

**МИНИСТЕРСТВО МЕЛИОРАЦИИ И ВОДНОГО  
ХОЗЯЙСТВА СССР**

**СРЕДНЕАЗИАТСКАЯ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ  
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ИРРИГАЦИИ  
им. В. Д. ЖУРИНА (САНИИРИ)**

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ  
ЭКСПЛУАТАЦИИ ГИДРОМЕЛИОРАТИВНЫХ  
СИСТЕМ В ЗОНЕ ОРОШЕНИЯ**

**Сборник научных трудов**

**В ы п у с к 161**

**Ташкент — 1980**



МИНИСТЕРСТВО МЕЛИОРАЦИИ И ВОДНОГО ХОЗЯЙСТВА СССР

---

СРЕДНЕАЗИАТСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ  
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ИРРИГАЦИИ  
им. В.Д.ЖУРИНА (САНИИРИ)

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ  
ЭКСПЛУАТАЦИИ ГИДРОМЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМ  
В ЗОНЕ ОРОШЕНИЯ

Сборник научных трудов

В ы п у с к 161

Ташкент — 1980



В книге, на основе изучения существующих гидромелиоративных систем, рассматриваются основные пути повышения эффективности их эксплуатации: сформулированы особенности переустройства сети в условиях орошаемых земель; дается корректировка планов водопользования в условиях дефицита оросительной воды; исследованы методы оценки целесообразности противифльтрационных мероприятий; предлагается экономико-математическая модель для расчёта экономически оптимальных оросительных норм в хозяйстве; рекомендуется создание специализированных ремонтно-строительных организаций и пр.

Книга предназначена для научных работников, проектировщиков и производственников службы эксплуатации гидромелиоративных систем.

#### Редакционная коллегия

Духовный В.А. (отв. редактор), Кадыров А.А. (зам. редактора), Антонов В.И. (зам. редактора — Средазгипроводхлопок), Валентини Г.Г., Жулаев А.Ж. (зам. редактора — КазНИИВХ), Лактаев Н.Т., Милькис Б.Е., Насонов В.Г., Павлов Г.Н., Пулатов У.Ю., Пулатов А.Г., Сапаров Б. (зам. редактора — ТуркменНИИГиМ), Якубов Х.И. (зам. редактора).



В.А.ДУХОВНЫЙ

канд.техн.наук

(САНИИРИ им.В.Д.ЖУРИНА)

ОПТИМИЗАЦИЯ ПУТЕЙ РАЗВИТИЯ  
СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА СРЕДНЕАЗИАТСКИХ РЕСПУБЛИК  
В СВЯЗИ С ОСУЩЕСТВЛЕНИЕМ ПЕРЕУСТРОЙСТВА  
ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Основной проблемой экономического развития среднеазиатского региона является обеспечение достаточных темпов роста сельскохозяйственного производства в условиях нарастающего дефицита водных ресурсов в бассейне Аральского моря до переброски сибирских рек. За истекшие годы темпы ввода новых орошаемых земель опередили темпы роста населения, что способствовало увеличению объема валового производства сельхозпродукции на душу населения и поддержанию высокого уровня роста национального дохода в регионе. Тем не менее по абсолютной величине этот показатель отстает у нас от среднесоюзного уровня.

В то же время удельное водопотребление в регионе не снизилось, несмотря на осуществление работ по переустройству и мелиоративному улучшению земель. Это объясняется его некомплексностью и явно недостаточными объемами осуществления. Большие работы проведены по облицовке каналов – удельный вес каналов с одеждами вырос с 18,6% в 1975 г. до 25,3% в 1979 г.

Резко возросли также площади, дренированные современными методами дренажа, – закрытым горизонтальным, вертикальным и комбинированным – с 482 тыс.га в 1975 г. до 890 тыс.га в 1980 г. Значительного успеха достигло регулирование стока: закончено, в основном, многолетнее регулирование р.Сырдарьи; находятся в стадии завершения крупные водохранилища на Амударье. В результате располагаемые водные ресурсы за пятилетку увеличились на 8 млрд.м<sup>3</sup> по Сырдарье и на 4,2 млрд.м<sup>3</sup> по Амударье, что в сочетании с несколько повышенной водностью лет в истекшей пятилетке позволило не ощущать надвигающегося дефицита воды.

Вследствие высокой степени использования возвратных



вод по бассейну р.Сырдарьи объём безвозвратного водопотребления здесь достиг почти норм, предусмотренных на уровень полного исчерпания водных ресурсов этой реки; по р.Амударье он в два раза выше. Вследствие этого минерализация воды в р.Сырдарье превышает, начиная от створа Бекабада, в 1,5–2 раза допустимую, а по Амударье минерализация пока невысока, так как кроме Таджикистана и Сурхандарьи коллекторно-дренажный сток в ствол реки не возвращается.

