует детального исследования.

Изменение солесодержания по основным химическим показателям наглядно видно на рис.2.

Для определения работы фильтров предочистки (МКФ) и фильтра доочистки (БАУ) проводились отборы проб и их анализы после МКФ, БАУ. Замечено, что после фильтров предочистки несколько снижается содержание железа, взвешенных веществ, сульфат-ионов. Фильтр БАУ служит для придания органолептических свойств воде, т.е. для улучшения ее вкусовых качеств. Вода, взятая до БАУ и после БАУ, резко отличается по вкусовым свойствам. Опресненная вода, прошедшая через фильтр БАУ, имеет отличные вкусовые качества: не имеет "мембранного" привкуса, без запаха.

Проводилось обследование отложений солей на мембранах, сетках, рамках, которые состоят в основном из сернокис-



лых солей кальция, магния, карбонатов железа.

Неполный физико-химический анализ исходной опресненной воды рассола проводится ежедневно. Ухудшение качеств воды при меняющихся режимах указывает на сильные отложения солей на мембранах: электролизный аппарат необходимо перебрать. Отложения солей удаляются путем промывки мембран, сеток, рамок в слабокислом растворе; жирные пятна смываются этиловым спиртом — ректификатом.

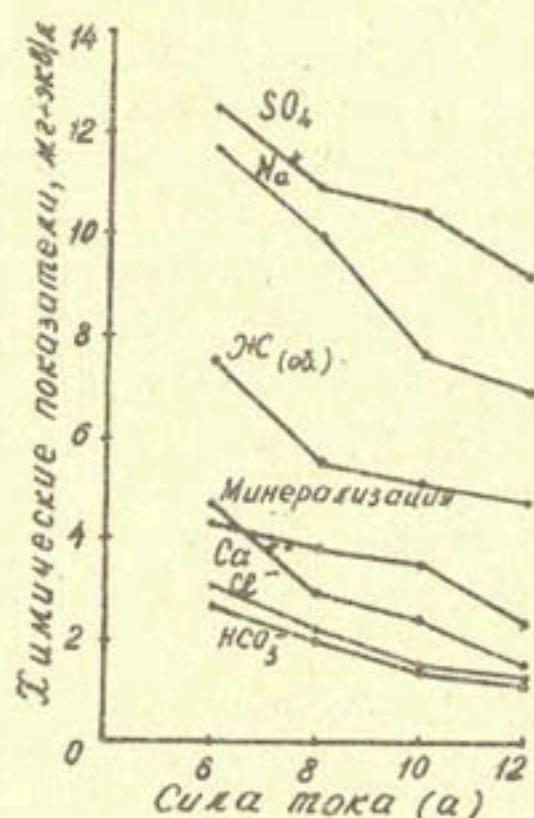


Рис.2. Изменение качественного состава опресненной воды при различной силе тока (мг-экв/л).

Сочетание исследований при изменении технологических режимов работы установки и одновременном наблюдении за качеством опресненной воды дало возможность выявить некоторые конструктивные недостатки установок, возможность увеличения их производительности, технико-экономические показатели при эксплуатации установок в сельских условиях.



Р.И. Вагапов – зав.сектором, к.т.н. (КазНИИВХ)

ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ПОТЕРИ И ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ  
В ДЛИННОМ ВОДОВОДЕ ПРИ НЕРАВНОМЕРНОМ РЕЖИМЕ  
ВОДОПОТРЕБЛЕНИЯ И СТУПЕНЧАТОЙ РАБОТЕ НАСОСНОЙ СТАНЦИИ

При подборе насосов и определении гидравлических потерь в трубопроводах систем водоснабжения обычно ведут расчеты для стационарного режима движения, что правомерно для случая подключения водопотребителей через регулируемую емкость. Однако нередко в практике строительства водопотребителей подключают непосредственно к магистральному водоводу. С целью полного использования давления на начальных участках групповых водопроводов практикуется кратковременное включение регулирующих емкостей, что приводит к нестационарному режиму движения.

На разводящей же сети при подаче воды из емкости будет наблюдаться нестационарный режим движения, что вызвано неравномерностью водопотребления. Как известно, при нестационарном режиме движения в водоводе гидравлические потери напора на трение несколько выше и определяются характеристикой пульсации скорости.

В общем случае режим водопотребления за некоторый промежуток времени  $\tau$  можно представить стационарным рядом

$$Q(t) = Q_0 + \varepsilon(t), \quad (1)$$

где  $Q_0$  – среднее значение водопотребления за время  $\tau$ ;  
 $\varepsilon(t)$  – переменная случайного характера, имеющая определенное законом плотности распределения  $\rho(\varepsilon)$ .

Аналогично (1) можно выразить и скорость движения воды в водоводе

$$u(t) = u_0 + v. \quad (2)$$

Как известно, теоретическо-вероятностное среднее значение произвольной функции от аргумента случайного характера выражается зависимостью [3] :

$$f[u(t)] = \int_{-\infty}^{\infty} f(u) \rho(u) du. \quad (3)$$

Тогда среднее значение гидравлических потерь на трение за время  $\tau$  будет равно:

$$\bar{h}_{rp} = \frac{z}{2g} \int_{-\infty}^{\infty} (u_0 + v)^2 \rho(v) dv. \quad (4)$$



Рассмотрим случай нормального распределения случайной величины  $v$ , то есть

$$p(v) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{v^2}{2\sigma^2}} \quad (5)$$

где  $\sigma$  — среднеквадратичное значение.

Из (4) получаем

$$\bar{h}_{rp} = \frac{\sum z}{2g} \left[ u_0^2 \int_{-\infty}^{\infty} p(v) dv + 2u_0 \int_{-\infty}^{\infty} v p(v) dv + \int_{-\infty}^{\infty} v^2 p(v) dv \right],$$

откуда

$$\bar{h}_{rp} = \left( \sum z_m + \lambda \frac{L}{d} \right) \frac{(u_0^2 + \sigma^2)}{2g}, \quad (6)$$

т.к.  $\int_{-\infty}^{\infty} p(v) dv = 1; \int_{-\infty}^{\infty} v p(v) dv = 0; \int_{-\infty}^{\infty} v^2 p(v) dv = \sigma^2$

Аналогично среднее значение мощности, затраченной на гидравлические сопротивления за время  $\tau$ , будет равно:

$$\begin{aligned} \bar{N}_{rp} &= \gamma Q \bar{h}_{rp} = \frac{\gamma \sum z}{2g\omega} \int_{-\infty}^{\infty} (u_0 + v)^3 p(v) dv = \\ &= \frac{\gamma \sum z}{2g\omega} \left[ u_0^3 \int_{-\infty}^{\infty} p(v) dv + 3u_0^2 \int_{-\infty}^{\infty} v p(v) dv + 3u_0 \int_{-\infty}^{\infty} v^2 p(v) dv + \right. \\ &\quad \left. + \int_{-\infty}^{\infty} v^3 p(v) dv \right] = \frac{\gamma \sum z}{2g\omega} (u_0^3 + 3u_0 \sigma^2), \end{aligned}$$

откуда

$$\bar{N}_{rp} = \gamma Q \sum z \frac{(u_0^2 + 3\sigma^2)}{2g}. \quad (7)$$

Как видно из (6) и (7) осредненная энергия, затрачиваемая на пульсационную составляющую расхода, в 3 раза больше вычисленных по осредненному расходу и потере трения.

Полученные зависимости (6) и (7) в первом приближении могут быть использованы для асимметричных кривых распределения расхода. При положительной асимметрии будет наблюдаться некоторое увеличение значений  $\bar{h}_{rp}$  и  $\bar{N}_{rp}$ . Точное вычисление величин  $\bar{h}_{rp}$  и  $\bar{N}_{rp}$  возможно с помощью численного интегрирования несобственных интегралов в решениях (6) и (7).

На большинстве групповых систем сельскохозяйственного водоснабжения принят ступенчатый график водоподачи насосной станции с максимальным вписыванием в график водопотребления.

При нестационарном режиме движения в водоводе возникают дополнительные сопротивления, вызванные инерционностью жидкости, которые в первоначальный момент включения дополнительных насосов будут способствовать запаздыванию



графика водоподачи, а при выключении наоборот обеспечивать подачу воды, не предусмотренную графиком. Причем с увеличением длины водовода даже незначительные ускорения вызывают значительные инерционные сопротивления, так как масса жидкости в водоводе достигает огромных значений, например, на групповых водоводах — до  $10^5$  тыс.т. Поэтому при разработке графика водоподачи и подборе регулирующих емкостей возникает необходимость учета переходных процессов. В первом случае необходимо составить график с учетом времени запаздывания, во втором — регулирующая емкость должна назначаться с учетом объема дефицита, возникающего в первоначальный момент времени.

Если емкость не обеспечивает накопление воды, то энергия инерции переходит в потенциальную, то есть повышается давление по водоводу, что приводит к дополнительному перерасходу энергии и авариям на нижних участках.

Рассмотрим простейшую схему: по длинному водоводу в регулируемую емкость подается вода насосной станцией ступенчатым графиком. В первоначальный момент включения дополнительных насосов в начале водовода давление повышается скачком и по трубопроводу распространяется упругая волна сжатия. Переходный процесс в этом случае можно рассматривать как два отдельных процесса: процесс распространения упругой волны сжатия и собственно переходный процесс, вызванный изменением расхода и инерционностью массы жидкости.

Расход в конце трубопровода будет запаздывать на время

$$t_{\text{зан}} = \frac{S}{a} \quad (8)$$

Изменения давления и скорости в упругой волне сжатия затухают на экспоненте и на достаточно длинном водоводе

$\lambda \frac{L}{a} \sim 10^4$  при  $U \sim 1,0$  м/сек, приращение скорости практически будет равно 0, так же можно пренебречь отраженной волной, т.к.  $\Delta \rho$  ничтожно мало, тогда при  $t \geq t_3$  влиянием упругих деформаций можно пренебречь  $\frac{\partial Q}{\partial x} = 0$ ,

то есть расход во всех сечениях при  $t \geq t_3$  будет одинаков и аккумуляции жидкости в трубопроводе практически не происхо-



дит. Тогда интеграл уравнения неустановившегося напорного движения будет иметь вид / I /:

$$z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + h_e + \frac{e}{g} \int \frac{dv}{dt} - \frac{1}{g} \int \frac{\partial}{\partial s} \left( \frac{v^2}{2} \right),$$

т.к.  $\frac{1}{g} \frac{dv}{dt} = \frac{1}{g} \frac{dv}{dt} + \frac{1}{g} \frac{\partial}{\partial s} \left( \frac{v^2}{2} \right).$  (9)

Конвективная часть инерции определяется изменением скорости и для конечных сечений I-I и 2-2 равна

$$\frac{1}{g} \int \frac{\partial}{\partial s} \left( \frac{v^2}{2} \right) = \frac{v_2^2}{2g} - \frac{v_1^2}{2g}.$$

Принимая за плоскость сравнения уровень воды в источнике, из (9) получим:

$$\frac{e}{g\omega} \frac{dQ}{dt} = H_n - H_r - ALQ^2, \quad (10)$$

где  $H_{н.с.}$  — напор, развиваемый насосами при параллельной работе;

$H_r$  — геодезический напор в конце водовода.

Характеристику параллельной работы однотипных насосов с достаточной степенью точности можно выразить в виде /2/:

$$H_{н.с.} = H_0 - \frac{S_{\varphi}}{n} Q^2, \quad (11)$$

где  $S_{\varphi}$  — фиктивное сопротивление в насосе;  
 $n$  — число насосов.

Из (10) можно получить

$$dt = \frac{e}{g\omega} \cdot \frac{dQ}{H_0 - H_r - (AL + \frac{S_{\varphi}}{n}) Q^2}. \quad (12)$$

Учитывая, что при установившемся режиме  $\frac{dQ}{dt} = 0$ , тогда расход будет равен:

$$Q_i = \sqrt{\frac{H_0 - H_r}{AL + \frac{S_{\varphi}}{n_i}}}. \quad (13)$$

Из (12) можно получить  $dt = \frac{e Q_i}{g\omega(H_0 - H_r)} \cdot \frac{d \frac{Q}{Q_i}}{1 - (\frac{Q}{Q_i})^2}$ ,

откуда  $t_2 - t_1 = \frac{e Q_i}{g\omega(H_0 - H_r)} \int_{t_1}^{t_2} \frac{d \frac{Q}{Q_i}}{1 - (\frac{Q}{Q_i})^2} = \frac{e Q_i}{g\omega(H_0 - H_r)} \operatorname{arctg} \frac{Q}{Q_i} + C.$

При  $t_1 = t_{зан}$ ,  $Q = Q_0$ .

получим

$$t_n = t_{зан} - \frac{e Q_i}{g\omega(H_0 - H_r)} \left( \operatorname{arctg} \frac{Q}{Q_i} - \operatorname{arctg} \frac{Q_0}{Q_i} \right). \quad (14)$$



Анализируя уравнение (I4), легко заметить, что расход  $Q = Q_i$  устанавливается при  $t = \infty$ . Поэтому для практических расходов достаточно определить время установления расхода  $0,95 + 0,99 Q_i$ .

Для удобства расчета представим (I4) в виде

$$t_n = t_{зан} + t_o \cdot \tau_{перех}, \quad (I5)$$

где  $t_o = \frac{e Q_i}{g \omega (H_o - H_r)}$ ,  $\tau_{перех} = \left( \alpha z th \frac{Q}{Q_i} - \alpha z th \frac{Q_o}{Q_i} \right)$ .

В табл. I приведены значения  $\tau_{перех}$ , вычисленные по (I5) при различных значениях  $\frac{Q_i}{Q_o}$ .

Таблица I

| $\frac{Q - Q_o}{Q_i - Q_o}$ | 0,2   | 0,4   | 0,6   | 0,8   | 0,9   | 0,95  |
|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 2,0                         | 0,144 | 0,319 | 0,551 | 0,923 | 1,283 | 1,635 |
| 1,8                         | 0,142 | 0,310 | 0,534 | 0,908 | 1,256 | 1,625 |
| 1,6                         | 0,133 | 0,296 | 0,520 | 0,875 | 1,222 | 1,675 |
| 1,4                         | 0,132 | 0,290 | 0,508 | 0,870 | 1,194 | 1,580 |
| 1,2                         | 0,124 | 0,280 | 0,497 | 0,845 | 1,113 | 1,536 |

Дефицит подачи в регулируемую емкость в начальный момент времени  $t_n$  будет равен

$$W_{деф} = (Q_i - Q_o) t_{зан} \int_{t_{зан}}^{t_{пер}} (Q_i - Q) dt = (Q_i - Q_o) t_{зан} + t_{пер} (Q_i - Q_o) \int_0^{\tau_{пер}} \left( 1 - \frac{Q}{Q_i - Q_o} \right) d\tau =$$

$$= (Q_i - Q_o) [t_{зан} + K_{\beta} \cdot t_{пер}], \quad (I6)$$

где  $\tau = \frac{t}{t_{пер}}$ .

Значение интеграла в (I6) можно вычислить численным методом. В табл. 2 приведены их значения.

Таблица 2

| $\frac{Q_o}{Q_i}$ | 2,0   | 1,8   | 1,6  | 1,4  | 1,2  |
|-------------------|-------|-------|------|------|------|
| $K_{\beta}$       | 0,560 | 0,550 | 0,54 | 0,53 | 0,52 |



Полный дефицит подачи насосной станции с учетом водопотребления за время  $t_n$  можно принять равным  $W_{пол} = 2W_{деф}$ .

Для примера проведем расчет дефицита подачи для насосной станции при следующих параметрах:  $Q_0 = 0,25 \text{ м}^3/\text{сек}$ ;  $Q_i = 0,5 \text{ м}^3/\text{сек}$ ;  $L = 100 \text{ км}$ ;  $v_i = 2,0 \text{ м/сек}$ ;  $H_0 = 120 \text{ м}$ ;  $H_r = 20 \text{ м}$  (рис.).

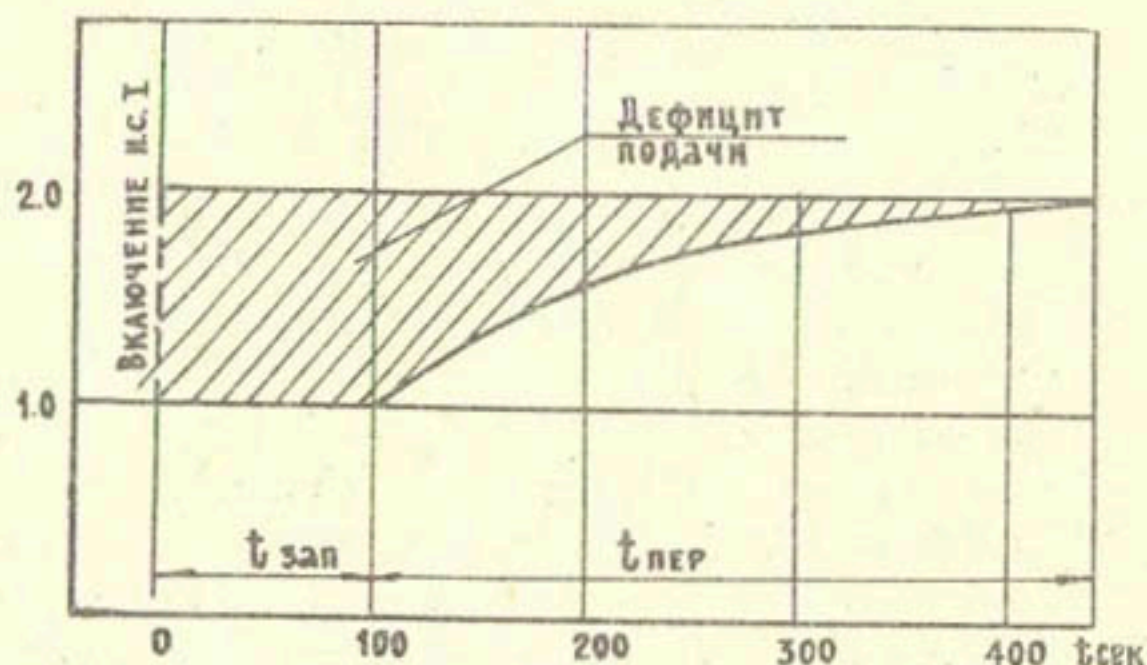


Рис. Дефицит подачи насосной станции в первоначальный момент включения насосов.

Примем скорость распространения волны  $\alpha = 1000 \text{ м/сек}$ .

Тогда

$$t_n = \frac{100 \cdot 10^3 \cdot 2,0}{9,81 \cdot 100} = 200 \text{ сек};$$

$$t_n = \frac{100 \cdot 10^3}{100} = 100 \text{ сек};$$

$$W_{деф} = (0,5 - 0,25) 100 + 0,56 (0,5 - 0,25) 200 = 53 \text{ м}^3;$$

$$W_{пол} = 2 \cdot 53 = 106 \text{ м}^3.$$

Регулирующая емкость насосной станции только для покрытия дефицита подачи должна быть не менее  $106 \text{ м}^3$ .

Таким образом при расчете разводящей сети и непосредственном подключении водопотребителей к магистральному водоводу необходимо учитывать потери напора, вызванные нестационарностью расхода.



## Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Богомолов А.И., Михайлов Н.А. Гидравлика. М., Госэнергоиздат, 1965.
  2. Ильин В.Г. Расчет совместной работы насосов водопроводных сетей и резервуаров. Киев, 1963.
  3. Монин А.С., Яглом А.М. Статистическая гидромеханика, ч. I, М., Изд-во "Наука", 1965.
- К.Ш.Аширяев - зав.отделом, к.т.н.; Н.И.Першин - СНС (КазНИИВХ)

### О ПОКАЗАТЕЛЯХ СУТОЧНОГО РЕЖИМА ВОДОПОТРЕБЛЕНИЯ В СИСТЕМАХ ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Основой рационального решения сложного комплекса технико-экономических вопросов при проектировании и эксплуатации систем водоснабжения является правильное определение ожидаемых колебаний часовых расходов воды, то есть графиков суточного водопотребления.

При расчетах и исследовании графиков водопотребления с использованием методов теории вероятностей необходимо иметь некоторые безразмерные показатели (коэффициенты), с помощью которых можно было бы характеризовать режим работы системы водоснабжения по мощности (пропускной способности) или во времени. Применяемые в настоящее время в практике проектирования коэффициенты часовой неравномерности водопотребления представляют собой ни что иное как коэффициент запаса к среднему значению расхода. Он совершенно не отражает режим водопотребления за расчетный отрезок времени, так как одно и то же среднее значение расхода и максимум можно получить в одном случае при большой амплитуде колебаний, когда создается крайне неблагоприятный режим для работы водопроводных сооружений; в другом случае - при достаточно равномерном, ритмичном изменении расходов, весьма близких к среднему значению, и при наличии лишь одного - двух пиков максимума.

Прежде чем переходить к построению системы показателей графиков суточного водопотребления уточним основные величины и коэффициенты, встречающиеся в современных методах определения расчетных расходов.

Понятие среднего расхода  $Q_c$  является основной статистической характеристикой при расчетах водопроводных сетей.

Величина среднего расхода воды позволяет приближенно оце-



нить нижний предел вероятных значений расчетного расхода и определяется по формуле:

$$Q_c = \frac{\sum Q_i}{T},$$

где  $T$  — период времени, за который определяется  $Q_c$ ,  
 $Q_c$  — расход в  $i$ -ый час.

Среднеквадратичный расход  $Q_{ск}$  или  $Q_{эkv}$  — постоянный по величине расход, при котором потери напора на рассматриваемом участке сети за определенное время равны действительным потерям напора при действительно имеющемся переменном расходе. Эта характеристика применяется при определении ожидаемых потерь напора

$$Q_{ск} = \sqrt{\frac{Q_1^2 T_1 + Q_2^2 T_2 + \dots + Q_i^2 T_i}{\sum T_i}}.$$

Понятия среднеквадратичного и среднего расхода приводят непосредственно к понятиям дисперсии расхода:

$$DQ = M(Q^2) - [M(Q)]^2 = Q_{ск}^2 - Q_c^2$$

и среднеквадратичного отклонения (стандарта расхода):

$$\sigma_Q = \sqrt{DQ}$$

Эти понятия имеют вероятностный характер /1/ и служат для оценки рассеяния возможных значений величин расхода вокруг его среднего значения.

Максимальный расход  $Q_M$  представляет собой наибольшее значение из соответствующих величин за рассматриваемый интервал времени и характеризуется обеспеченностью и ожидаемой частотой появления за тот или иной период времени. По продолжительности различают два вида максимальных расходов:

1. Максимальный расход (обычно) часовой продолжительности, применяемый для расчета элементов водопроводной сети и определения максимальных потерь напора в сети.

2. Максимальные кратковременные секундные расходы, необходимые для проверки труб на гидравлический удар.

Нормативный (или номинальный) расход  $Q_N$  — это расчетная (паспортная) пропускная способность установленной водоразборной арматуры (санитарных приборов), применяемый чаще всего в расчетах внутренних водопроводов. Суммарный номинальный расход всех потребителей группы позволяет сделать первую, самую грубую, оценку значений верхнего предела расчетного расхода.

Расчетный расход — это расход, на который рассчитываются элементы системы водоснабжения. При этом подача этого рас-



хода при заданном графике водопотребления должна обеспечить наилучшие технико-экономические показатели проектируемой системы водоснабжения. Одно из возможных значений расчетного расхода для нормального распределения /2/ может быть определено:

$$Q_{p\beta} = M(Q) + t_{\beta} \sqrt{DQ} = Q_c + t_{\beta} \sigma,$$

где  $M(Q)$  — математическое ожидание величины расхода, которое в данном случае совпадает с понятием среднего расхода;

$t_{\beta}$  — кратность меры рассеяния. Эта величина определяет (для нормального закона) число средних квадратических отклонений, которые нужно отложить вправо и влево от центра рассеивания для того, чтобы вероятность попадания в полученный участок была равна  $\beta$ . Так при обеспеченности (достоверности) результатов  $\beta = 0,95$ ;  $t_{\beta} = 1,96$ .

Переходим непосредственно к самим показателям графиков водопотребления.

1. Модульный коэффициент  $K$  — это отношение текущего значения расхода к среднему за определенный период времени (сутки, год):

$$K = \frac{Q}{Q_c}.$$

Модульный коэффициент связан важной зависимостью с коэффициентом вариации:

$$K_v = \sqrt{\frac{\sum (K-1)^2}{n}}.$$

2. Под коэффициентом формы графика водопотребления будем понимать отношение среднеквадратического расхода к его среднему значению за расчетный интервал времени:

$$K_{\phi} = \frac{Q_{ск}}{Q_c}.$$

Этот коэффициент характеризует неравномерность графика во времени и при неизменном расходе принимает свое наименьшее, равное единице, значение. Коэффициент формы связан зависимостью с применяемым в расчетах коэффициентом вариации:

$$K_v = \frac{\sigma}{Q_c} = \frac{\sqrt{Q_{ск}^2 - Q_c^2}}{Q_c} = \sqrt{\frac{Q_{ск}^2}{Q_c^2} - 1} = \sqrt{K_{\phi}^2 - 1},$$

или

$$K_{\phi} = \sqrt{K_v^2 + 1}$$



3. Под коэффициентом участия в максимуме /3/ (вечерним или дневным) следует понимать отношение расхода водопотребителя в момент общесетевого максимума ( $Q_m$ ) к собственному максимальному расходу ( $Q_{mc}$ ):  $K_{ум} = \frac{Q_m}{Q_{mc}} \leq 1$ .

Коэффициент участия показывает, какая часть максимального расхода потребителя воды приходится на суммарный (вечерний или дневной) максимум расходов.

4. Коэффициент одновременности представляет собой отношение величины совмещенного максимального расхода воды к сумме максимумов расходов отдельных потребителей или их групп:

$$K_o = \frac{Q_m}{\sum_{i=1}^n Q_{mi}} \leq 1.$$

Для однородных потребителей, расходы которых соизмеримы, коэффициент одновременности зависит от количества потребителей. Этот коэффициент характеризует смещение максимумов расходов отдельных потребителей во времени. Данное обстоятельство обуславливает снижение суммарного максимального расхода по сравнению с суммой максимумов отдельных потребителей. И только в случае, когда максимальные расходы отдельных групп водопотребителей совпадают во времени, что весьма мало вероятно, их суммарный максимальный расход будет равен сумме расходов отдельных групп потребителей.

5. Степень размаха действующих величин расходов суточного графика водопотребления может быть охарактеризована коэффициентом  $K_p = \frac{Q_{max}}{Q_{min}}$ , причем величина этого отношения будет зависеть от принимаемого при расчетах интервала осреднения. При интервале осреднения, равном  $\Delta t = 1$  час, для центральных усадеб поселков с населением до 2000 человек  $K_p \approx 20$ . При меньшем интервале  $K_p$  будет выше. Закономерность  $K_p = f(\Delta t)$  позволяет выбрать интервал осреднения с допустимой погрешностью, то есть такой интервал, который отображал бы существенные изменения  $Q_{max}$  и  $Q_{min}$ , а не маловероятные случайные изменения величины расхода. В настоящее время распространен интервал часовой продолжительности.

6. Коэффициент использования  $K_{и}$  представляет собой отношение объема воды, фактически пропущенного по системе за определенное время, к расчетному объему воды, который мог бы



быть пропущен по системе при её работе на полную пропускную способность /4/. Имеется ввиду, что производительность насосных станций, пропускная способность водозаборов, трубопроводов, водоочистных сооружений и других элементов находятся в полном соответствии. Если это условие почему-то не соблюдено, то необходимо различать их мощность в отдельности, а коэффициент использования системы определять по мощности лимитирующего элемента

$$K_u = \frac{W_{\text{год. ф.}}}{Q_p \cdot 8760}$$

где  $W$  год.ф. — фактический годовой объем водопотребления за этот год, тыс.м<sup>3</sup>;

$Q_p$  — расчетный расход.

Коэффициент  $K_u$  является основным показателем эффективности использования производственной мощности системы. Проведенные исследования показывают, что фактическая величина  $K_u$  для систем водоснабжения Северного Казахстана не превышает 0,4.

7. Как известно, расчетный расход включает в себя расходы по трем секторам водопотребления: коммунально-бытовому, производственному и животноводческому. Устойчивость формы суточного графика водопотребления сети зависит от структуры  $\gamma$  номинальных (нормативных) расходов, определяемой соотношением (удельным весом расходов каждого сектора):

$$\gamma = \frac{Q_{пр}}{Q_{кб} + Q_{пр} + Q_{ж}}$$

Как правило, увеличение доли расходов производственного сектора улучшает заполнение суточного графика и делает режим водопотребления более равномерным.

В табл. приведены числовые значения показателей для типовых графиков водопотребления в сельских населенных пунктах, разработанных КазНИИВХом и КжНИИГиМом.



Таблица

| № п/п | Показатели графиков водопотребления | КазНИИВХ  |           |           | ЮжНИИГиМ |
|-------|-------------------------------------|-----------|-----------|-----------|----------|
|       |                                     | К час=3,0 | К час=2,5 | К час=2,2 |          |
| 1     | в %                                 | 4,17      | 4,17      | 4,17      | 4,17     |
| 2     | в %                                 | 5,22      | 5,02      | 4,7       | 4,73     |
| 3     | в %                                 | 12,5      | 10,5      | 9,0       | 8,5      |
| 4     | в %                                 | 9,57      | 8,97      | 7,94      | 8,09     |
| 5     |                                     | 1,25      | 1,20      | 1,13      | 1,13     |
| 6     |                                     | 1,32      | 1,5       | 1,9       | 1,82     |
| 7     |                                     | 25        | 21        | 9,0       | 8,5      |

Применение показателей, приведенных в данной работе, позволит глубже вскрыть картину формирования режима водопотребления и дать более полную характеристику и количественную оценку режимов водопотребления.

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Н.В.Смирнов, Н.В.Дунин-Барковский. Курс теории вероятностей и математической статистики. Изд-во "Наука", М., 1969.
2. Е.С.Вентцель. Теория вероятностей. Физматгиз, М., 1962.
3. К.Ш.Аширяев. О расчетных расходах воды в системах сельскохозяйственного водоснабжения. Материалы республиканской научно-технической конференции молодых ученых водного хозяйства. Изд-во "Казахстан", 1971.
4. К.Ш. Аширяев. Коэффициенты использования систем сельскохозяйственного водоснабжения. Изд-во "Казахстан", 1971.



Ф.Г. Герр - зав.сектором.к.т.н. (КазНИИВХ)

## ИЗМЕНЕНИЕ ДЕБИТА ШАХТНЫХ КОЛОДЦЕВ В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ

В КазНИИВХ произведен комплекс исследований работы шахтных колодцев. Настоящая статья посвящена выявлению закономерности изменения дебита шахтных колодцев в процессе эксплуатации.

### I. Краткая программа и методика исследований

Исследование условий эксплуатации шахтных колодцев. В процессе эксплуатации шахтных колодцев периодически проводились следующие работы: осмотр колодцев; регистрация водопотребителей; откачка воды из колодцев; замер уровня воды в колодцах.

Опытные откачки воды из шахтных колодцев осуществлялись по общепринятой методике (4). При этом дебит измерялся объемным методом при установившихся уровнях и дебитах воды в колодце.

В связи с тем, что в настоящей работе нас интересует изменение дебита шахтных колодцев в функции суммарного водозабора, были отобраны и рассмотрены все показатели при сравнительно одинаковых глубинах откачек.

Методика обработки данных. Определение дебита шахтного колодца осуществлялось объемным способом. Замеры проводились с трехкратной повторностью.

Подбор эмпирической формулы для установления из опытных данных по дебиту функциональной зависимости (дебит колодца есть функция от суммарного водоотбора из него) осуществлялся согласно рекомендации И.Н.Бронштейна (1).

Вычисление средней абсолютной ошибки полученной формулы производилось по общеизвестной зависимости:

$$\Delta = \pm \frac{\sum \Delta_1}{n} \quad (1)$$

где  $\sum \Delta_1$  - сумма отклонений расчетных данных от опытных;  
 $n$  - количество наблюдений.

Средняя абсолютная ошибка, отнесенная к среднему дебиту колодцев, равна:

$$\Delta_2 = \pm \frac{\Delta}{Q_{cp}} \cdot 100 \% \quad (2)$$



## П. Краткая характеристика объектов исследований

Опытно-производственные шахтные колодцы были построены в центральной части пастбищ пустыни Муункумы под инвентаризационными номерами I89, I9I и I93. Их разместили на расстоянии 2,5–5,0 км друг от друга, согласно временных технических указаний по проектированию сельскохозяйственного обводнения (2). Шахтные колодцы находятся почти на одной линии, простирающейся с севера на юг пустыни. Строительство колодцев осуществлялось на территории зимних пастбищ овцесовхоза "Пионер" Джамбулской области и одноименного района. Колодец № I89 построен в урочище Кенесой-Табаны, № I9I – в урочище Кенесой и № I93 – в урочище Темерли.

Построенные колодцы имели несовершенный тип, оборудованы донными и боковыми фильтрами и снабжены сооружениями для водопоя скота (3; 5). Колодцы осмотрены, опробованы и сделано описание условий эксплуатации.

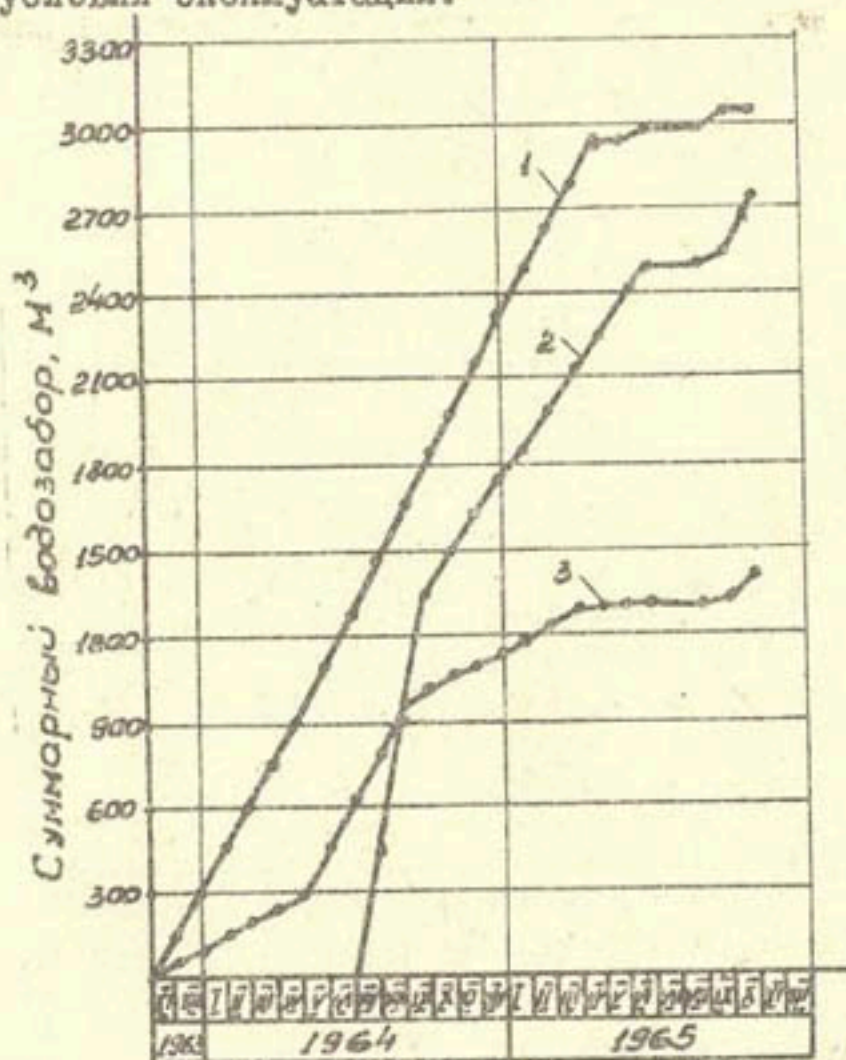


Рис. I. Графики водозабора из опытно-производственных колодцев за период 1963–1965 гг.



На рис. I приведены графики водозабора из опытно-производственных колодцев. Из графика видно, что за 2 года эксплуатации колодцев № № 189 и 191 из них забрано почти одинаковое количество воды (в пределах  $3000 \text{ м}^3$ ), несмотря на большую разницу в равномерности водозабора, а в № 193 — в два раза меньше, то есть  $1,7 \text{ тыс. м}^3$  воды.

Снижение дебита опытно-производственных шахтных колодцев в процессе эксплуатации. Авторы зарубежных и отечественных работ — Е. Принц (6), У. Губер (7;8), Ф. Рорер (9) и др. рассматривают изменение дебита колодцев в процессе их эксплуатации как функцию времени. Между тем механическая и химическая коагуляция фильтров и контактной зоны фильтров шахтных колодцев возникает и проявляется лишь в результате отбора воды.

В соответствии с этим положением динамика дебита опытно-производственных колодцев и изменение показателей, характеризующих работу прифильтровой зоны, исследовались нами как функции суммарного водоотбора. Во всех колодцах по мере водоотбора происходило снижение дебита (табл. I-3; рис. 2).

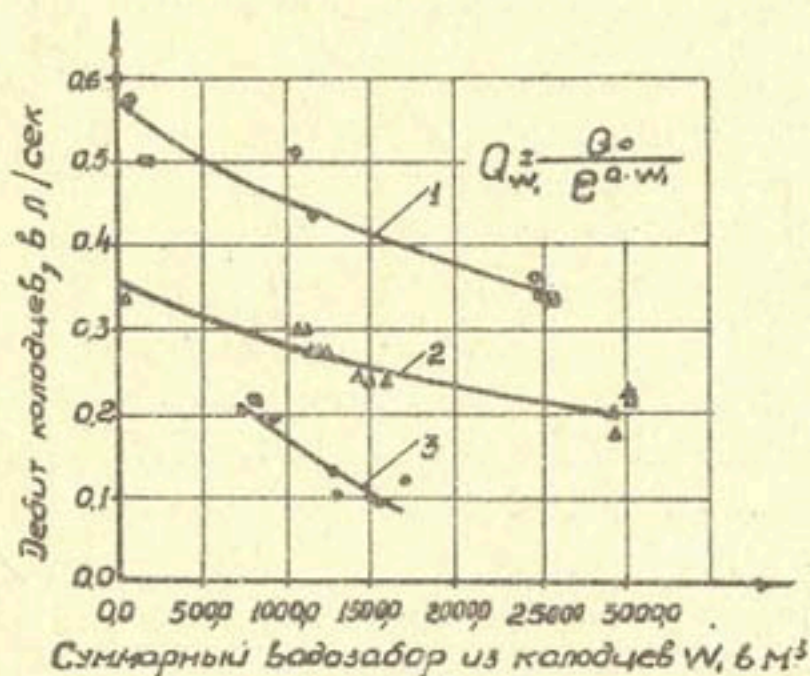


Рис. 2. Динамика дебита шахтных колодцев в процессе водозабора из них:

1. Колодец № 189;
2. Колодец № 191;
3. Колодец № 193.



Следовательно, результаты опытных откачек позволяют выразить дебит колодца как функцию величины суммарного водоотбора:

$$Q_{w_1} = \frac{Q_0}{e^{0,01 \cdot \alpha \cdot W_1}}, \quad (3)$$

где  $Q_{w_1}$  — дебит шахтного колодца при определенном суммарном водоотборе  $W_1$ , л/сек;

$Q_0$  — дебит шахтного колодца в первоначальный период эксплуатации, л/сек;

$e$  — основание натуральных логарифмов, равное 2,718;

0,01 — некоторый постоянный коэффициент, который переводит количество отобранной воды в сотни кубометров;

$\alpha$  — параметр, учитывающий степень снижения дебита шахтного колодца до смены фильтров;

$W_1$  — количество забранной воды из шахтных колодцев в нарастающем итоге от начала их эксплуатации, м<sup>3</sup>.