Основной вопрос дальнейшего развития региона до прихода сибирской воды: "Каковы возможные темпы осуществления комплексного переустройства и может ли быть достигнут от него тот эффект по воде, который мы от него ожидаем?"

Известно, что этот эффект складывается из следующих сокращений потерь воды:

- на фильтрацию и непродуктивное испарение, а также сбросов из каналов (повышение КПД систем);
- на инфильтрацию и непродуктивное испарение с поля (повышение КПД техники полива);
- а также из снижения промывной доли водопотребления за счёт перехода на совершенные виды дренажа.

Эффект по воде от комплексного освоения и переустройства для систем, не сбрасывающих воду обратно в русло реки, проявляется рельефно. Для примера можно привести данные по водопотреблению системы нового орошения Голодной степи. Здесь КПД системы достиг 0,78 + 0,81, КПД техники полива – 0,65 – 0,68; промывная доля превышает оросительное водопотребление всего на 10–18%. Несмотря на то, что мелиоративный процесс здесь на некоторых площадях не завершён, общее водопотребление системы ЮГК при суммарном сбросном и дренажном модуле 0,1 – 0,15 л/с·га составило 9000–10500 м<sup>3</sup>/га.

Некоторое снижение водозабора наблюдается и там, где системы не доведены до высокого технического уровня, но осуществлён перевод на совершенный мелиоративный режим, например, старая зона Голодной степи.

Из указанных данных видно, что эффект по воде может и должен быть получен как от комплексных переустройств и освоения земель, так и от мелиоративного их улучшения, проводимого на современном уровне. Там, где сбросные воды в



ствол реки не возвращаются, этот эффект прямой (Каракумский канал, низовья Амударьи, новая зона Голодной степи и т.д.); в зонах, где сток возвращается, эффект в основном, проявляется только в улучшении качества стока, но не в увеличении его количества.

Проведенные нами расчеты по объему стока р.Сырдарьи на перспективу после повышения КПД и совершенствования мелиоративного режима на оросительных системах показали, что при уменьшении удельного водозабора по Ферганской долине с  $19,1 \text{ км}^3/\text{год}$  в среднем за прошедшую пятилетку до  $16,7 \text{ км}^3/\text{год}$  (на  $2,4 \text{ км}^3/\text{год}$ ) в дальнейшем возвратный сток сократится на  $1,83 \text{ км}^3/\text{год}$ , т.е. комплексное осуществление переустройства в Ферганской долине дает суммарный эффект по воде только в  $0,6 \text{ км}^3/\text{год}$ .

В связи со сказанным, в таких районах обязательно надо проводить мелиоративное улучшение земель только там, где есть возможность за счёт перехода на современные виды дренажа — закрытого горизонтального, вертикального и комбинированного, — наряду с эффектом по воде, получить прибавку урожая, например, в Центральной Фергане. Иначе говоря, зонами первоочередного переустройства необходимо считать только те районы, где затраты безвозвратного стока значительно больше расчетных, которые должны быть получены после осуществления комплексного переустройства.

Отсюда из рассматриваемых зон, в первую очередь, необходимо исключить:

|                           | Расчётные затраты, тыс.м <sup>3</sup> /га | Фактические затраты стока, тыс.м <sup>3</sup> /га |
|---------------------------|-------------------------------------------|---------------------------------------------------|
| Ферганскую долину         | 8,15                                      | 8,5                                               |
| Чакир                     | 7,11                                      | 8,3                                               |
| Среднее течение Сыр-дарьи | 8,03                                      | 8,6                                               |

В то же время в таких районах максимальное внимание должно быть уделено внутрисистемному использованию возвратных вод с тем, чтобы за счёт этого уменьшить минерализацию воды в основном стволе реки. Исходя из этого, комплексная реконструкция оросительных систем даст прямой эффект по объему воды только в зонах "невозвращающегося возвратного сто-



ка на площади 2139 тыс.га с объемом, ориентировочно, 10,0 млрд,м<sup>3</sup> в год. Этот объем складывается из стоков следующих зон (табл.1).