Таблица I

Динамика дебита шахтного колодца № 189

| Дата проведения откачек | Наблюдаемая мощность водоносного пласта (H), м | Глубина откачки (S), м | Время работы колодца в нарастающем итоге, мес. | Водозабор из колодца в нарастающем итоге, м <sup>3</sup> | Дебит колодца, л/сек |             |              |
|-------------------------|------------------------------------------------|------------------------|------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|----------------------|-------------|--------------|
|                         |                                                |                        |                                                |                                                          | наблюдаемый          | вычисленный |              |
|                         |                                                |                        |                                                |                                                          |                      | по $Q_t$    | по $Q_{w_1}$ |
| I/XI-63                 | 7,50                                           | 2,33                   | 0,000                                          | 0,000                                                    | 0,600                | 0,6761      | 0,5780       |
| 2/УП-64                 | 7,76                                           | 2,30                   | 8,36                                           | 161,0                                                    | 0,580                | 0,5176      | 0,5594       |
| 20/УП-64                | 7,73                                           | 2,28                   | 8,65                                           | 294,0                                                    | 0,500                | 0,5140      | 0,5445       |
| 21/УП-64                | 7,73                                           | 2,28                   | 8,66                                           | 308,7                                                    | 0,500                | 0,5129      | 0,5443       |
| 13/IX-64                | 7,54                                           | 2,34                   | 10,43                                          | 1101,1                                                   | 0,512                | 0,4842      | 0,4634       |
| 28/IX-64                | 7,68                                           | 2,29                   | 10,93                                          | 1320,0                                                   | 0,446                | 0,4764      | 0,4454       |
| 20/П-65                 | 7,70                                           | 2,41                   | 15,36                                          | 1880,0                                                   | —                    | 0,3784      | 0,3963       |
| 28/У-65                 | 7,70                                           | 2,41                   | 18,92                                          | 2422,0                                                   | 0,359                | 0,3698      | 0,3554       |
| 17/УП-65                | 7,71                                           | 2,29                   | 19,58                                          | 2492,0                                                   | 0,339                | 0,3614      | 0,3501       |
| 15/IX-65                | 7,50                                           | 2,33                   | 22,50                                          | 2522,0                                                   | 0,335                | 0,3296      | 0,3484       |
| 16/IX-65                | 7,49                                           | 2,32                   | 22,53                                          | 2554,0                                                   | 0,335                | 0,3296      | 0,3465       |



Таблица 2

Динамика дебита шахтного колодца № 191

| Дата проведения от-качек | Наб-лю-дае-мая мощ-ность водо-нос-ного пласта (H), м | Глу-бина от-ка-чек (S), м | Время рабо-ты колод-ца в на-растаю-щем итоге, мес. | Водо-забор из ко-лодца в на-растаю-щем итоге, м <sup>3</sup> | Дебит колодца, л/сек |             |          |
|--------------------------|------------------------------------------------------|---------------------------|----------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|----------------------|-------------|----------|
|                          |                                                      |                           |                                                    |                                                              | наб-лю-дае-мый       | вычисленный |          |
|                          |                                                      |                           |                                                    |                                                              |                      | по $Q_t$    | по $Q_w$ |
| I/XI-63                  | 6,99                                                 | 3,40                      | 0,000                                              | 0,000                                                        | —                    | 0,3436      | 0,3535   |
| 9/XI-63                  | 6,99                                                 | 3,40                      | 0,300                                              | 45,0                                                         | 0,330                | 0,3412      | 0,3430   |
| 9/II-64                  | 6,93                                                 | 3,41                      | 3,321                                              | 505,0                                                        | —                    | 0,3133      | —        |
| 3/IV-64                  | 6,95                                                 | 3,40                      | 7,000                                              | 1097,0                                                       | 0,300                | 0,2825      | 0,2840   |
| I/VI-64                  | 6,96                                                 | 3,41                      | 7,033                                              | 1097,1                                                       | 0,300                | 0,2818      | 0,2840   |
| 7/VI-64                  | 7,00                                                 | 3,45                      | 7,233                                              | 1140,4                                                       | 0,280                | 0,2805      | 0,2814   |
| II/VI-64                 | 7,00                                                 | 3,45                      | 7,366                                              | 1165,5                                                       | 0,280                | 0,2799      | 0,2800   |
| 12/VI-64                 | 7,01                                                 | 3,45                      | 7,400                                              | 1166,1                                                       | 0,270                | 0,2793      | 0,2798   |
| 29/УП-64                 | 6,91                                                 | 3,46                      | 8,936                                              | 1462,8                                                       | 0,247                | 0,2673      | 0,2635   |
| 7/УШ-64                  | 7,05                                                 | 3,40                      | 9,225                                              | 1518,4                                                       | 0,235                | 0,2655      | 0,2610   |
| 21/УШ-64                 | 7,10                                                 | 3,40                      | 9,680                                              | 1605,1                                                       | 0,239                | 0,2618      | 0,2562   |
| 9/XI-64                  | 7,02                                                 | 3,43                      | 12,300                                             | 2084,0                                                       | —                    | 0,2438      | 0,2330   |
| 9/ III-65                | 7,01                                                 | 3,42                      | 16,290                                             | 2684,0                                                       | —                    | 0,2178      | 0,2067   |
| 16/У-65                  | 7,11                                                 | 3,40                      | 18,516                                             | 2944,0                                                       | 0,200                | 0,2046      | 0,1962   |
| 17/VI-65                 | 7,05                                                 | 3,41                      | 19,566                                             | 2944,0                                                       | 0,170                | 0,1986      | 0,1961   |
| 16/IX-65                 | 6,92                                                 | 3,40                      | 22,533                                             | 3040,0                                                       | 0,227                | 0,1828      | 0,1924   |
| 17/IX-65                 | 6,93                                                 | 3,41                      | 22,566                                             | 3043,0                                                       | 0,223                | 0,1824      | 0,1923   |

Из уравнения 3 видно, что чем выше значение параметра "а" и большее количество воды забрано из колодца, тем интенсивнее происходит снижение дебита шахтного колодца.

Величина параметра "а" зависит в значительной степени от свойств грунтов водоносного пласта, определяющих их суффозионность (табл. 4; 5). Так наибольшее значение этого па-



раметра, равное 0,093, получено для колодца № 193, водоносный грунт которого имеет наименьшую водоотдачу, самое большое количество пылеватых и глинистых частиц, максимальное количество выносимых частиц и водорастворимых солей. Несомненно, что условия водоотбора из колодца, представленные в табл. 5,

Таблица 3

## Динамика дебита колодца № 195

| Дата проведения откачек | Наблюдательная мощность водоносного пласта (H), м | Глубина откачек (S), м | Время работы колодца в нарастающем итоге, мес. | Водозабор из колодца в нарастающем итоге, м <sup>3</sup> | Дебит колодца, л/сек |             |          |
|-------------------------|---------------------------------------------------|------------------------|------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|----------------------|-------------|----------|
|                         |                                                   |                        |                                                |                                                          | наблюдательный       | вычисленный |          |
|                         |                                                   |                        |                                                |                                                          |                      | по $Q_c$    | по $Q_w$ |
| I/XI-63                 | -                                                 | -                      | 0,000                                          | 0,000                                                    | -                    | -           | -        |
| 28/XI-63                | -                                                 | -                      | 0,933                                          | 45,0                                                     | -                    | -           | -        |
| 24/II-64                | 6,26                                              | 3,41                   | 8,773                                          | 758,7                                                    | 0,200                | 0,2061      | 0,2075   |
| 28/II-64                | 6,26                                              | 3,42                   | 8,903                                          | 779,6                                                    | 0,219                | 0,2051      | 0,2032   |
| 30/II-64                | 6,27                                              | 3,40                   | 8,967                                          | 790,6                                                    | 0,219                | 0,2042      | 0,2014   |
| 24/III-64               | 6,28                                              | 3,40                   | 9,773                                          | 919,1                                                    | 0,189                | 0,1919      | 0,1787   |
| 25/III-64               | 6,27                                              | 3,41                   | 9,806                                          | 924,2                                                    | 0,184                | 0,1919      | 0,1774   |
| 28/XI-64                | 6,29                                              | 3,42                   | 12,933                                         | 1106,0                                                   | -                    | 0,1683      | 0,1489   |
| 28/II-65                | 6,30                                              | 3,41                   | 16,000                                         | 1243,2                                                   | -                    | 0,1449      | 0,1321   |
| 25/V-65                 | 6,23                                              | 3,40                   | 18,806                                         | 1307,0                                                   | 0,133                | 0,1262      | 0,1245   |
| 10/VI-65                | 6,31                                              | 3,41                   | 19,333                                         | 1317,6                                                   | 0,100                | 0,1230      | 0,1233   |
| 25/IX-65                | 6,30                                              | 3,40                   | 22,833                                         | 1410,0                                                   | 0,105                | 0,1035      | 0,1130   |
| 28/IX-65                | 6,20                                              | 3,40                   | 22,966                                         | 1512,4                                                   | 0,095                | 0,1030      | 0,1023   |
| 29/IX-65                | 6,30                                              | 3,99                   | 22,933                                         | 1510,0                                                   | 0,095                | 0,1028      | 0,1022   |
| 5/X-65                  | 6,30                                              | 3,43                   | 23,161                                         | 1694,9                                                   | 0,123                | 0,1021      | 0,0867   |



влияют также на величину параметра "а". Водоносные грунты на площадках колодцев № 189, 191 имеют примерно одинаковые показатели, поэтому значения их параметров "а" не отличаются. Кроме того, параметр, учитывающий степень снижения дебита шахтных колодцев может быть вычислен по имеющимся данным эксплуатации колодцев. Определение параметра, учитывающего степень снижения дебита шахтных колодцев целесообразно производить на всех крупных регионах. Это позволит прогнозировать изменения дебита шахтных колодцев и предусматривать проведение мероприятий по восстановлению их дебита.

Таблица 4

Показатели, характеризующие водоотдачу, суффозионность грунтов водоносного пласта и количество водорастворимых солей

| Наименование показателей                                                | Номер опытного колодца |        |        |
|-------------------------------------------------------------------------|------------------------|--------|--------|
|                                                                         | 193                    | 189    | 191    |
| Водоотдача грунта, %                                                    | 11,6                   | 13,5   | 14,3   |
| Максимальная молекулярная влагоемкость грунта, %                        | 8,5                    | 6,9    | 7,1    |
| Количество пылеватых и глинистых частиц в грунте, %                     | 19,06                  | 14,0   | 15,1   |
| Размер суффозионных частиц грунта, выносимых фильтрационным потоком, мм | 0,04                   | 0,02   | 0,05   |
| Количество выносимых частиц, в % от веса грунта                         | 18,0                   | 10,0   | 15,0   |
| Критические скорости фильтрации воды, см/сек                            | 0,0011                 | 0,0019 | 0,0014 |
| Водорастворимые соли, %                                                 | 8,478                  | 3,446  | 3,662  |

Анализ средней абсолютной ошибки полученной нами формулы показывает, что для шахтного колодца № 189 она равна  $\pm 0,024$  л/сек; для № 191 -  $\pm 0,016$  л/сек; для № 193 -  $\pm 0,013$  л/сек. Следовательно, ошибка формулы колеблется в пределах  $\pm 0,013 - 0,026$  л/сек. Средняя абсолютная ошибка, отнесенная к среднему дебиту шахтных колодцев, равна: для колодца № 189  $\pm 5,3\%$ ; для колодца № 191  $\pm 6,3\%$ ; для колодца № 193  $\pm 7,7\%$ . Таким образом, средняя абсолютная ошибка формулы, отнесенная к среднему дебиту колодца, равна  $\pm 5-8 \%$ .



Таблица 5

Показатели, характеризующие условия водоотбора из колодца

| Наименование показателей                              | Номер опытного колодца |        |        |
|-------------------------------------------------------|------------------------|--------|--------|
|                                                       | 193                    | 189    | 191    |
| Дебит шахтных колодцев (первоначальный), л/сек        | 0,208                  | 0,578  | 0,354  |
| Выходные скорости фильтрации, см/сек                  | 0,0676                 | 0,0398 | 0,0583 |
| Отношение выходных скоростей фильтрации к критическим | 48,7                   | 37,0   | 30,4   |
| Параметр, учитывающий снижение дебита колодца "а"     | 0,093                  | 0,020  | 0,020  |
| Количество забранной воды, м <sup>3</sup>             | 1695,0                 | 2746,0 | 3043,0 |

Как уже упоминалось, в связи с сезонностью использования пастбищ, водозабор из обводнительных шахтных колодцев крайне неравномерен по времени их эксплуатации. Поэтому формулы, полученные для условий постоянного водоотбора, в которых дебит колодцев выражается как функция времени их эксплуатации, для расчета не пригодны. Так, например, дебиты колодцев, вычисленные по формуле У. Губера (7 и 8), не соответствуют нашим опытным данным.

$$Q_t = Q_0 \cdot e^{a \cdot t} \quad (4)$$

Для иллюстрации приведем несколько примеров. В период с I/XI-1963 по I/УП-1964 гг. по причине отсутствия скота на водопойном пункте колодца № 189 не было водозабора. Фактически измеренный дебит колодцев уменьшился за этот период от 0,600 до 0,580 л/сек (разница в 0,02 л/сек, то есть в пределах точности расчетов). Дебит колодца, подсчитанный по формуле У. Губера, дает следующие данные:  $0,6761 - 0,5176 = 0,1585$  л/сек, что в 8 раз выше фактического. Дебит колодца, вычисленный по полученной нами формуле, за этот же период изменялся от 0,5780 до 0,5594 л/сек (разница 0,0186 л/сек), что близко к действительности. За четыре месяца в период с 28/V-65 по 16/IX-65 гг. из колодца № 189 было забрано всего 80 м<sup>3</sup> воды. При этом фактически измеренный дебит снизился с 0,359 до 0,335 л/сек (разница 0,024 л/сек, в пределах точности расчетов). Подсчитанный по формуле 4, он изменялся в пре-



делах  $0,354 - 0,315 = 0,049$  л/сек, что в два с лишним раза больше фактического и т.д.

Степень снижения дебита колодцев по времени эксплуатации, подсчитанная по формуле У.Губера, выражается следующими данными: для колодца № 189  $\alpha_1 = 0,032$ ; для колодца № 191  $\alpha_1 = 0,028$ ; для колодца № 193  $\alpha_1 = 0,049$ .

Следовательно, если параметры снижения дебита колодцев в зависимости от времени их эксплуатации изменяются мало (от 0,028 до 0,049), то эти же параметры, вычисленные в зависимости от количества отобранной воды и показателей, характеризующих водоотдачу, суффозионность грунтов водоносного пласта и количество водорастворимых солей, изменяются от 0,020 до 0,093.

### В ы в о д ы

1. В процессе эксплуатации колодцев и потребления воды из них происходит неизбежное снижение их дебита. Так, за два года работы колодцев при отборе из них от 1,7 до 3,0 тыс. м<sup>3</sup> воды снижение дебита достигало 40-60%.

2. При эксплуатации обводнительных шахтных колодцев наблюдается очень большая неравномерность водозабора по времени года и соответственно тяжелый гидравлический режим их работы. Это вызывается сезонностью использования пастбищ.

3. Результаты опытных откачек из шахтных колодцев позволили выразить дебит колодца как функцию величины суммарного водозабора (формула 3). В то же время, авторы ряда работ рассматривают изменение дебита колодца в процессе эксплуатации как функцию времени, что неверно, так как механическая и химическая кольтация фильтров и прифильтровой зоны обводнительных шахтных колодцев возникает и проявляется лишь в результате водоотбора.

4. Величина параметра, учитывающего степень снижения дебита шахтного колодца, в значительной мере зависит от свойств грунтов водоносного пласта, определяющих их суффозионность и количество водорастворимых солей.

5. Полученная эмпирическая формула позволяет прогнозировать уменьшение дебита шахтных колодцев и назначать время проведения мероприятий по его восстановлению.



## Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Бронштейн И.Н. Справочник по математике. Госиздат технико-теоретической литературы, М., 1964.
2. Временные технические указания по проектированию сельскохозяйственного обводнения. Изд-во МСХ СССР, М., 1957.
3. Герр Ф.Г. Строительство водопойных пунктов на отгонных пастбищах. Изд-во "Кайнар", Алма-Ата, 1965.
4. Гирицкий И.К. Определение коэффициента фильтрации по данным откачек при неустановившихся дебете и понижении. Госгеолитиздат, М., 1950.
5. Оводов В.С., Ильин В.Г. Проектирование сельскохозяйственного водоснабжения и обводнения, М., 1962.
6. Принц Е., Кампе Р. Гидрогеология. Под редакцией проф. Семихатова и горного инженера Казаринова, том II, "источник", Сельхозгиз, М., 1937.
7. Huber U. *Über die Kluftigkeit des jenseh Kengebiges (Böhmen) Internat. Z. f. Wasserverss. 1916.*
8. Huber U. *Wasserführende Gesteine. Internat. Z. f. Wasserverss 1910.*
9. Röhner F. *Über Quellenuntersuchungsmethoden. Gas - u Wasserfach 1929.*

С.Б. Крыдаков - ст. инженер (КазЮЖГипроВодХоз)

Х. Карешов - зав. отделом, к.т.н. (КазНИИВХ)

# ПОДЗЕМНЫЕ ВОДЫ АЛЛЮВИАЛЬНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ДОЛИНЫ Р. ЧАР И ПЕРСПЕКТИВЫ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДЛЯ ОРОШЕНИЯ И ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Систематическими гидрогеологическими исследованиями, проведенными за последнее десятилетие в Семипалатинской области, установлено, что наиболее возможным источником централизованного водоснабжения населенных пунктов, промышленных предприятий, объектов являются подземные воды аллювиальных отложений долин рек и предгорных аллювиальных равнин. Неглубокое залегание вод аллювиальных отложений речных долин, возможность забора простыми сооружениями и наличие значительных водных ресурсов позволяет признать их использование более рациональным.

Река Чар, левый приток р. Иртыш, - наиболее крупная водная артерия рассматриваемого района, берет свое начало на юго-западном склоне Калбинского хребта. В верхнем и нижнем течении протекает по районам развития мелкопесочника, вследствие чего выработанная ею долина имеет сравнительно не-



большую ширину (до 1–2 км) и мощность аллювиальных отложений не превышающую 2–4 м. В среднем течении (с. Георгиевка – г. Чарск) долина реки расширяется до 30–35 км и постепенно сужается до 5 км в районе г. Чарск. Первая и вторая надпойменные террасы без видимого уступа на поверхности сливаются с пологонаклонной предгорной аллювиальной равниной.

В аллювиальных отложениях предгорной равнины и долины р. Чар формируется единый поток грунтовых вод, направление движения которого образует некоторый угол с направлением течения реки и совпадает с общим уклоном поверхности (рис. I).

Рельеф района преимущественно мелкопесочный, представляющий собой скопление гряд, сопок и увалов различных форм и размеров с пологими склонами.

Климат района засушливый, с холодной зимой и жарким летом. Минимальная среднемесячная температура воздуха минус 14–16<sup>0</sup>С наблюдалась в январе – феврале, максимальная – 20–22<sup>0</sup>С – в августе. По данным метеостанции г. Чарск среднее годовое количество атмосферных осадков составляет 265 мм, большая часть их приходится на теплый период года и пополняет запасы подземных вод.

Среднегодовой расход р. Чар 5,32 м<sup>3</sup>/сек, а ее притоков р. Коньма – 2,57 м<sup>3</sup>/сек, р. Ярлы – 0,07 м<sup>3</sup>/сек. В пределах рассматриваемого участка р. Чар несет пресные воды с минерализацией до 1 г/л, ниже с. Троицкое минерализация поверхностных вод увеличивается до 1,3 г/л и далее к низовьям – до 2,6 г/л (4).

По материалам гидрогеологических изысканий (4; 5; 8) в долине р. Чар можно выделить ряд водоносных горизонтов, приуроченных к рыхлым аллювиальным отложениям.

Водоносный горизонт современных аллювиальных отложений (*aluv*) прослеживается в пределах поймы р. Чар и ее притоков (рис. I). Водовмещающие отложения литологически представлены гравийно-песчаными разностями с включением дресвы и щебенки коренных пород. Грунтовые воды залегают на глубине 0,6 – 0,8 м и имеют тесную гидравлическую связь с поверхностными водами р. Чар и смежными водоносными горизонтами. Мощность



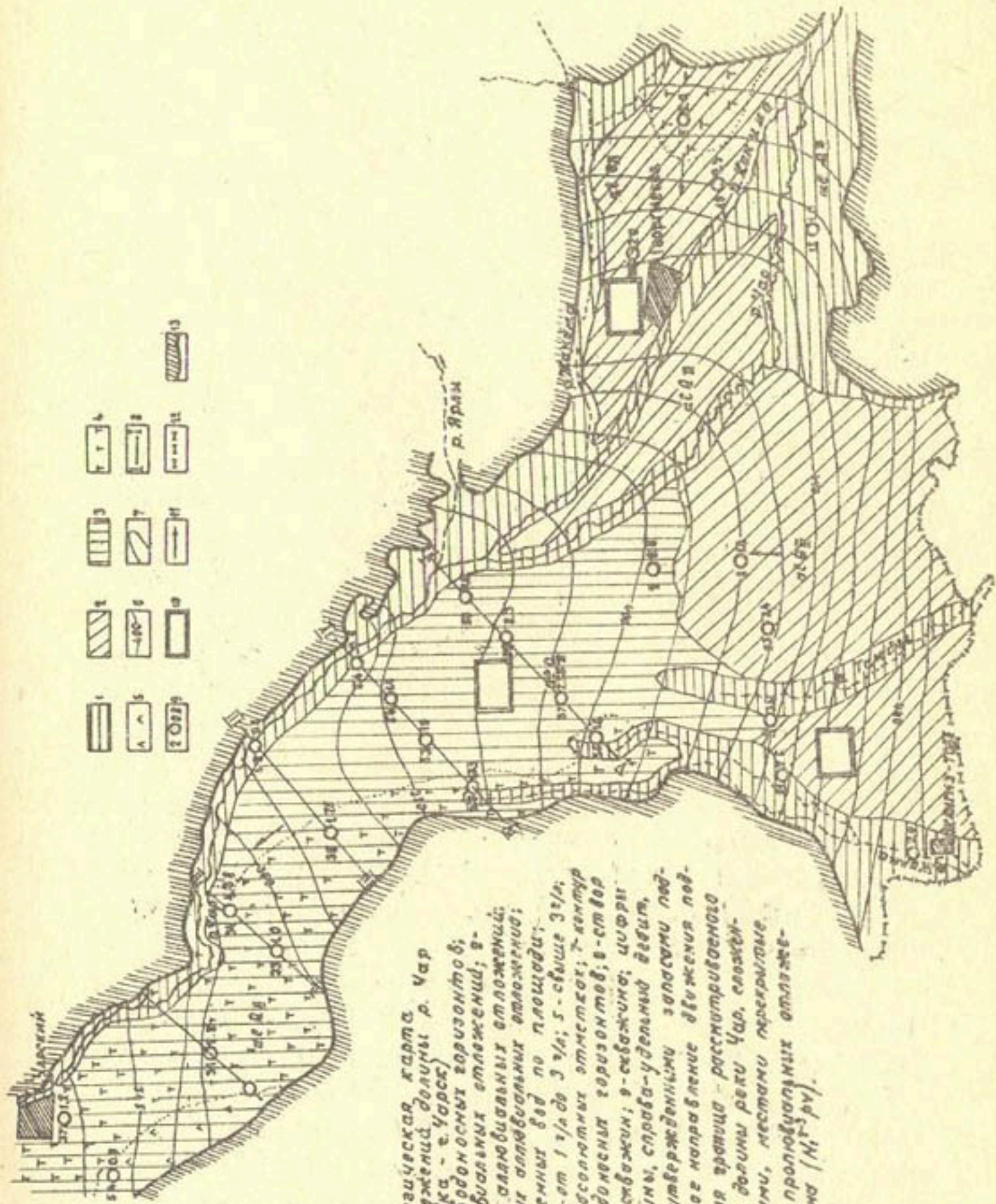


Рис. 1. Гидрогеологическая карта долины р. Чир (участок с. Георгиевка - с. Чирск).  
 1 - современная аллювиальная толща; 2 - древняя аллювиальная толща; 3 - суглинистая почва; 4 - суглинистая почва; 5 - суглинистая почва; 6 - суглинистая почва; 7 - суглинистая почва; 8 - суглинистая почва; 9 - суглинистая почва; 10 - суглинистая почва; 11 - суглинистая почва; 12 - суглинистая почва; 13 - суглинистая почва; 14 - суглинистая почва; 15 - суглинистая почва; 16 - суглинистая почва; 17 - суглинистая почва; 18 - суглинистая почва; 19 - суглинистая почва; 20 - суглинистая почва.



водоносного горизонта, вскрытого скважиной № 47, пробуренного в створе у-у составила 3,2 м; скважины № 49 – 4,5 м. Производительность водоносного горизонта довольно высокая, удельные дебиты скважин изменяются от 0,8 (скв. № 48) до 2 л/сек (скв. № 21). Воды пресные с минерализацией до 0,8 г/л, по составу гидрокарбонатно-сульфатно-кальциевые.

Водоносный горизонт верхнечетвертичных аллювиальных отложений (alqm) прослеживается в пределах первой надпойменной террасы и предгорной аллювиальной равнины. Водовмещающие отложения представлены гравийно-галечниковыми образованиями с песчаным заполнителем. В зависимости от гипсометрических отметок местности подземные воды вскрываются скважинами на глубине 1,3 (скв. № 48) – 8,0 м (скв. № 8). Водовмещающие отложения по фракции хорошо отсортированы, к низу разреза крупность фракции увеличивается, а в верхней его части наблюдаются примеси глинистых частиц. В целом отложения хорошо промыты, коэффициенты фильтрации изменяются от 18 до 150 м/сутки. Наименьшие значения коэффициентов фильтрации получены на участках, где аллювиальные отложения несколько заглинизированы и условия водообмена затруднены. Описываемые отложения водообильны, удельные дебиты скважин изменяются от 1 (скв. № 8) до 9,9 л/сек (скв. № 10). Подземные воды в основном пресные с минерализацией до 1 г/л, за исключением участков замедленной циркуляции и глинистости водовмещающих отложений, где минерализация достигает 2,4 г/л (скв. № 204). Воды по составу сульфатно-гидрокарбонато-натриевые.

Опытными работами и режимным наблюдением установлена тесная гидравлическая связь подземных вод описываемых отложений со смежными водоносными горизонтами и поверхностными водами р. Чар. Амплитуда колебаний уровня грунтовых вод в течение года не превышает 1,5 м. Естественные ресурсы подземных вод верхнечетвертичных аллювиальных отложений значительные. Так, например, по разведанным створам, расположенным в междуречье рр. Жарма и Тамды (у пос. Заготскот) и рр. Чар и Жанама (у с. Георгиевка) естественные ресурсы подземных вод соответственно составили 120 л/сек и 390 л/сек (8). Подземные воды описываемых отложений широко используются для хозяйственно-питьевых нужд населения с. Георгиевка, п. Акжал и др.



Водоносный горизонт среднечетвертичных аллювиальных отложений (*alQII*) прослеживается в пределах второй надпойменной террасы, ширина которой в районе створа у-у составляет 13-14 км, а в районе створа I-I - 5 км. Описываемый водоносный горизонт изучен детально с целью оценки запасов подземных вод для водоснабжения г. Чарока. Поверхность второй надпойменной террасы представляет собой слабонаклоненную в сторону течения реки равнину с перепадом отметок до 35 м, который происходит на расстоянии 16 км. Поверхность второй надпойменной террасы, сложенная светло-каштановой почвой с примесью дресвы и щебенки, местами осложняется останцами коренных пород, вокруг которых обычно расположены небольшие по размеру и глубине (до 1 м) озерные котлованы. В бортах долины водоносный горизонт граничит с отложениями неогена, современными делювиально-пролювиальными образованиями и эффузивно-осадочным комплексом палеозойских пород.

Почти повсеместно аллювиальные отложения подстилаются глинами павлодарской свиты, за исключением некоторых участков, где описываемые отложения залегают непосредственно на скальных образованиях девона (скв. № 67, рис. 2). Данные о мощности горизонта приведены в табл. I.

Таблица I

| № № скважин | Мощность водоносного горизонта, м | № № скважин | Мощность водоносного горизонта, м | № № скважин | Мощность водоносного горизонта |
|-------------|-----------------------------------|-------------|-----------------------------------|-------------|--------------------------------|
| 52          | 14,8                              | 66          | 25,4                              | 40          | 20,1                           |
| 53          | 16,2                              | 70          | 24,1                              | 58          | 20,0                           |
| 54          | 13,5                              | 57          | 23,3                              | 44          | 28,2                           |
| 64          | 11,2                              | 38          | 18,5                              | 46          | 12,7                           |
|             |                                   |             |                                   | 59          | 6,3                            |

Мощность водоносного горизонта составляет в среднем 18 м. Водовмещение породы представлено гравийно-галечниковыми отложениями. Заполнителем служат крупнозернистые пески. Отложения состоят из хорошо промытого отсортированного материала и характеризуются высокой водопроницаемостью. Величина



коэффициента фильтрации, определенная по данным опытных и опытно-кустовых откачек, изменяется от 8,3 (в прибортовых частях долины) до 194 м/сутки (в осевой части долины).

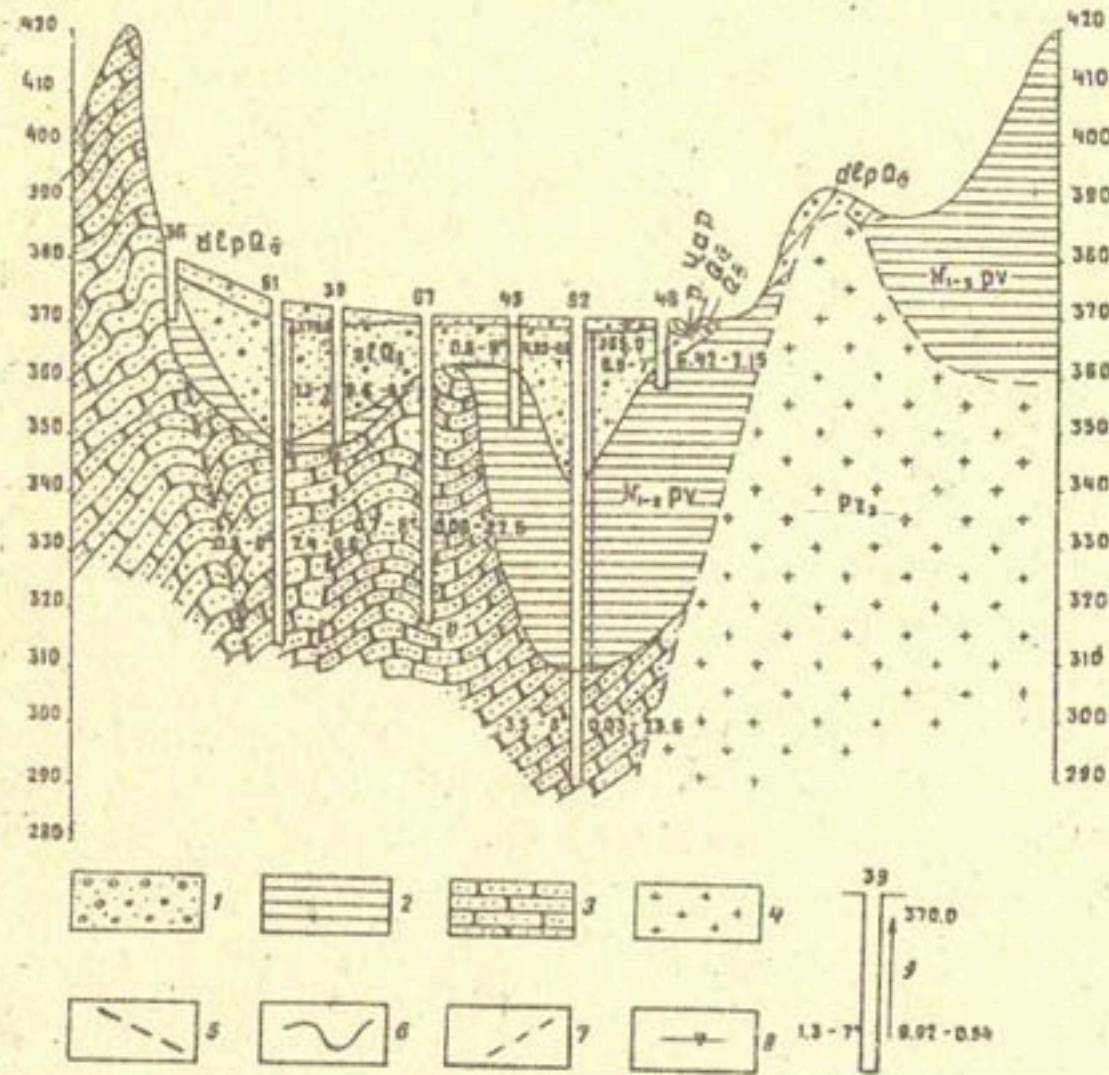


Рис. 2. Гидрогеологический разрез долины р. Чар по створу III-III:

1. Гравийно-галечниковые отложения; 2 - глина; 3 - песчаники; 4 - граниты; 5 - предполагаемая линия разломов; 6 - граница между литологическими разностями пород; 7 - предполагаемая граница между литологическими разностями пород; 8 - уровень грунтовых вод; 9 - скважина (цифры: вверху - номер; слева первая - минерализация воды, г/л; вторая - температура воды, в  $^{\circ}\text{C}$ ; справа первая - дебит, л/сек; вторая - понижение уровня, м; стрелка - напор; цифра у стрелки - пьезометрический уровень, м).

Пробные и опытные откачки показывают, что водоносный горизонт среднечетвертичных аллювиальных отложений обладает хорошей водообильностью и характеризуется следующими данными (табл. 2).



| № № скважин | Дебит, л/сек | Понижение, м | Удельный дебит, л/сек | № № скважин | Дебит, л/сек | Понижение, м | Удельный дебит, л/сек |
|-------------|--------------|--------------|-----------------------|-------------|--------------|--------------|-----------------------|
| 70          | 20,0         | 2,2          | 9,0                   | 45          | 4,2          | 0,8          | 5,3                   |
| 69          | 28,0         | 2,6          | 10,8                  | 53          | 10,5         | 0,5          | 19,0                  |
| 58          | 20,0         | 2,4          | 8,3                   | 54          | 15,4         | 1,1          | 14,0                  |
| 31          | 5,7          | 2,1          | 2,8                   | 64          | 3,9          | 6,4          | 0,6                   |
| 34          | 3,1          | 0,6          | 4,8                   | 66          | 10,0         | 4,2          | 2,4                   |
| 39          | 9,6          | 0,5          | 17,5                  |             |              |              |                       |

Данные режимных наблюдений показывают, что р.Чар является естественной дренажной водоносных горизонтов аллювиальных отложений. Повышение уровня реки во время паводков создает подпор уровню грунтовых вод, обуславливающий общий подъем воды на 1,5-2,0 м.

Естественные ресурсы подземных вод, подсчитанные по створу у-у, составили 139 л/сек, что значительно меньше ресурсов, подсчитанных по двум створам, охвативших 1/3 фронта грунтового потока в районе с.Георгиевка и Заготскот (510 л/сек). Это указывает на то, что большая часть естественных ресурсов подземных вод дренируется рекой и уносится за пределы района.

Из приведенных материалов видно, что подземные воды аллювиальных отложений долины р.Чар характеризуются значительными эксплуатационными и естественными ресурсами. Р.Чар, оставаясь границей с постоянным напором, предопределяет высокие эксплуатационные возможности водозаборов.

Значительные ресурсы подземных вод, выявленные в последние годы в результате детальных гидрогеологических исследований, позволяют организовать в районе участки оазисного орошения. Орошаемые земли района расположены в основном в пределах второй надпойменной террасы р.Чар. Орошение производится за счет поверхностных вод р.Чар, отводимых магистральными каналами Богумбай, Актоган и Жана-Тоган. В результате близкого залегания уровня грунтовых вод к дневной поверхности (1,1-2,0 м) происходит интенсивное испарение подземных вод через зону аэрации, что вызывает вторичное засо-



ление земель и резко снижает урожайность посевов.

В настоящее время площади земель, расположенные ниже с.Троицкое, подвержены вторичному засолению. Этому процессу подвергаются все новые земли. Кроме того, поверхностный сток р.Чар в летний вегетационный период не обеспечивает водой орошаемые массивы. В этих условиях использование подземных вод для орошения имеет две положительные стороны. Во-первых, устраняется недостающий дефицит в поливной воде, во-вторых, в результате работы водозаборных скважин происходит общее снижение уровня грунтовых вод, которое способствует улучшению мелиоративного состояния земель. Эксплуатацию подземных вод при существующих гидрогеологических условиях целесообразно производить скважинами глубиной 25–30 м. Дебиты скважин должны составлять не менее 15–20 л/сек. Водозаборные скважины необходимо располагать вдоль оросительных каналов равномерно по площади с учетом полного захвата естественных ресурсов подземных вод. При этом расход естественного потока подземных вод характеризует минимум эксплуатационных запасов (1).

Эксплуатационные запасы подземных вод в количестве 120 л/сек, подсчитанные гидродинамическим методом, в районе профиля у–у полностью обеспечивают питьевой водой население г.Чарска и других населенных пунктов, расположенных вдоль долины р.Чар. Расчеты показывают, что это количество воды можно получить из трех скважин, расположенных друг от друга на расстоянии 100 м параллельно руслу реки. Эксплуатационный дебит каждой скважины составляет 40 л/сек, при этом понижение в центре ряда не превышает допустимого.

Значительный отбор подземных вод для целей водоснабжения и орошения усилит подпитывание их поверхностными водами р.Чар. Так, например, при распространении депрессии до границы, создаваемой работой будущего водозабора, величина количественной инфильтрации, определенная по формуле Ф.М.Бочевера (2) и полученная им на основе решения задачи подпора подземных вод вблизи рек и водохранилищ, составляет  $3400 \text{ м}^3/\text{сутки}$  или 39,3 л/сек на 1 километр длины фронта фильтрации.



## Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Биндеман Н.К. Оценка эксплуатационных запасов подземных вод. Госгеолтехиздат. М., 1963.
2. Бочеввер Ф.М., Кожевников Е.А. О методике оценки запасов подземных вод для водоснабжения в долинах рек Центрального Казахстана. "Разведка и охрана недр", 1957, № 9.
3. Бочеввер Ф.М. Расчет эксплуатационных запасов подземных вод. "Недра". М., 1968.
4. Джумабаев М.С., Левин С.В. Отчет Калбинской партии по работам 1963-1966гг. Фонды Семипалатинской гидрогеологической экспедиции.
5. Крылдаков С.Б. Отчет о детальной разведке Чарского месторождения подземных вод. 1969, Семипалатинск. Фонды гидрогеологической экспедиции.
6. Коноплянцев А.А. и др. Естественный режим подземных вод и его закономерности. Госгеолтехиздат. М., 1963.
7. Мухамеджанов С.М. Гидрогеология северо-восточной части Казахстана. А-Ата, "Наука", 1971.
8. Тлекин С.Т. Отчет Кокпектинской гидрогеологической партии. 1963. Семипалатинск. Фонды гидрогеологической экспедиции.

Ф.В.Шкаликов — ст.науч.сотр., к.г.н.КазНИИВХ

#### ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ ОЗЕР КАЗАХСТАНА И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДЛЯ ОБВОДНЕНИЯ ПАСТБИЩ

Основная территория пастбищ Казахстана обводняется за счет подземных вод, при этом 22-46% (по данным разных авторов) — за счет открытых источников, в частности, озер. Однако эти водные ресурсы используются далеко недостаточно.

В опубликованной литературе встречаются различные сведения о количестве озер (1-5,7). Для всей территории Казахстана приводятся цифры: 6, 14, 35 и 48 тыс.озер. Их количество при подсчете зависит от масштаба используемых карт. К сожалению, об этом нигде не указано.



По нашим данным (по Талды-Курганской и Алма-Атинской областям приведены озера площадью более  $1 \text{ км}^2$ ), относящиеся в основном к картам среднего масштаба; на территории республики насчитываются 18652 озера, из них около 14,5 тыс. пресных (80%) (табл. I). Но учитывая неточности подсчета по некоторым областям (в сторону занижения) и то, что в Талды-Курганской и Алма-Атинской областях озера площадью менее  $1 \text{ км}^2$  не учтены, за основную сеть озер территории Казахстана округленно можно принять цифру 20 тыс. Резкое увеличение этого числа за счет очень мелких озер мало вероятно, вследствие массового их усыхания (изменение климата, распашка земель, регулирование стока и т.д.). Площадь зеркала большей части озер (75-80%) менее  $1 \text{ км}^2$ , в Павлодарской области этот процент составляет 66, в Целиноградской - 92.