Т а б л и ц а 1

Площади первоочередного переустройства по  
Средней Азии в разрезе ирригационных расчётов

| Но-<br>мер:<br>п/п: | Ирригационный<br>район                       | :Площадь<br>сущест-<br>вующего<br>орошения,<br>тыс.га | :Сущест-<br>в. удельное<br>безвозвр.<br>водо-<br>потр.,<br>тыс.<br>м <sup>3</sup> /<br>га | :Перспект.<br>удельное<br>безвозвр.<br>водопотр.<br>тыс.<br>м <sup>3</sup> /<br>га | Возмож-<br>ная эконо-<br>мия<br>стока, м <sup>3</sup><br>млрд.м |
|---------------------|----------------------------------------------|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| 1                   | Низовья Сырдарьи<br>(ниже Чардары)<br>КазССР | 390                                                   | 17,02                                                                                     | 12,5                                                                               | 1,76                                                            |
| 2                   | Кашкадарья УзССР                             | 68                                                    | 15,1                                                                                      | 10,6                                                                               | 0,31                                                            |
| 3                   | Бухарский оазис<br>УзССР                     | 241                                                   | 16,3                                                                                      | 13,2                                                                               | 0,73                                                            |
| 4                   | Хорезм УзССР                                 | 180                                                   | 23,1                                                                                      | 15,1                                                                               | 1,44                                                            |
| 5                   | Каракалпакская<br>АССР                       | 232                                                   | 25,4                                                                                      | 20,8                                                                               | 1,06                                                            |
| 6                   | Ташауз ТуркмССР                              | 145                                                   | 26,1                                                                                      | 15,1                                                                               | 1,59                                                            |
| 7                   | Зона Каракумского<br>канала ТуркмССР         | 412                                                   | 22,2                                                                                      | 14,2                                                                               | 3,29                                                            |
| 8                   | Верховья Сырдарьи                            | 90                                                    | 8,2                                                                                       | 4,17                                                                               | 0,36                                                            |
|                     |                                              | 1660                                                  |                                                                                           |                                                                                    | 10,44                                                           |
| 9                   | Ферганская долина<br>УзССР                   | 125                                                   |                                                                                           |                                                                                    |                                                                 |
| 10                  | Верховья Амударьи<br>УзССР                   | 37                                                    |                                                                                           |                                                                                    |                                                                 |
|                     | ТаджССР                                      | 217                                                   |                                                                                           |                                                                                    |                                                                 |
|                     | В с е г о                                    | 2139                                                  |                                                                                           |                                                                                    |                                                                 |

Теперь о возможных сроках получения этого эффекта. В настоящее время комплексное переустройство идет очень медленными темпами вследствие крайне ограниченного периода проведения работ без ущерба сельскохозяйственным работам. Практически в большинстве ирригационных районов этот период ограничивается 3 месяцами — декабрь-февраль, из которых производство работ в один из месяцев затруднительно по метеоус-



ловиям. Поэтому даже опытное комплексное переустройство на площади одного хозяйства (совхоз им. Горького Андижанской области, колхоз "Правда" Хорезмской области) площадью 3-5 тыс. га растягивается на 6-7 лет. За три года этой пятилетки работ по переустройству выполнено на 680 млн. руб., что в пересчете на комплексный гектар составляет около 50 тыс. га в год. При таких темпах для полного осуществления комплексного переустройства только по первоочередным районам потребуется 40 лет!

Какие же возможны альтернативы?

1. Организовать комплексное переустройство необходимыми темпами со сроком выполнения работ 12-15 лет с ежегодным выводом из сельхозоборота 3-5% площадей с соответствующим уменьшением валового производства продукции с сохранением существующих темпов ввода земель.

2. Не снижая необходимых темпов переустройства, для обеспечения мелиоративного фона увеличить план подготовки новых орошаемых земель; при этом объем сельскохозяйственного производства не уменьшается, но омертвляется часть капиталовложений.

3. Аналогично для обеспечения необходимых темпов переустройства создать специальные подразделения с завышенной мощностью (в 3-4 раза) основных фондов, которые в короткий срок проводят эти работы с последующим частичным замораживанием техники.

4. Сохранить до переброски стока сибирских рек нынешние темпы подготовки новых земель и реконструкции оросительных систем, а по мере роста орошаемых земель после исчерпания собственных водных ресурсов снизить удельные нормы водопотребления и, соответственно, урожайность культур.

5. Сохранить до исчерпания собственных водных ресурсов нынешние темпы подготовки и реконструкции орошаемых земель, а затем подготовку новых земель проводить лишь в масштабах высвобождающихся ресурсов по воде вследствие реконструкции.