Основная масса естественных водоемов, занимающая степные и полупустынные зоны, расположена в северной части Казахстана выше линии Каспий-Арал-Балхаш и севернее 48-й параллели.

Наибольшее количество озер находится в Кустанайской (более 5000) и Целиноградской (около 4000) областях. В шести областях Северного и Центрального Казахстана сосредоточено 80% всех основных озер.

Что касается объема аккумулированной воды в озерах, то и здесь имеющиеся сведения весьма противоречивы (5,7). Кроме того, не указано к какому периоду они относятся - к летне-осеннему или весеннему.

В учтенных озерах находится не менее 18 млрд.  $\text{м}^3$  воды (табл. I). А если учесть их общее количество (20 тыс.) и запасы водных ресурсов брать на период весеннего наполнения, то они составят около 25 млрд.  $\text{м}^3$  воды в средний по водности год (без крупных озер: Балхаш, Алаколь, Тенгиз и др., табл. I).

Для оценки максимально возможного наполнения водой каждого озера воспользуемся рис. I (Кустанайская обл.). Для этого необходимо знать лишь площадь его зеркала в летне-осеннее время (определяется по карте или в натуре). Пользуясь этим аргументом, можно определить и величину потерь воды на испарение с озера от начала весеннего таяния до начала ледостава (рис. 2).



Таблица I

## Водные ресурсы озер Казахстана

| Область                | Всего озер | Площадь зеркала, км <sup>2</sup> | Общий объем воды, з млн. м | Пресные озера |      | Примечание            |
|------------------------|------------|----------------------------------|----------------------------|---------------|------|-----------------------|
|                        |            |                                  |                            | количество    | %    |                       |
| Гурьевская             | 394        | -                                | (430)                      | 194           | 50   |                       |
| Уральская              | (230)      | 1532                             | (2000)                     | 160           | 70   | Без разливов          |
| Актюбинская            | 1420       | 1600                             | 1500                       | 910           | 64   | Без оз. Челкар-Тенгиз |
| Всего                  | 2044       | -                                | 3930                       | 1264          |      |                       |
| Кустанайская           | 5013       | (5868)                           | 8800                       | 3890          | 78   | Без оз. Кушмурун      |
| Северо-Казахстанская   | 2030       | (1800)                           | (2500)                     | 1897          | 93   |                       |
| Кокчетавская           | 1515       | (3945)                           | (3000)                     | 1320          | 87   | Без оз. Шаглытенгиз   |
| Павлодарская           | 1208       | 2360                             | 2600                       | 384           | 32   |                       |
| Всего                  | 9766       | 13973                            | 1690                       | 7491          |      |                       |
| Целиноградская         | 3942       | (3880)                           | (3500)                     | 3704          | 94   | Без оз. Тенгиз        |
| Карагандинская         | (1890)     | 1077                             | 955                        | 1290          | 68   |                       |
| Всего                  | 5832       | 4957                             | 4455                       | 4994          |      |                       |
| Семипалатинская        | 150        | -                                | (300)                      | 130           | 87   |                       |
| Восточно-Казахстанская | 300        | -                                | (700)                      | 254           | 85   | Без оз. Маркаколь     |
| Всего                  | 450        | -                                | 1000                       | 384           |      |                       |
| Талды-Курганская       | (70)       | 977                              | 3300                       | (18)          | (26) | Без оз. Алаколь       |
| Алма-Атинская          | (12)       | 111                              | (250)                      | (5)           | (42) |                       |
| Джамбулская            | 150        | 378                              | 800                        | 118           | 79   |                       |
| Чимкентская            | 123        | 234                              | 457                        | 89            | 72   |                       |
| Кзыл-Ординская         | 149        | 755                              | 1790                       | 130           | 87   |                       |
| Всего                  | 560        | 2455                             | 6597                       | 360           |      |                       |
| Итого                  | 18652      | -                                | 17672                      | 14493         |      |                       |



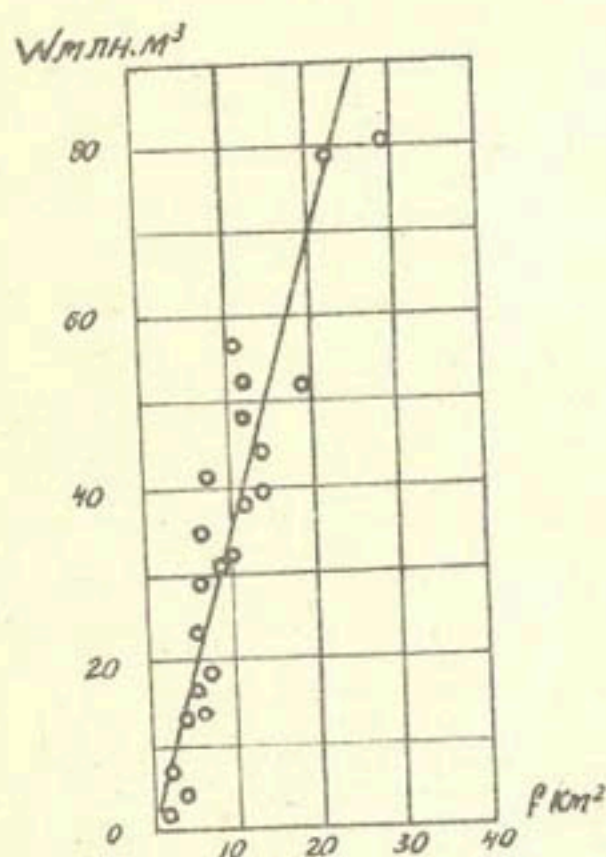


Рис.1. Зависимость объема воды озер при наивысшем весеннем уровне от площади их зеркала в летне-осеннее время.

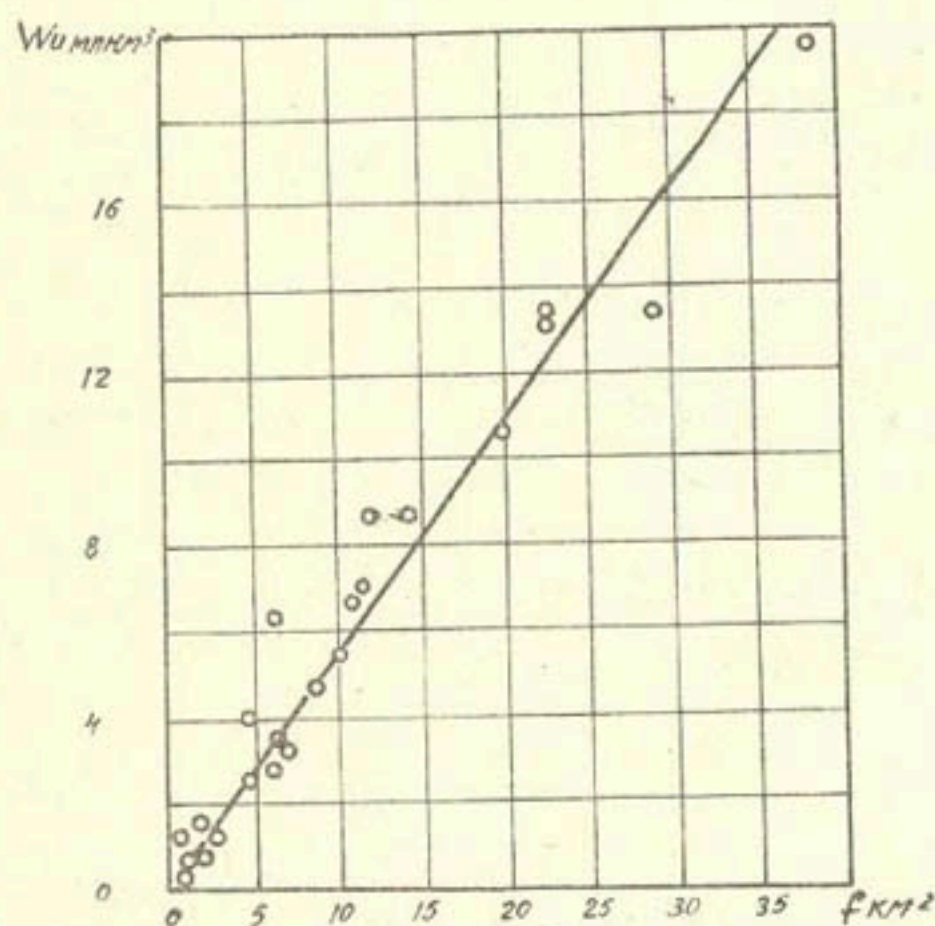


Рис.2. Зависимость объема испарения с зеркала озер ( $W_u$ ) от их площади в летне-осеннее время.



Обе зависимости могут быть использованы и при других водоохозяйственных расчетах, связанных с использованием озер, а также при оценке водных ресурсов области и пр.

Большинство озер Казахстана питается талыми водами. Их режим находится в тесной зависимости от гидрометеорологических факторов. Большая изменчивость этих факторов обуславливает неустойчивость гидрологического режима и водного баланса озер, гидрохимических и морфометрических характеристик (площадей озер, глубин и пр.) по годам и в течение года.

Многие озера, особенно пресные, к концу года сильно мелеют или полностью пересыхают. Так из подвергшихся анализу озер в Актюбинской (43 оз.) и Целиноградской (55 оз.) областях оказались полностью пересохшими 80%. Причиной являются малые глубины (0,5 – 2,0 м) и площади озер в сочетании с большим испарением и усиленной хозяйственной деятельностью в их бассейнах. Отрицательную роль играет и зарастание озер, что приводит к большим потерям воды на испарение, к засолению, бактериологическому заражению и порче воды.

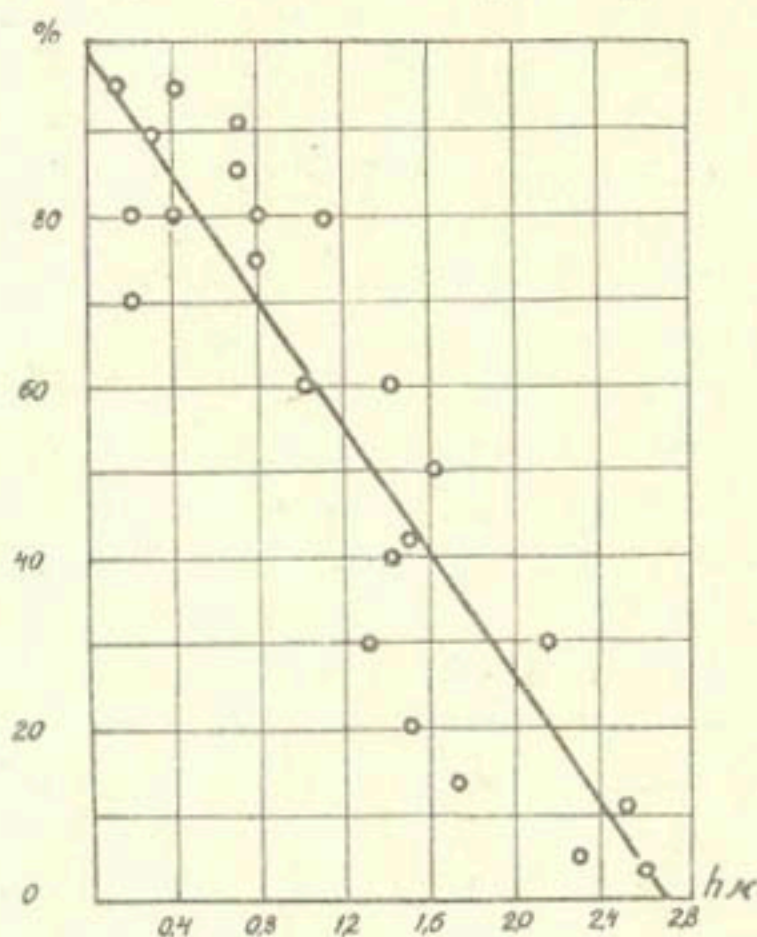


Рис. 3. Зависимость площади зарастания озер (%) от средней глубины ( $h_{\text{ср}}$ ) в летне-осеннее время.



Согласно новым указаниям (8), исследование зарастания необходимо для расчета испарения с поверхности водоемов, для определения поправочного коэффициента.

Из графика на рис.3 видно, что для условий Кустанайской области при глубине озера более 3-х метров площадь зарастания резко уменьшается и может совсем отсутствовать. Для удобства используем аналитическое выражение этой зависимости:

$$\underline{X}\% = \frac{8 - 3/h_m}{0,08},$$

где  $\underline{X}\%$  - площадь зарастания;  
 $h_m$  - средняя глубина водоема.

Важное значение в использовании водных ресурсов озер имеет минерализация. В Казахстане насчитывается 20% соленых и горько-соленых озер, их засоленность непостоянна. Весной при снеготаянии вода опресняется, а с июля её минерализация резко увеличивается. Вода становится непригодной даже для водопоя скота. Степень минерализации, как правило, не зависит от размера водоема.

Практика показала, что воды озер могут использоваться для различных целей: сельскохозяйственного водоснабжения, разведения рыб, птиц, ондатры, в лечебных и других целях. К сожалению, богатые водные ресурсы используются в Казахстане не полностью. Причиной является неустойчивость водного режима и баланса озер, мелководье, массовое распространение явлений пересыхания, промерзания, засоления и связанное с этим ухудшение качеств воды. Ограниченность использования озер связана со слабой их изученностью. Многие озера не используются из-за неудобств водозабора и, в частности, плохих подходов для водопоя скота (зарастаемость, вязкость и обрывистость берегов).

Наиболее распространенным видом использования озер является обводнение и сельскохозяйственное водоснабжение. Состояние использования озерных вод для обводнения пастбищ иллюстрируется табл.2 (данные ММВХ КазССР). Хотя средний процент использования небольшой (3%), однако, для Северного Казахстана он поднимается до 15, а в Северо-Казахстанской области за счет озерных вод обводняется 50% пастбищ. Преобладающее количество озер, расположенных на пастбищах, приходится на те же северные области (2079). Только в Кустанайской области используется до 1000 озер. Однако использо-



вание водных ресурсов для целей обводнения пастбищ желает лучшего.

Таблица 2

| Области                                                                                       | Количество | Площадь<br>обвод-<br>нения,<br>тыс. га | % от<br>обвод-<br>ненной<br>площади |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|------------|----------------------------------------|-------------------------------------|
| Западный Казахстан:                                                                           |            |                                        |                                     |
| Гурьевская, Актюбинская                                                                       | 46         | 137,1                                  | 0,8                                 |
| Северный: Кустанайская,<br>Северо-Казахстанская,<br>Кокчетавская и Павло-<br>дарская          |            |                                        |                                     |
|                                                                                               | 2079       | 1678,7                                 | 15                                  |
| Центральный: Тургайская,<br>Целиноградская и Кара-<br>гандинская                              |            |                                        |                                     |
|                                                                                               | 392        | 893,2                                  | 4                                   |
| Восточный: Семипала-<br>тинская и Восточно-Ка-<br>захстанская                                 |            |                                        |                                     |
|                                                                                               | 32         | 161,1                                  | 1,4                                 |
| Южный: Талды-Курганская,<br>Алма-Атинская, Джамбулская,<br>Чимкентская и Кызыл-Ордин-<br>ская |            |                                        |                                     |
|                                                                                               | 114        | 263,3                                  | 0,9                                 |
| Итого . . .                                                                                   | 2663       | 3133,4                                 | 3                                   |

Примечание: Уральская область не приведена ввиду отсутствия данных.

Как указывалось, на территории Казахстана насчитывается около 14500 пресных озер. Надо полагать, что большинство их пригодно для использования. Имеются данные (6), откуда следует, что из 12,4 тыс. озер Целинного края для нужд сельского хозяйства могут быть использованы 6,5 тыс. озер, в том числе 1,8 тыс. соленых. Таким образом имеются большие возможности для использования пресных озер. Однако, как видно из табл. 2, фактическое использование пресных озер весьма ограничено. На пастбищах эксплуатируется только 2663 озера, что составляет 14% общего их количества и 18% — числа пресных озер.

Большие возможности по использованию пресных озер в



сельскохозяйственном обороте имеются в Кустанайской, Карагандинской, Целиноградской, Актыбинской и Восточно-Казахстанской областях, где для обводнения используются только 25; 8; 6; 4 и 3% пресных озер. В границах первых двух областей находятся такие крупные пастбищные массивы как Тургайский и Сары-Арка. Кроме того, в Карагандинской и Актыбинской областях обводненность пастбищ едва превышает 50%. Обводненность пастбищ можно увеличить и за счет более широкого использования соленых озер. В настоящее время по причине засоления многие солоноватые озера совершенно не используются. Большой процент соленых озер имеется в Павлодарской, Гурьевской и Актыбинской областях. В Павлодарской области водообеспеченность другими пригодными поверхностными и грунтовыми водами недостаточна. Показатель обводненности пастбищ здесь один из низких (42%). В Гурьевской области обводнено только 37% угодий и т.д.

Наиболее координальным способом улучшения питьевого качества воды соленых озер является опреснение. Одновременно с опреснением воды следует практиковать и другие мероприятия по предотвращению (уменьшению) засоления и улучшению качества воды, в частности, борьбу с испарением, зарастанием, обмелением и пересыханием озер.

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Водное хозяйство Казахстана (под редакцией С.М. Сарсембаева). Алма-Ата, "Кайнар", 1971.
2. Гидрологические исследования в Казахстане, вып. II, Алма-Ата, 1965.
3. Ресурсы поверхностных вод районов освоения целинных и залежалых земель (под редакцией В.А. Урываева). Гидрометеиздат, Л., 1958-1959 гг.
4. Ресурсы поверхностных вод СССР тт. 12 и 13. Л., Гидрометеиздат, 1961-1970 гг.
5. Сарыкулов Д. Эффективное использование орошаемых земель, Алма-Ата, "Кайнар", 1967.
6. Сельскохозяйственное водоснабжение целинного края (под редакцией Я.М. Пашенкова и Л.Е. Тажибаева).



Алма-Ата, Казсельхозгиз, 1963.

7. Тажибаев Л.Б. Основы водоснабжения и обводнения сельскохозяйственных районов Казахстана, "Кайнар", 1969.
8. Указания по расчету испарения с поверхности водоемов. Л., Гидрометеонадат, 1969.

Х.Г. Ибрагимов, зав.отделом, к.т.н. (КазНИИВХ)

#### ОБ ОРОШАЕМОМ КОРМОПРОИЗВОДСТВЕ НА ПУСТЫННЫХ ПАСТБИЩАХ ЮГА КАЗАХСТАНА

Пустыни Кызыкумы и Мурыкумы - исторически сложившиеся отгонные участки юга Казахстана, в зимний период здесь сосредотачивается до 25-30% общего поголовья овец республики.

Для успешного выполнения решений XXIV съезда КПСС по резкому увеличению животноводческой продукции в девятой пятилетке (мяса - на 33,1%, шерсти - на 32,5% и т.д.) сельским труженикам республики необходимо решить кормовую проблему, обеспечив преимущественный рост производства кормов над их потреблением.

Естественная продуктивность пустынных пастбищ не превышает 2-3 ц/га поедаемых кормов (50 - 100 корм.ед.), поэтому животноводы вынуждены в течение зимы перемещаться в поисках корма на большие расстояния, что приводит к истощению скота и снижению его продуктивности к концу зимовки.

В неблагоприятный зимний период наблюдается значительное снижение продуктивности овцеводства и большие отходы поголовья.

Улучшение сложившейся практики овцеводства на пустынных пастбищах Казахстана и резкое увеличение продуктивности общественного животноводства возможно за счет увеличения кормоемкости пастбищ и производства страховых запасов кормов на базисных участках за счет развития орошения на базе подземных вод.

Исследования института гидрогеологии и гидрофизики АН Казахской ССР показывают, что на пустынных пастбищах Кыз-



кумов и Мурункумов, расположенных в пределах Кызыл-Ординской, Чимкентской и Джамбулской областей, прогнозные эксплуатационные ресурсы составляют  $598 \text{ м}^3/\text{сек}$  /1/. Если эти ресурсы использовать круглый год с резервированием воды в неполивной период, то суммарный расход подземных водоисточников в вегетационный период можно довести до  $1000 \text{ м}^3/\text{сек}$ , то есть оросить до 1 млн.га земли.

Большим преимуществом этих источников является водообильность и региональное их распространение. Гидрогеологами выделены мощные Кызылкумский и Мурункумский региональные артезианские бассейны в отдельных местах с самоизливающимися скважинами больших дебитов (от 15-30 до 50-115 л/сек). Отбор больших расходов воды в нужных местах позволяет практически осуществлять организацию сравнительно крупных (до 250-300 га) оазисных участков орошения с комплексной механизацией основных процессов возделывания наиболее продуктивных кормовых культур.

Подробный анализ фондовых материалов институтов почвоведения, гидрогеологии и гидрофизики АН Казахской ССР, материалов маршрутного обследования отдела оазисного орошения Казахского НИИ водного хозяйства показывает, что на территории пустынь Кызылкумов и Мурункумов насчитывается до 11,2 млн.га земель, пригодных для оазисного орошения, в том числе 653 тыс.га земель с хорошими и благоприятными гидрогеологическими и почвенно-мелиоративными условиями /2/. По неполным данным здесь орошается немногим более 200 га. Практически не используются огромные возможности в получении высокопродуктивных кормов в нужном количестве.

В Кызылкумах в пределах Кызыл-Ординской области насчитывается до 150 тыс. га земель только с хорошими гидрогеологическими (высокодебитные скважины с пьезометрическим напором более 10 м) и почвенно-мелиоративными условиями (почвы незасоленные, рельеф спокойный, обычная агротехника возделывания сельскохозяйственных культур). В Мурункумах в пределах Джамбулской области насчитывается до 80 тыс.га таких земель, в Чимкентской — до 85 тыс.га. Таким образом 315 тыс.га земель на пустынных пастбищах юга республики можно было бы освоить под оазисное орошение в первую очередь.



Многолетними исследованиями КазНИИХ доказано, что с 1 га орошаемых земель на Западных Муңкумах можно получить до 6-8 тыс. корм.ед. себестоимостью в 1,5-2,0 раза ниже завозимых кормов.

Несмотря на первоначальную сложность условий опытами доказана возможность получения относительно высоких урожаев зернофуражных культур, многолетних трав, суданской травы, кукурузы на зерно и силос, сорго, картофеля, арбузов и др. сельскохозяйственных культур. Например, урожай кукурузы на зерно в пересчете на гектар составил 69,2 ц/га, кукурузы на силос - 409 ц/га, зеленой массы сорго - 400 ц/га, люцернового сена - 89-114 ц/га и т.д. /3/.

При кормоемкости орошаемого гектара 6-8 тыс.корм.ед. можно прокормить за зиму в течение 120-130 суток до 180-200 голов овец и коз при полустойловом содержании (дополнительно к пастбищному рациону 35-40 корм.ед.) или обеспечить кормами 40-45 голов при стойловом содержании с зимним рационом 150 - 160 корм.ед. . Следовательно, в первом случае для содержания 1000 голов овец и коз необходим оазисный участок площадью 5 га, во втором - 25 га.

Таким образом, с орошаемых земель Кылкумов и Муңкумов, составляющих 315 тыс.га, можно получить страховой запас местных кормов для 12 млн.голов овец и коз или обеспечить до 60 млн.голов скота при полустойловом зимнем содержании. Как видим возможности действительно огромны.

Наиболее оптимальным вариантом организации орошаемого кормопроизводства на пустынных пастбищах Казахстана следует считать такой, когда в крупных овцеводческих хозяйствах (численностью 50-75 тыс.голов) будут выделяться животноводческие бригады, обслуживающие до 10-15 тыс.голов с определенной пастбищной территорией, хозяйственными и коммунально-бытовыми условиями. В таких бригадах организуются оазисные орошаемые участки размерами 250-300 га с закрытой оросительной системой, средствами механизированного полива (в основном дождевальным оборудованием) с комплексной механизацией всех трудоемких процессов кормопроизводства, со своей энергетической базой; аварийно-ремонтной службой глубинного насосно-силового оборудования; поливной, сельскохозяйственной и другой техникой.



Как показывает предварительный технико-экономический анализ, капитальные затраты на строительство закрытой механизированной оросительной системы составляют 2500-3000 руб/га, в том числе 300-900 руб/га - затраты на строительство скважин; 800-1400 руб/га - на ирригационное строительство, 600-800 руб/га - на сельскохозяйственное освоение /4/. Кроме того, ежегодные эксплуатационные расходы на орошение составляют 120-200 руб/га, издержки по уходу за культурами - 120-150 руб/га. При существующем амортизационном сроке эксплуатации скважины и поливной техники (25 лет) ежегодные амортизационные и эксплуатационные издержки на орошение составляют до 450 руб/га.

Как отмечалось, продукцией с орошаемого гектара можно прокормить в зимний период до 45 голов овец. При среднегодовых расходах на животного до 12-15 руб издержки в животноводстве в остальной период года составят до 600 руб/га. Таким образом, расходы на орошение и содержание скота составят до 1050 руб/га в год.

В то же время с 45 голов овец можно получить до 130 кг шерсти при сдаточной стоимости 4,50 руб/кг, до 900 кг мяса при сдаточной стоимости 1,04 руб/кг, до 16 смушек по 10,7 руб или суммарную годовую продукцию более чем на 1650 руб. Следовательно, чистый доход от овцеводства должен составить 600 руб/га, средний срок окупаемости затрат на оазисное орошение - 1-2 года. При самых скромных размерах прибыли и наименьших производственных издержках срок окупаемости затрат на оазисное орошение не превышает 5-7 лет.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ахмедсафин У.М. и др. Ресурсы и использование подземных вод Казахстана. Изд-во "Наука", 1972.
2. Данильченко Н.В. и др. Схематичное районирование пастбищных территорий Кызыл-Ординской и Джамбулской областей по перспективам развития оазисного орошения. Джамбул, фонды КазНИИВХ, 1970.
3. Данильченко Н.В. Выращивание кормовых культур в пустыне при орошении подземными водами. "Сельское хозяйство Казахстана" № 1, 1966.



4. Ибрагимов Х.Г. и др. Разработать нормативы для проектирования и эксплуатации участков оазисного орошения на пустынных пастбищах Казахстана. Джембул, Фонды КазНИИВХ, 1973.

Ф.Н. Ким - зам.директора, к.с.-х.н.,

В.Я. Лопатин - зав.отделом, к.с.-х.н., А.Ф. Мац - зав.группой, Н.И. Пересыпкин - СНС, М.М. Рубенок - ст.инженер

( КазНИИВХ )

#### К УСТАНОВЛЕНИЮ ОРОСИТЕЛЬНЫХ НОРМ НА ЛИМАНАХ КАЗАХСТАНА

В настоящее время в Казахстане насчитывается свыше 750 тыс.га лиманов. В девятом пятилетии намечается увеличить площадь лиманного орошения на 200 тыс.га.

Как показала практика эксплуатации лиманов, построенных в Казахстане, действующие системы из-за несовершенства и существенных недостатков малопродуктивны и не отвечают задачам интенсивного освоения мелиорированных земель.

Повышение продуктивности на существующих системах лиманного орошения связано в первую очередь с проведением значительных работ по их реконструкции, поэтому основным вопросом в решении этой проблемы является установление оптимальных оросительных норм лиманного орошения.

В настоящее время при проектировании систем лиманного орошения пользуются временными техническими указаниями, СНиП-И-62 г., СН 356-66 г., рекомендациями и временными инструкциями по эксплуатации лиманных систем Казахстана. Следует отметить, что имеющиеся рекомендации составлены по материалам исследований 60-х годов и по содержанию не отвечают техническим требованиям проектирования совершенных лиманных систем.

В последние годы проведен ряд исследований по вопросам нормирования лиманного орошения, указывающих на необходимость их обобщения и систематизации. Учитывая это, нами сделана попытка дать критический анализ имеющихся рекомендаций по расчету норм лиманного орошения. Ведущие научно-исследовательские организации страны - ВНИИГМ, КжНИИГМ,



НИМИ, КазНИИВХ, ГТИ, Казгипроводхоз и др. уделяют особое внимание этому важному вопросу на всех этапах развития лиманного орошения.

Методы расчета норм лиманного орошения довольно подробно освещены в работах акад. А.Н. Костякова, акад. Б.А. Шумакова, акад. И.А. Шарова, д.с.-х.н. Н.С. Горюнова, д.т.н. Б.Б. Шумакова, А.А. Черных, В.Я. Поповой, М.С. Сабирова, К.И. Смирнова и др. В них прослеживается два пути подхода к установлению величины потребной оросительной нормы. В одних случаях под нормой лиманного орошения (ВНИИГТИ и др.) понимается количество воды, необходимое для создания в корнеобитаемом слое почвы запасов воды, достаточных для получения максимального урожая возделываемой кормовой культуры или естественной растительности, в других (НИМИ, КазНИИГТИ и др.) — понимается недостающее количество воды для удовлетворения суммарного водопотребления растениями при естественном запасе влаги.

В рекомендациях ВНИИГТИ и др. указывается, что при расчете норм лиманного орошения учитываются характер сельскохозяйственного использования лиманов, водно-физические свойства почвогрунтов, уровень залегания грунтовых вод и климатические факторы. Для определения оросительной нормы рекомендуют пользоваться формулой акад. А.Н. Костякова:

$$M = 100 \cdot H \cdot A \cdot (\beta - \beta_0), \quad \text{м}^3/\text{га}, \quad (I)$$

- где  $H$  — глубина увлажняемого (активного) слоя, м;  
 $A$  — полная влагоемкость почв на лиманах, %;  
 $\beta$  — полевая влагоемкость почвы лимана в долях от полной влагоемкости (ППВ), равная 0,80–0,85;  
 $\beta_0$  — влажность почвы к началу заполнения в долях от полной влагоемкости.

Этот способ расчета основан на принципе насыщения почвы водой до полевой влагоемкости (ППВ) в пределах увлажняемого слоя.

Анализируя приведенную формулу, можно сделать вывод, что определяемая по ней величина поливной нормы зависит от водно-физических свойств почвогрунтов, ( $A, \beta$ ), мощности активного слоя ( $H$ ) и содержания влаги в почве перед затоплением ( $\beta_0$ ). Отсюда следует, что при подсчете норм лиман-



ного орошения по этому методу не учитываются формы сельскохозяйственного освоения лиманов и водопотребление растений.

Автор А.А. Черных и др. рекомендуют определять норму орошения для пойменных лиманов, используемых в качестве естественных сенокосов, по зависимости:

$$M = K \cdot H(N - m) - X + E, \text{ м}^3/\text{га}, \quad (2)$$

где  $K$  - коэффициент, учитывающий потери воды, связанные с её проникновением за пределы расчетного слоя почвы, принимается равным 1,3 для мелководных и 1,5 - для глубоководных лиманов;

$H$  - глубина расчетного слоя почвы, принимаемая для полевых кормовых культур, 1,5-2,0 м;

$N$  - предельная полевая влагоемкость расчетного слоя почвы,  $\text{м}^3/\text{га}$ ;

$m$  - мертвый запас воды в том же слое почвы,  $\text{м}^3/\text{га}$ ;

$X$  - осадки за осенне-зимний период;

$E$  - величина испарения с поверхности снега и водной поверхности в период затопления.

Норму лиманного орошения при посеве кормовых культур они рассчитывают по этой же формуле с коэффициентом " $K$ ", равным 1,3.

Для проектирования искусственных лиманов В.Я. Попова предлагает норму лиманного орошения определять по формуле:

$$M_{\text{л.о}} = K \cdot A \cdot H(\beta - \beta_0), \text{ м}^3/\text{га}, \quad (3)$$

где  $K$  - коэффициент, учитывающий неравномерность затопления, глубину промачивания и потери воды на испарение и утечку в зависимости от местных условий;

$A$  - скважность почвы, %;

$H$  - глубина увлажняемого слоя почвы, м;

$\beta$  - влажность почвы в слое " $H$ ", соответствующая предельной полевой влагоемкости, % от скважности;

$\beta_0$  - фактическая влажность почвы перед началом снеготаяния, % от скважности.

Как видно, приведенные расчетные формулы для определения



норм орошения основаны на учете водоудерживающей способности почвогрунтов. Биологические же особенности луговых растений здесь не учитываются.

По предложению акад. Б.А. Шумакова и на основе исследований, проведенных на Северном Кавказе и в Ростовской области, НИМИ и ЮжНИИГиМ рекомендуют норму лиманного орошения рассчитывать из условий водопотребления растений для получения планового урожая. Этот метод расчета заключается в том, что поливная норма должна быть равна суммарному водопотреблению растений за весь период их роста и развития с вычетом суммарных потерь воды на испарение и подпитывание грунтовых вод и наличного запаса влаги в почве до затопления лимана.

Расчетная формула имеет вид:

$$M_{л.о} = K_в \cdot \mathcal{Y} - 100 \mu_1 \sum P_1 - 100 \mu_2 \sum P_2 - 100 \mu_3 \sum P_3 - W_{гр}, \text{ м}^3/\text{га}, \quad (4)$$

где  $K_в$  — коэффициент водопотребления для условий лиманного орошения,  $\text{м}^3/\text{т}$ ;

$\mathcal{Y}$  — плановая урожайность культур при лиманном орошении,  $\text{т}/\text{га}$ ;

$\mu_1, \mu_2, \mu_3$  — коэффициенты использования осадков, выпадающих в вегетационный период, теплый и холодный невегетационный периоды;

$\sum P_1, \sum P_2, \sum P_3$  — суммы осадков, выпадающих в вегетационный, теплый, невегетационный и холодный невегетационный периоды;

$W_{гр}$  — объем грунтовых вод, используемый растениями (учитывается при залегании грунтовых вод ближе 3 м от поверхности земли).

Расчет норм лиманного орошения проводится по рекомендуемой методике для определенной водообеспеченности года. На основе специальных исследований авторы указывают, что проектирование норм лиманного орошения вполне достаточно проводить для среднесухого года 75%-ой обеспеченности. Следует отметить, что метод определения норм лиманного орошения, предложенный акад. Б.А. Шумаковым, дает точные обоснованные величины для любых сельскохозяйственных культур и может быть широко рекомендован при проектировании систем лиман-



ного орошения. Учитывая, что на лиманных системах могут выращиваться различные кормовые культуры, исследователи рекомендуют определять средневзвешенную норму по формуле:

$$M_{\text{ср.вз.л.о}} = \frac{\alpha_1 \cdot M_1 + \alpha_2 \cdot M_2 + \dots + \alpha_n \cdot M_n}{100}, \quad \text{м}^3/\text{га}, \quad (5)$$

где  $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$  — площадь, занятая каждой культурой в севообороте, %;

$M_1, M_2, \dots, M_n$  — норма лиманного орошения, подсчитанная для каждой культуры по формуле (4),  $\text{м}^3/\text{га}$ .

В условиях Западного Казахстана ГТИ проводил работы по изучению водного баланса лиманов. На основе этих исследований рекомендуется расчет норм орошения лиманов производить как при глубоком, так и при неглубоком залегании уровня грунтовых вод.

При глубоком залегании уровня грунтовых вод в условиях Западного Казахстана норму орошения определяют по формуле:

$$M_{\text{л.о}} = 25\tau + A \cdot h(\beta - \beta_0), \quad \text{м}^3/\text{га}, \quad (6)$$

где 25 — осредненное значение среднесуточного испарения с площади лимана,  $\text{м}^3/\text{сутки}$ ;

$\tau$  — средневзвешенная продолжительность затопления лимана, сутки;

$A$  — скважность (пористость) почвогрунта, в % от объема;

$h$  — глубина увлажняемого слоя, м;

$\beta, \beta_0$  — соответственно предельная полевая влагоемкость и фактическая влажность почвы в слое " $h$ ", в % от скважности.

При неглубоком залегании уровня грунтовых вод (до 3–5 м) норму орошения определяют по формуле:

$$M = E + \Delta U_{\alpha} + \Delta U_{\text{гр}} + \Delta W, \quad \text{м}^3/\text{га}, \quad (7)$$

где  $E$  — испарение с площади лимана за время затопления,  $\text{м}^3/\text{га}$ ;

$\Delta U_{\alpha}$  — изменение запасов влаги в слое почвогрунта зоны аэрации,  $\text{м}^3/\text{га}$ ;

$\Delta U_{\text{гр}}$  — изменение запасов грунтовых вод, за счет инфильтрации оросительной воды,  $\text{м}^3/\text{га}$ ;

$\Delta W$  — водообмен с соседними участками лимана.



Как видно, приведенные формулы (6 и 7) представляют видоизмененную формулу В.И. Поповой, с той лишь разницей, что вместо коэффициента "К" введен дополнительный член "25<sup>4</sup>".

Анализ приведенных формул по определению норм лиманного орошения позволяет сделать вывод, что до настоящего времени нет единой методики расчета норм орошения. Это, очевидно, объясняется тем, что при проектировании норм орошения в конкретных условиях необходимо учитывать множество факторов, обуславливающих ее значения и результат, получаемый от осуществления этих расчетных норм. Так, например, при ускоренном залужении лиманов многолетними травами в первый год их освоения расчет норм орошения необходимо вести по водоудерживающей способности почвогрунтов, то есть по методу акад. А.Н. Костякова, в последующие годы сельскохозяйственного использования лугов — по методу акад. Б.А. Шумакова и т.д. Следовательно, в каждом конкретном случае при расчете норм лиманного орошения должны быть учтены свойства почв, формы сельскохозяйственного освоения и использования лиманов.

А.И. Жангарин — зав.лабораторией, к.т.н.;

А.А. Абдураманов — СНС, к.т.н.; Е.Р. Жулаев — инженер;

С.Т. Алпысбаев — инженер; Ж.К. Касымбеков — инженер (КазНИИВХ)

#### К ВОПРОСУ ОСАЖДЕНИЯ НАНОСОВ ПРИ МЕХАНИЧЕСКОМ ВОДОПОДЪЕМЕ

Проблема борьбы с наносами при водозаборе, особенно при механическом водоподъеме, все еще остается одной из задач, требующих своего практического решения. Особые требования по этому вопросу предъявляются к водозаборным установкам сельскохозяйственных водопроводов для целей водоснабжения и обводнения. Основными из этих требований являются, с одной стороны, сохранение рабочего напора агрегатов и доведение расхода воды для промывки наносов до минимума, не превышающего 2-3% производительности насосной установки; с другой — наносоулавливающие устройства должны быть малогабаритными, обладать высокой эффективностью и допускать их перемещение вместе с насосами с одной позиции на другую или вообще быть передвижными.



Размещение на нагнетательном трубопроводе какого-либо наносоулавливающего устройства, как известно, приводит к резкому падению напора и интенсивному истиранию рабочих органов самих насосов.

В связи с этим в КазНИИ водного хозяйства были проведены работы по разработке методов борьбы с наносами при механическом водоподъеме и созданию новых конструкций водопульпоподъемных установок. В основу борьбы с наносами была положена идея создания непосредственно на всасывающей линии насосов интенсивного гидроциклонного движения и использования его эффекта для осаждения, а если необходимо и для сгущения наносов. Возбуждение циклонного потока на линии всасывания насоса позволило не только создать более совершенную и эффективную гидравлическую схему всасывания двухфазной жидкости, но и разработать новые конструкции гидроциклонов и гидроциклонно-насосных установок.

Структура гидроциклонного потока, создаваемого на всасывающей линии насоса. Для получения гидроциклонного потока непосредственно на всасывающей линии насоса соединяют слив циклонной камеры с всасывающим патрубком насоса, а входной патрубок опускают в воду. Откачиваемая жидкость, попав через тангенциально расположенный патрубок в циклонную камеру, в силу неравенства момента количества движения нулю ( $\int \vec{r} \times \vec{v} d\vec{r} \neq 0$ ) приобретает вращательное движение. При вращении жидкости (пульпы) вокруг оси аппарата возникают большие центробежные силы, под действием которых входящая масса прижимается к стенке камеры и, двигаясь по спирали, заполняет камеру. Внутри камеры образуется как бы два объемлющих друг друга винтообразных потока, вращающихся в одну и ту же сторону: периферийный нисходящий поток, увлекающий с собой крупные и твердые частицы; и внутренний (центральный) восходящий поток, по которому движутся более мелкие твердые частицы и основная масса очищенной жидкости. Граница разделения этих потоков зависит от соотношения основных размеров циклонной камеры и элеватора, а также расхода и скорости потока жидкости.

Исходя из закона неразрывности потока жидкости, баланс расходов для любого горизонтального сечения, взятого между разгрузочными отверстиями, можно записать:



$$\int_{\omega_2}^{\omega_1} \bar{V}_{z_2} d\omega = \int_{\omega_1}^{\omega_2} \bar{V}_{z_1} d\omega - Q_{\text{пес}},$$

где  $\omega_2$  — площадь воздушного шнура в данном сечении;  
 $\omega_1$  — площадь восходящего потока;  
 $\omega_2$  — площадь нисходящего потока;  
 $Q_{\text{пес}}$  — расход через песковое отверстие;  
 $\bar{V}_{z_2}, \bar{V}_{z_1}$  — средние по данному сечению осевые скорости.

В начале сливного патрубка величина расхода определяется зависимостью:

$$Q_{\text{сл}} = \int_{\omega_{\text{сл}}}^{\omega_{\text{сл}}} \bar{V}_{z_{\text{сл}}} d\omega,$$

где  $\omega_{\text{сл}}$  — площадь воздушного шнура в сливе;  
 $\bar{V}_{z_{\text{сл}}}$  — средняя скорость в сливе.

Для сечения, взятого при вершине внутреннего восходящего потока, где  $\int_{\omega_1}^{\omega_2} \bar{V}_{z_2} d\omega = 0$  — расход нисходящих токов равняется расходу жидкости через песковое отверстие и может быть вычислен по уравнению:

$$Q_{\text{пес}} = \int_{\omega_{\text{пес}}}^{\omega_{\text{пес}}} \bar{V}_{z_2} d\omega,$$

где  $\omega_{\text{пес}}$  — площадь воздушного шнура в песковом отверстии.

Общий расход через гидроэлеватор выражается зависимостью:

$$Q_{\text{г.э}} = Q_p + \int_{\omega_{\text{пес}}}^{\omega_{\text{пес}}} \bar{V}_{z_2} d\omega.$$

Поток в гидроциклонной камере имеет очень сложное пространственное поле скоростей, обусловленное геометрией камеры (тангенциальный вход и центральный выход из двух соосно — расположенных отверстий, форма и соотношение основных размеров камеры и гидроэлеватора).

На структуру потока в циклонной камере, особенно в области пескового отверстия, заметное влияние оказывает количество движения рабочей струи, гидроэлеватора, причем последнее является основным фактором, определяющим вынос отсепарированных твердых частиц из камеры.

В любой точке циклонного потока вектор скорости можно разделить на три составляющие: тангенциальную  $V_{\varphi}$ , осевую или расходную  $V_z$  и радиальную  $V_r$ .

В зависимости от характера изменения тангенциальной скорости по радиусу ( $V_{\varphi} r = \text{const}$ ) в потоке можно выделить две основные зоны: периферийную, где  $V_{\varphi}$  возрастает по мере уменьшения радиуса, и приосевую, в которой  $V_{\varphi}$  падает по мере приближения к оси вращения. Граница этих зон — месторасположения  $V_{\varphi \text{ max}}$  по радиусу в сечении, взятом в урзе сливного



патрубка По нашим экспериментальным данным при исследовании схемы "б" лежит в пределах:

$$z_{\varphi} = (0,2 \div 0,6) z_{cl}.$$

Начальный момент количества движения единицы массы жидкости при входе в циклонную камеру будет:

$$M_{ex} = V_{ex} \cdot z_{\varphi}.$$

На входе жидкости в камеру циклона происходит расширение струи и перестройка поля её скоростей по закону вращающегося потока с затратой на это определенного количества энергии. Вследствие этого фактическая крутка в любом месте по радиусу будет меньше расчетной по входу, то есть происходит падение начального момента количества движения, степень отклонения которого можно оценить коэффициентом падения крутки (рис. I)

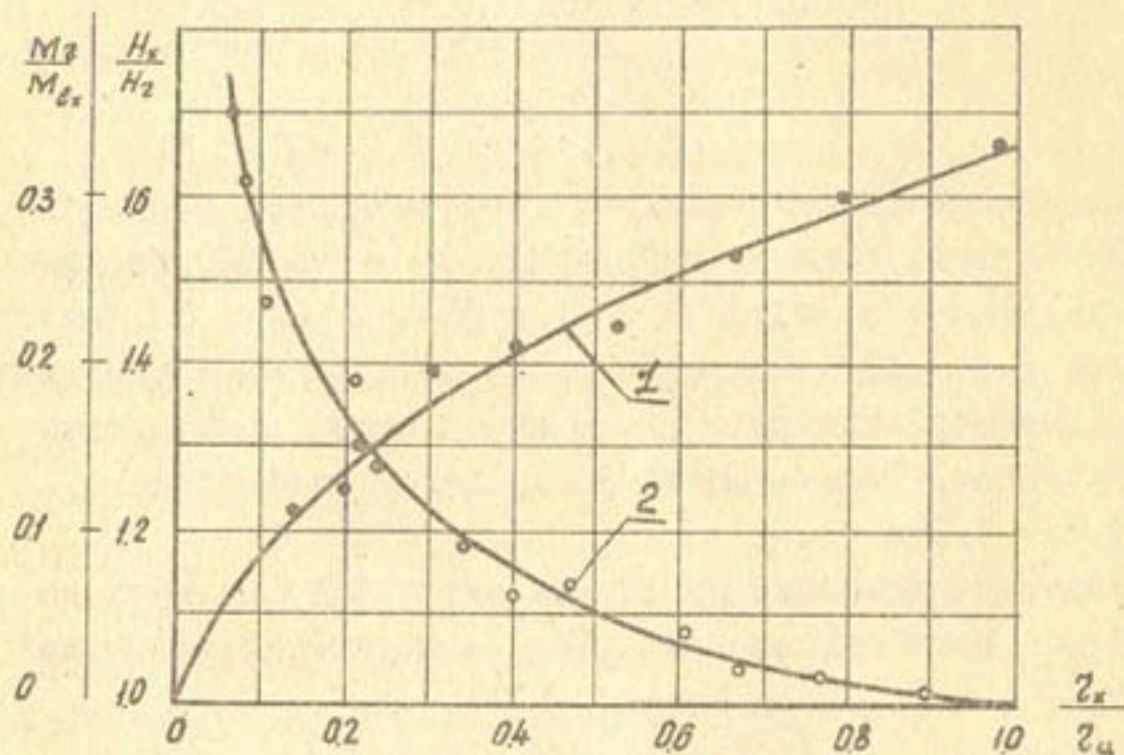


Рис. I. График зависимостей:

$$1 - \frac{M_z}{M_{ex}} = f\left(\frac{z_x}{z_{cl}}\right) \quad \text{и} \quad 2 - \frac{H_x}{H_2} = f\left(\frac{z_x}{z_{cl}}\right).$$

На величину коэффициента  $\varphi = \frac{M_z}{M_{ex}}$  большое влияние оказывают также и конструктивные особенности циклонной камеры. Известная роль в падении крутки принадлежит сопротивлению и степени шероховатости стенок, консистенции пульпы, а также степени воздействия рабочей струи гидроэлеватора, которые по мере приближения сечений к вершине конуса приводят к уменьшению.

На рис. I в относительных координатах показана кривая зависимости коэффициента падения крутки  $\varphi$ , вычисленная по



моменту количества движения в сечении, взятого по оси входного патрубка.

В общем виде момент количества единицы массы жидкости в любом месте по радиусу может быть найден из следующей эмпирической зависимости:

$$M_{z_x} = A M_{e_x} \left( \frac{z_x}{z_u} \right)^n,$$

где  $M_{z_x}$  — момент количества движения на радиусе  $z_x$ ;

$z_u$  — радиус циклона в данном сечении;

$A, n$  — опытные коэффициенты.

По предварительным опытным данным для вышеуказанного сечения (схема "б")  $A = 0,34$  и  $n = 0,5$ . На основании этих данных получены следующие формулы для определения момента количества движения и составляющих вектора скорости [5]:

$$M_z = 0,34 M_{e_x} \sqrt{\frac{z_x}{z_u}};$$

$$V_{\varphi} = 0,34 V_{e_x} \sqrt{\frac{z_u}{z_x}};$$

$$V_z = 0,39 V_{e_x} \sqrt{\frac{z_u}{z_x}};$$

$$V_z = 0,35 V_{e_x} \left[ 0,63 \sqrt[3]{\left( \frac{z_u}{z_x} \right)^2} - 1 \right].$$

Эти данные получены при испытании гидроциклона, имеющего следующие данные: диаметр гидроциклона  $D_u = 340$  мм; высота циклона  $T_u = 800$  мм;  $d_{e_x} = d_{c_x} = 68$  мм;  $d_n = 34$  мм; угол конусности  $\beta = 30^\circ$ . При этом гидроэлеватор имел следующие размеры: диаметр насадки  $d_n = 8$  мм; диаметр камеры смешения  $d_{k.c} = 20$  мм. Общая высота всасывания принималась в пределах 2 — 4,5 м.

В первом приближении изменение вакуума по радиусу аппарата может быть описано следующей эмпирической формулой (рис. I):

$$H_x = H_z - \frac{V_{e_x}^2}{g} \left( 1 - \frac{z_u}{z_x} \right),$$

где  $H_x$  — величина вакуума на радиусе  $z_x$ ;

$H_z$  — вакуум на радиусе  $z_u$ .

Наносный режим предлагаемого способа изучался на трех установках, каждая из которых представляла определенную практическую схему водозабора при механическом водоподъеме. Картина движения двухфазной жидкости в циклонной камере, несмотря на ее горизонтальное или вертикальное расположение, остается для всех примерно одинаковой. При движении двухфазной жидкости в гидроциклоне максимальная насыщенность потока или консистенция пульпы наблюдаются у верши-



ны конуса. По мере приближения к сливному патрубку насыщенность потока уменьшается с одновременным уменьшением диаметра твердых частиц. Так, например, в некоторых опытах в камере сгущения, установленной за песковым отверстием, отношение твердого к жидкости доводилось до  $K = 1:1,6$ , то в сечении, взятом по оси входного патрубка, это отношение доходит до 1:3630. По радиусу гидроциклона (за исключением вершины конуса, где образуется песчаный завал) насыщенность потока твердой фазой возрастает с увеличением радиуса, причем в периферийной области (около стенки) сосредотачиваются более крупные частицы, а в приосевой зоне — более мелкие.

Анализ экспериментальных данных показывает, что выход твердых частиц через слив как в количественном, так и в качественном отношении зависит в основном от величины перепада разрежения между разгрузочными отверстиями, консистенции исходной пульпы, высоты песчаного завала и соотношения основных параметров циклонной камеры и гидроэлеватора.

Основным фактором, обеспечивающим вынос уплотненных наносов из камеры сгущения, является расход и скорость рабочей струи. В зависимости от соотношений этих параметров потока и аппарата в циклонной камере может быть создано два режима движения двухфазной жидкости: режим, при котором твердые частицы не задерживаясь выносятся транзитом через песковое отверстие, и режим, при котором в камере образуется песчаный завал. В последнем случае между песковым отверстием циклона и гидроэлеватором размещается камера сгущения, которая может быть выполнена в виде цилиндрической трубы (рис. 2). При движении двухфазной жидкости с образованием песчаного завала объемный вес пульпы внутри камеры изменяется в широких пределах: в нижней части аппарата и в камере сгущения приближается к объемному весу уплотненного грунта, поры которого заполнены водой, то есть  $\gamma_n \rightarrow \gamma_r + \epsilon \gamma_e$ ; верхней — к объемному весу жидкости (воды).

Следует отметить, что песчаный завал несколько ухудшает работу гидроциклона. Занимая некоторую его часть, он уменьшает полезный объем камеры, вследствие чего происходит более интенсивный вынос твердых частиц через слив. Чем больше высота завала (не считая высоту камеры сгущения), тем интенсивнее выход твердых частиц через слив. Поэтому песчаный завал следует создавать в камере только в том случае, когда по ус-



ловия технологической схемы очистки допускается вынос определенного количества твердых частиц через слив.

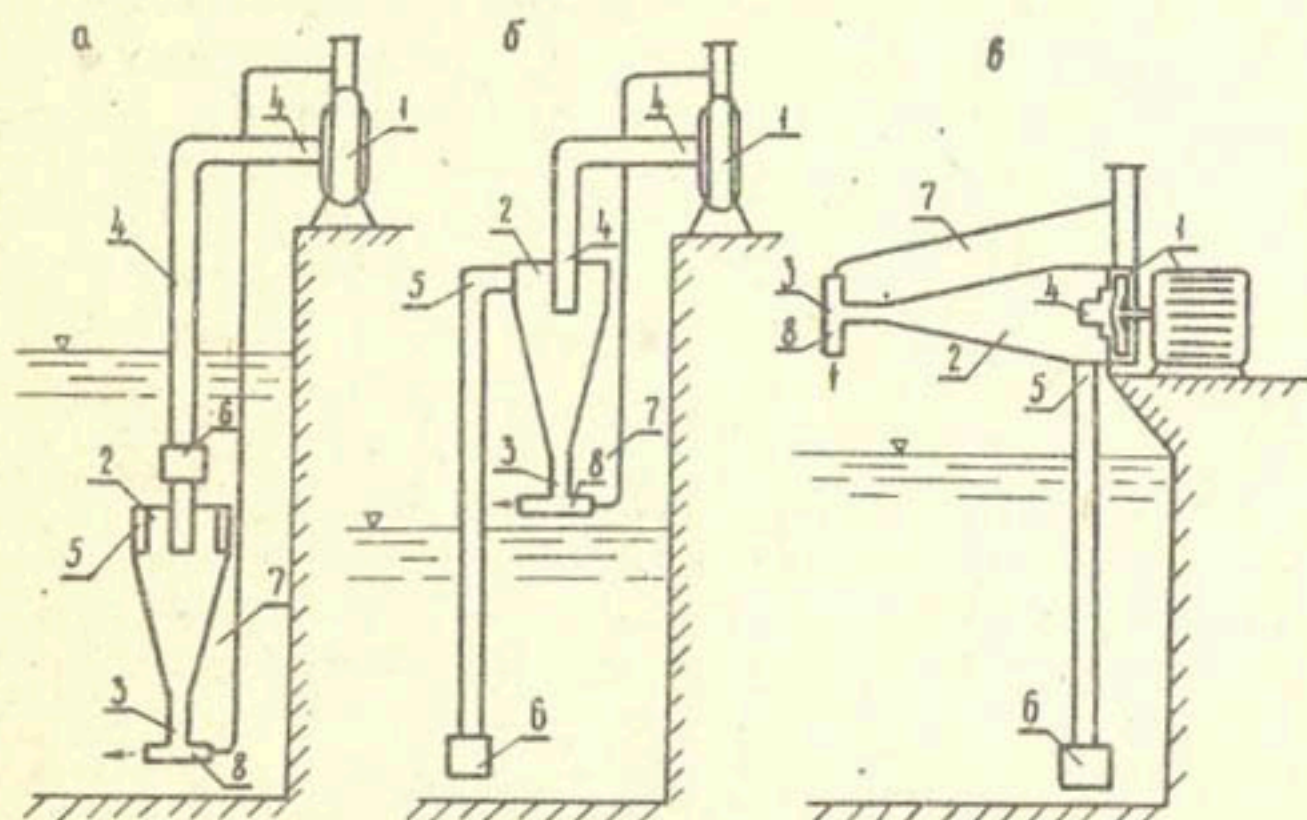


Рис.2. Схема экспериментальных установок:

а - затопленный вакуумгидроциклон; б - незатопленный вакуумгидроциклон; в - гидроциклонная насосная установка. I - насос; 2 - гидроциклонная приемная камера; 3 - камера сгущения; 4 - слив гидроциклона - входной патрубок насоса; 5 - входной патрубок гидроциклона; 6 - обратный клапан; 7 - водоподводящий трубопровод; 8 - гидроэлеватор.

Песчаный завал образуется в результате местной перегрузки циклонной камеры. Перегрузка камеры возникает в том случае, когда количество поступающего в камеру твердого материала опережает пропускную способность пескового отверстия. Поэтому определение величины критической консистенции пульпы в песковом отверстии " $K_{кр}$ ", соответствующей началу отклонения работы камеры от режима с устойчивым взвешенным состоянием твердых частиц и перехода к режиму с образованием песчаного завала, имеет большое практическое значение. Величина " $K_{кр}$ " зависит от многих факторов: перепада вакуума между разгрузочными отверстиями  $\Delta H_e$ , диаметра камеры сгущения  $d_{к.сг.}$ , консистенции исходной пульпы " $K_{ex}$ ", крупности твердых материалов  $\delta$ , расхода -  $Q_p$  и скорости  $V_p$  рабочей



струи, то есть

$$K_{кр} = f(\Delta H_k, d_{к.сг.}, K_{ex}, \delta, Q_p, V_p).$$

Исследование поля скоростей и давления при устойчивом режиме движения двухфазной жидкости показывают, что наличие незначительного количества взвешенной твердой фазы не вносит в структуру потока принципиальных изменений.

Центробежная сила  $F_{ц.с.} = \frac{V_{ср}^2}{r}$  вместе с радиальной скоростью определяют местоположение частиц данной крупности по радиусу аппарата. Более крупные частицы отнесены центробежной силой к периферии, то есть в область нисходящего потока, который при содействии силы тяжести относит их в песковое отверстие, а более мелкие частицы под действием радиальной скорости вытесняются в сторону оси, то есть в область восходящего потока.

В первом приближении крупность разделения твердых частиц (диаметр граничного зерна) может быть оценена зависимостью, полученной ранее при исследовании гидроциклона низкого давления:

$$\delta = \frac{\eta}{\sqrt[3]{\left(\frac{z_u}{z_x}\right)^2}} \cdot \sqrt{\frac{z \mu g (10,8 - 9,54 \frac{z_x}{z_u})}{V_{ex}(\gamma_s - \gamma_o)}},$$

где  $\gamma_s, \gamma_o$  — удельные веса соответственно твердой и жидкой фазы пульпы по данным опытов  $\eta = 0,20 - 0,30$ .

Размещение циклонных камер. В зависимости от технологической схемы очистки воды, условий применения и назначения насосных установок, могут быть определены и места возбуждения циклонного потока на всасывающей линии. Исходя из основных требований, предъявляемых к водозаборным устройствам при механическом водоподъеме, нами рекомендуются следующие варианты размещения циклонной камеры и компоновки гидроциклонно-насосной установки.

Затопленный вакуум — гидроциклон. Гидроциклонная камера размещена непосредственно на оголовке всасывающего трубопровода и циклонный поток создается под водой (рис. 2а). Затопленный гидроциклон установлен на оголовке насоса 6НД-60 и имел следующие основные размеры:  $D_u = 1000$  мм;  $T_u = 1650$  мм;  $d_{сн} = 200$  мм;  $d_{мх} = 50$  мм; угол конусности  $\beta = 38^\circ$ .

Входные патрубки прямоугольного сечения выполнены размерами  $a \times b = 20 \times 10$  см; диаметр рабочего насадка гидроэлеватора  $d_n = 16$  мм; диаметр и длина камеры смешения



$d_{k.c.} = 35 \text{ мм}; l_{k.c.} = 510 \text{ мм}.$

Опыты по изучению наносного режима проводились при различной производительности насоса (от 30 до 85 л/сек) и расходах гидроэлеватора. Насыщенность потока наносами при входе от 3 до 10 г/л.

Ситовой анализ механического состава проб, взятых в конце гидроэлеватора и из нагнетательного трубопровода, показал, что затопленный вакуум-гидроциклон с щелевыми входными патрубками улавливает все наносы крупнее 0,05 мм. В отдельных опытах при увеличении насыщенности входящего потока, наблюдалось заметное попадание твердых частиц, размеры которых мельче 0,05 мм. Преимущество затопленного вакуум-гидроциклона заключается в том, что если его уложить на дно русла, то он может служить и в качестве песколовки. В затопленном вакуум-гидроциклоне можно совместить функцию водозабора и песколовки.

Незатопленный вакуум-гидроциклон (а.с. № № 285500, 285602 и 358008). Схема размещения гидроциклона показана на рис. 2 "б". Вакуум-гидроциклон установлен между водоисточником и насосом и встроен к последнему сливным патрубком. Рабочий расход к гидроэлеватору подведен непосредственно из нагнетательного трубопровода основного насоса. Исследования проводились на трех моделях гидроциклона диаметрами  $D_{ц} = 170 \text{ мм}; 340 \text{ мм}$  и  $1000 \text{ мм}$  на базе насоса соответственно 2К-9, 3К-6 и 6К-12. Расход насоса изменялся от 6 до 60 л/сек. Консистенция пульпы (отношение Т:Ж) в питании изменялась от 1:50 до 1:900 с доведением консистенции в пульповоде (выход гидроэлеватора) от 1:40 до 1:6. Результаты ситового анализа механического состава проб показали, что и в этом случае вакуум-гидроциклон полностью осаждает все наносы крупнее 0,05 мм. При этом промывной расход может быть доведен до 3-5% от расхода основного насоса.

Гидроциклонная насосная установка (а.с. № 309157). При откачке двухфазной жидкости насос должен иметь свою гидравлическую схему всасывания, позволяющую отсепарировать твердые частицы (конечно, если в этом возникает необходимость) до входа в него жидкости. Существующая гидравлическая схема не исключает проникновения вместе с откачиваемой жидкостью твердых частиц в насос и дальше в потребитель. Для устране-



ния этого недостатка мы предлагаем новую конструкцию гидроциклонно-насосной установки, принцип действия которой основан на идее придания откачиваемой жидкости развитого циклонного движения. На рис. 2 "в" приведена схема гидроциклонно-насосной установки, состоящей из центробежного насоса — I, циклонной приемной камеры — 2 и гидроэлеватора — 8. Циклонная приемная камера имеет внутри сливной патрубок — 4, служащий одновременно всасывающим патрубком насоса; камеру сгущения — 3; переходящий всасывающий патрубок элеватора, а также тангенциально расположенную в её цилиндрической части всасывающую трубу — 5 с обратным клапаном — 6. Рабочий расход в гидроэлеватор подводится из нагнетательного трубопровода основного насоса по трубе — 7.

Для пуска установку заливают и одновременно включают в работу насос и струйный аппарат. Откачиваемая двухфазная жидкость, попав через патрубок 5 в камеру, приобретает вращательное движение. В результате происходит разделение жидкости по фазам. Осветленная часть жидкости всасывается через сливной патрубок 4 насосом I и подается в потребитель. Твердые частицы, направленные к вершине конуса, сгущаются в камере сгущения 3, откуда засасываются рабочей струей эжектора и транспортируются дальше до места укладки.

Исследование проводилось на прозрачной модели, изготовленной из органического стекла на базе насоса ЗК-6. Установка имела следующие параметры: диаметр циклонной камеры  $d_4 = 300$  мм, высота  $T_4 = 600$  мм, диаметры входа и слива  $d_{ex} = d_{ex} = 60$  мм, диаметр камеры сгущения  $d_{к.сг} = 16$  мм, диаметр камеры смешения элеватора  $d_{к.с} = 16$  мм, диаметр рабочего насадка элеватора  $d_n = 8$  мм. Опыты проводились при различных расходах насоса и консистенциях исходной пульпы. Ситовой анализ механического состава проб показал, что гидроциклонно-насосная установка полностью улавливает все наносы крупнее 0,05 мм, затрачивая на это промывной расход в пределах 3-5% от расхода насоса.

Гидроциклонная установка для насосной станции СНП-75/100 (рис. 3) состоит из двух гидроциклонов. Размеры гидроциклона: диаметр  $D_{ц} = 550$  мм, длина  $l = 1190$  мм и угол конусности  $\alpha = 32^\circ$ .

Результаты лабораторных исследований на всасывающей линии насоса 8К — 12 и полевых испытаний в полигоне ВНИИМитП на



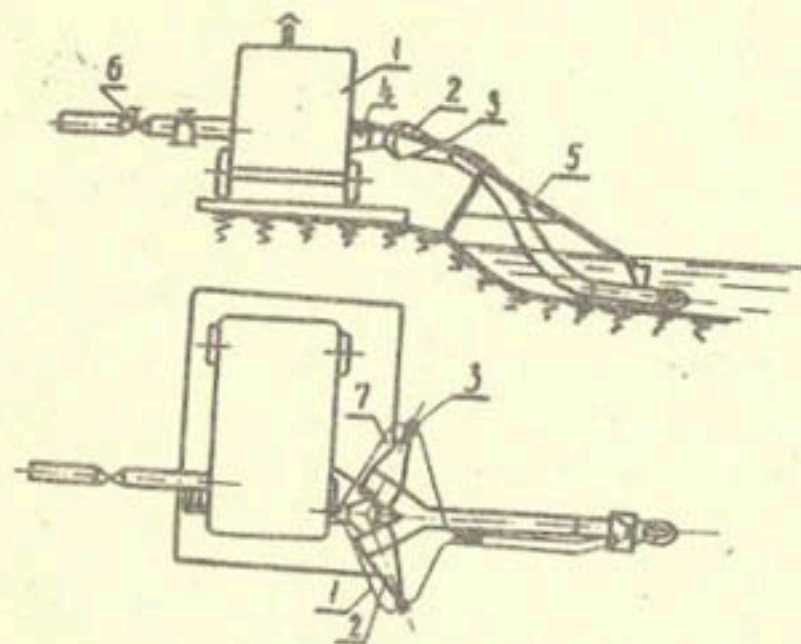


Рис.3. Схема опытной гидроциклонной установки для СНП-75/100: 1 - СНП-75/100; 2 - гидроциклонная камера; 3 - гидроэлеватор; 4 - всасывающая труба насоса; 5 - всасывающая труба гидроциклона; 6 - задвижка; 7 - водоподводящая труба гидроэлеватора.

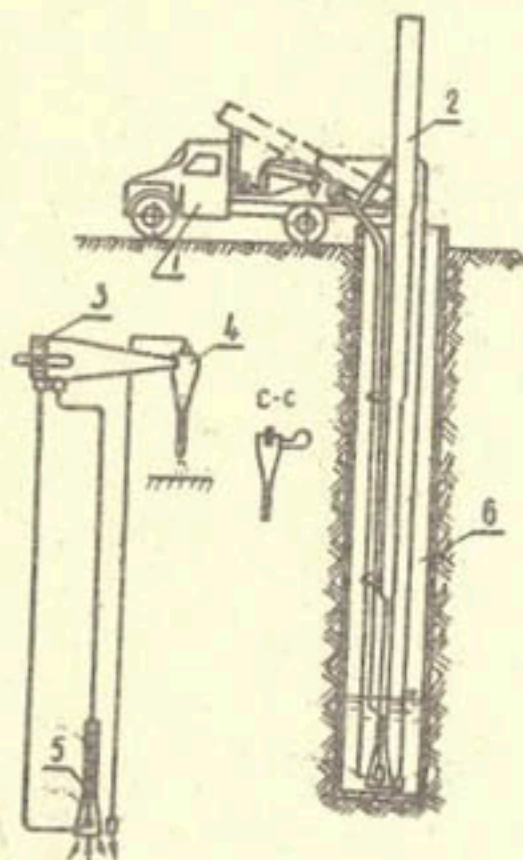


Рис.4. Гидравлическая схема установки для очистки шахтных колодцев: 1 - базовая автомашина; 2 - телескоп; 3 - гидроциклонная насосная установка; 4 - гидроциклон-сгуститель; 5 - гидроэлеватор; 6 - шахтный колодец.



водозаборном участке дождевальной машины "Фрегат" показали, что гидроциклонная наносоулавливающая камера обеспечивает осаждение наносов крупнее 0,05 мм, затрачивая на их промывку незначительное количество воды (3-4% от расхода насоса).

Установка для очистки шахтных колодцев (рис. 4) включает телескоп, гидроциклонную насосную установку, гидроциклон - сгуститель, гидроэлеватор. Гидроэлеватор выполнен в виде последнего звена телескопа, соединен при помощи глубоких труб с всасывающим и нагнетательным патрубками гидроциклонного насоса, вместе с которыми образует бесконечную гидравлическую нить, обеспечивающую размыв и всасывание донных отложений шахтных колодцев, подъем и сгущение пульпы и ее укладку в виде отвала на поверхности земли. Такая бесконечная гидравлическая нить может быть использована также для очистки прудов, отстойников и каналов.



# СОДЕРЖАНИЕ

стр.

|                                                                                                                                                                             |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| В.Н.Машков. Некоторые вопросы методики определения оптимального числа типоразмеров скважинных электропогружных насосов (на примере насосов для вертикального дренажа) . . . | 3   |
| А.П.Орлова. Прогноз качества воды р.Сырдарьи . . . .                                                                                                                        | 57  |
| А.П.Орлова, Л.В.Ярошенко, А.А.Солодкина. Характеристика качества воды водотоков бассейна реки Сырдарьи и рекомендации по ее охране . . . . .                                | 68  |
| Е.Н.Михлин, В.Г.Мурашкин, М.З.Вагизов, Р.Д.Берштин. К вопросу о применении критериев согласия . . . . .                                                                     | 78  |
| Ф.Н.Ким. Основные итоги и задачи научных исследований КазНИИВХ в девятой пятилетке. . . .                                                                                   | 82  |
| Ф.Н.Ким, Ю.Я.Гранкин, М.В.Дорофеева. О качестве опресненной воды, получаемой на электро-диализных опреснительных установках . . . . .                                       | 89  |
| Р.И.Вагапов. Гидравлические потери и переходные процессы в длинном водоводе при неравномерном режиме водопотребления и ступенчатой работе насосной станции . . . . .        | 94  |
| К.Ш.Аширяев, Н.И.Першин. О показателях суточного режима водопотребления в системах водоснабжения . . . . .                                                                  | 100 |
| Ф.Г.Герр. Изменение дебита шахтных колодцев в процессе производственной эксплуатации . . . .                                                                                | 106 |
| С.Б. Крылдаков, Х.Карешов. Подземные воды аллювиальных отложений долины р.Чар и перспективы их использования для орошения и водоснабжения . . . . .                         | 115 |
| Ф.В.Шкаликов. Водные ресурсы озер Казахстана и их использование для обводнения пастбищ . .                                                                                  | 123 |



|                                                                                                                                                           |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Х.Г. Ибрагимов. Об орошаемом кормопроизводстве<br>на пустынных пастбищах юга Казахстана . . .                                                             | 131 |
| Ф.Н.Ким, В.Я.Лопатин, А.Ф.Мац, Н.И.Пересыпкин,<br>М.М.Рубенок. К установлению ороситель-<br>ных норм на лиманах Казахстана . . . . .                      | 135 |
| А.И.Жангарин, А.А.Абдураманов, Б.Р.Жулаев,<br>С.Т.Алпысбаев, Ж.К.Касымбеков. К во-<br>просу осаждения наносов при механичес-<br>ком водоподъеме . . . . . | 140 |
| Рефераты статей к выпуску 138 Сборника научных<br>трудов (Обводнение, сельскохозяйственное<br>водоснабжение) . . . . .                                    | 154 |



## Р е ф е р а т ы

к выпуску 138 Сборника научных трудов (Обводнение, сельскохозяйственное водоснабжение)

УДК 621.001.42.628.112.1

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОГО  
ЧИСЛА ТИПОРАЗМЕРОВ СКВАЖИННЫХ ЭЛЕКТРОПОГРУЖНЫХ НАСОСОВ  
(НА ПРИМЕРЕ НАСОСОВ ДЛЯ ВЕРТИКАЛЬНОГО ДРЕНАЖА)

В.Н.Машков

В статье изложена методика определения оптимального числа типоразмеров электропогружных насосов для вертикального дренажа, позволяющая определить оптимальное число типоразмеров, последовательность и сроки освоения насосов при наличии данных о динамике роста скважин вертикального дренажа и параметра, диапазон изменения числа типоразмеров.

Табл. 7. Иллюстр. 29.

УДК 628.394

ПРОГНОЗ КАЧЕСТВА ВОДЫ Р.СЫРДАРЬИ

А.П. Орлова

В статье показывается изменение минерализации по бассейну р.Сырдарьи в результате сбросов коллекторно-дренажных вод за период с 1966 по 1970 год.

По данным проработанного материала составлен прогноз на 1975 и 1990 гг. качественного состава воды водотоков как по минерализации, так и по показателям общесанитарного состояния. Составленный прогноз может быть использован при водохозяйственных расчетах.

Табл. 2. Библиогр. 4.



УДК 628.394

# ХАРАКТЕРИСТИКА КАЧЕСТВА ВОДЫ ВОДОТОКОВ БАССЕЙНА РЕКИ СЫРДАРЬИ И РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ЕЕ ОХРАНЕ

А.П.Орлова, Л.В.Ярошенко, А.А.Солодкина

В статье дается характеристика качества воды р.Сырдарьи от истока до Аральского моря.

Приводятся источники загрязнения водотоков бассейна реки м промышленными хозяйственно-бытовыми и коллекторно-дренажными водами с полей орошения.

В заключение даются рекомендации по охране водных ресурсов бассейна р.Сырдарьи.

Библиогр. 6.

УДК 518.1

## К ВОПРОСУ О ПРИМЕНЕНИИ КРИТЕРИЕВ СОГЛАСИЯ

Е.Н.Михлин, В.Г.Мурашкин, М.З.Вагизов, Р.Д.Берштин

В статье высказывается предположение о том, что в конкретных исследованиях при выборе теоретических зависимостей вводится ряд упрощающих допущений, которые препятствуют неограниченному приближению экспериментальной зависимости к теоретической, в связи с чем и ухудшаются показатели критериев согласия. При обработке большого количества опытных данных, в случае, когда теоретическая и экспериментальная зависимости различаются незначительно, авторы рекомендуют применять теоретическую зависимость.

Иллюстр.2. Библиогр. 3



УДК 001.5 : 333.93

ОСНОВНЫЕ ИТОГИ И ЗАДАЧИ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ КазНИИВХ  
В ДЕВЯТОЙ ПЯТИЛЕТКЕ

Ф.Н. Ким

В статье кратко освещены основные результаты научно - исследовательской работы института за 1966-1970 гг. и задачи, которые предстоит решить в девятой пятилетке.

УДК 663.632 : 621.359.7

О КАЧЕСТВЕ ОПРЕСНЕННОЙ ВОДЫ,  
ПОЛУЧАЕМОЙ НА ЭЛЕКТРОДИАЛИЗНЫХ ОПРЕСНИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВКАХ

Ф.Н. Ким, Ю.Я. Гранкин, М.В. Дорофеева

В статье дается химическая характеристика опресненной воды, получаемой на различных электродиализных опреснительных установках. Приводятся данные об изменении качественного состава воды в зависимости от выбранного режима.

Рисунков 2.



УДК 532.542 : 628.12

ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ПОТЕРИ И ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ  
В ДЛИННОМ ВОДОВОДЕ ПРИ НЕРАВНОМЕРНОМ РЕЖИМЕ  
ВОДОПОТРЕБЛЕНИЯ И СТУПЕНЧАТОЙ РАБОТЕ НАСОСНОЙ СТАНЦИИ

Р.И. Вагапов

Изложены результаты теоретического анализа влияния пульсации скорости воды в водоводе, вызванные неравномерностью режима водопотребления, на гидравлические потери и затрачиваемые мощности. Проведен анализ влияния инерционности жидкости на переходные процессы в длинном водоводе при ступенчатой подаче насосной станции. Установлен дефицит расхода в первоначальный момент параллельного включения насосов.

Рисунок, таблиц 2.

УДК 628.18

О ПОКАЗАТЕЛЯХ СУТОЧНОГО РЕЖИМА ВОДОПОТРЕБЛЕНИЯ  
В СИСТЕМАХ ВОДОСНАБЖЕНИЯ

К.Ш. Аширяев, Н.И. Першин

Предлагаются показатели графиков водопотребления, характеризующие режим работы систем водоснабжения. Приводятся формулы для вычисления этих показателей и их числовые значения для типовых графиков, полученных по данным фактических исследований, применяемых при проектировании городских и сельских водопроводов.

Таблица.



УДК 628.112.1

# ИЗМЕНЕНИЕ ДЕБИТА ШАХТНЫХ КОЛОДЦЕВ В ПРОЦЕССЕ ИХ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Ф.Г. Герр

В статье изложены материалы исследований динамики дебита шахтных колодцев в процессе водозабора из колодцев. Исследования показали, что при заборе воды из них происходит неизбежное снижение дебита. Результаты опытных откачек из шахтных колодцев позволили выразить их дебит как функцию величины суммарного водозабора. Формула, полученная автором, позволяет прогнозировать уменьшение дебита шахтных колодцев и назначать время проведения мероприятий по его восстановлению.

Рисунков 2, таблиц 5.

УДК 551.49:626.81+628.18(574)

# ПОДЗЕМНЫЕ ВОДЫ АЛЛЮВИАЛЬНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ДОЛИНЫ Р.ЧАР И ПЕРСПЕКТИВЫ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДЛЯ ОРОШЕНИЯ И ВОДОСНАБЖЕНИЯ

С.Б. Крылдаков, Х.С. Карешов

В работе описываются ресурсы подземных вод аллювиальных отложений р.Чар. В результате произведенных многолетних систематических изысканий приводятся гидрогеологические условия поймы р.Чар, где выделен ряд водоносных горизонтов с указанием области их распространения, глубины залегания, мощности и производительности. Описываются химический состав и минерализация вод аллювиальных отложений и даются рекомендации по их использованию для орошения, водоснабжения сельскохозяйственных объектов, населенных пунктов и промышленных предприятий.

Рисунков 2, таблиц 2.



УДК 333.93+551.481:628.113 (574)

# ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ ОЗЕР КАЗАХСТАНА И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДЛЯ ОБВОДНЕНИЯ ПАСТБИЩ

Ф.В. Шкаликов

В статье рассматриваются запасы водных ресурсов озер Казахстана, освещается их использование и даются рекомендации по повышению эффективности использования озерных вод для обводнения пастбищ.

Рисунков 3, таблица.

УДК 631.617

# ОБ ОРОШАЕМОМ КОРМОПРОИЗВОДСТВЕ НА ПУСТЫННЫХ ПАСТБИЩАХ ЮГА КАЗАХСТАНА

Х.Г. Ибрагимов

Рассматриваются итоги работ по оазисному орошению кормовых культур на пустынных пастбищах, показываются реальные возможности развития орошаемого кормопроизводства на пустынных пастбищах Кызыкумов и Мурункумов.

УДК 532:621.65/627,157

# К ВОПРОСУ ОСАЖДЕНИЯ НАНОСОВ ПРИ МЕХАНИЧЕСКОМ ВОДОПОДЪЕМЕ

А.И. Жангарин, А.А. Абдураманов, Е.Р. Жулаев,  
С.П. Алпысбаев, Ж.К. Касымбеков

Рассматриваются вопросы борьбы с наносами при механическом водоподъеме для целей водоснабжения и обводнения.

В зависимости от технологической схемы очистки воды дается несколько вариантов размещения циклонной камеры и компоновки гидроциклонно-насосной установки; описывается принцип работы, основные конструктивные параметры и наносные режимы установок.

Рисунков 4.



УДК 626.84(26.05)

К УСТАНОВЛЕНИЮ ОРОСИТЕЛЬНЫХ НОРМ  
НА ЛИМАНАХ КАЗАХСТАНАФ.Н. Ким, В.Я. Лопатин, А.Ф. Мац,  
Н.И. Пересыпкин, М.М. Рубенок

Дан краткий обзор и научный анализ существующих методов расчета норм лиманного орошения.

В зависимости от конкретных условий и факторов предлагается дифференцированный подход к методу расчета норм орошения. При этом отмечается необходимость учета агрофизических свойств почвогрунтов и форм сельскохозяйственного освоения лиманов.

Редакторы Д.Х. Володина, В.П. Вдовкина  
Корректор Т.М. Шапошникова

---

Р-06022. Подписано в печать 16.XI.73. Тираж 500 экз.  
Уч. изд. л. 5,5    Формат бумаги 50 x 60    1/8 Усл. печ. л. 10  
Заказ 1001    Цена 1 р.

---

Картфабрика ин-та "Узгипрозем". Ташкент, Муками, 176.