Для определения оптимальных путей экономического развития сельхозпроизводства нами разработана программа расчета по минимуму приведенных затрат с учетом народнохозяйственного и социального эффектов, сущность которой заключается в следующем:



1. Определяется исходная площадь орошения  $F_0$ ; считается, что вся она используется —  $F_0 = \bar{F}_0$ ;

2. Задается темп роста ввода земель на первый год и последующие годы  $\Delta F_1; \Delta F_2; \dots \Delta F_n(t)$ , в том числе используемые  $\Delta \bar{F}_1, \Delta \bar{F}_2$  и т.д.;

3. Устанавливается орошаемая площадь следующего года всего на балансе

$$F_n = F_0 + \Delta F_1 + \dots + \Delta F_{n-1}(t), \quad \text{в том числе}$$

используемая:

$$\bar{F}_n = F_0 + \Delta \bar{F}_1 + \dots + \Delta \bar{F}_{n-1}(t);$$

4. Задается потребная площадь переустройства по годам:

$$f_1; f_2 \dots f_n(t) \cdot \sum_0^T f_n(t) = F_p;$$

5. Рассчитываются потребные капвложения в мелиорацию, общие —

$$K_n = F_n \cdot \bar{K}_0 + f_n \cdot \bar{K}_n + K_\delta,$$

в том числе окупаемые —

$$K'_n = F_n \cdot \bar{K}'_0 + f_n \cdot \bar{K}'_n + K'_\delta,$$

где  $\bar{K}_0$  и  $\bar{K}'_0$  — соответственно, удельные капвложения — общие на гектар новых земель и окупаемые,

$\bar{K}_n$  — удельные капвложения на переустройство,

$K_\delta$  и  $K'_\delta$  — капвложения в развитие базы — общие и окупаемые;

6. Определяются основные фонды всего  $\Phi_n$ , в том числе окупаемые  $\Phi'_n$ :

$$\Phi_n = \Phi_0 + \sum_0^n K_n(t),$$

$$\Phi'_n = \Phi'_0 + \sum_0^n K'_n(t);$$

#### Подсчёт производства сельхозпродукции

7. Выявляется тенденция к росту урожайности по годам:

$$y_t = y_0(1 + \alpha t),$$

где  $\alpha$  и  $\alpha'$  — коэффициент роста урожайности староорошаемых земель и земель нового орошения;

$y_0$  — начальная урожайность;

$y_t = y_0(1 + \alpha' t)$  — для новоорошаемых земель.



Для староорошаемых земель валовое производство сельскохозяйственной продукции составит:

$$S'_n = S_0 (1 + \alpha t) \left(1 - \frac{\Delta W_{nt}}{O_{pnt}}\right)^{\lambda} \cdot K_n \cdot K_M.$$

Здесь  $K_n$  — коэффициент вывода земель под переустройство,

$$K_n = \frac{F_0 - f(t)}{F_0};$$

$\Delta W_{nt}$  — недостаток удельного водопотребления до нормы;

$O_{pnt}$  — оросительная норма "нетто";

$\lambda \frac{\Delta W_{nt}}{S_0}$  — коэффициент культуры (хлопок = 2);

$S_0$  — исходное валовое производство сельхозпродукции.

Для вновь осваиваемых земель валовое производство

$$S''_n = \sum_0^n F_n(t) \cdot y_0 (1 + \alpha' t) \left(1 - \frac{\Delta W_{nt}}{O_{pnt}}\right)^{\lambda} \cdot C_B \cdot K_B \cdot K_n \cdot K_M,$$

где  $C_B$  — цена единицы ведущей культуры;

$K_B$  — коэффициент площади ведущей культуры (для хлопка 0,7);

$K_n$  — коэффициент перехода к валовому производству от стоимости ведущей культуры (для хлопка в новых хозяйствах 1,42);

$K_M$  — коэффициент снижения урожайности вследствие повышения минерализации (при  $C \geq 1,5$  г/л).

Общее производство сельхозпродукции

$$S_n = S'_n + S''_n.$$

Устанавливаются располагаемые водные ресурсы, исходя из характеристик и прогноза по бассейну; затем определяется оросительная норма на каждый год, исходя из выражения

$$O_p = \frac{\bar{W}_B \cdot K_{вз}}{\bar{F}_n},$$

Здесь  $\bar{W}_B$  — располагаемые водные ресурсы, млн. м<sup>3</sup>;

$K_{вз}$  — коэффициент используемого возврата.

Намечаемое переустройство оценивается с точки зрения экономии водных ресурсов и распределяется по годам, исходя из его выполнения и темпов капвложений. Оно имеет двойной эффект: повышает КПД и снижает потребную оросительную норму "нетто". Эффект от него по обоим показателям определяется пропорционально выполнению работ по переустройству:



$$КПД_{рп} = КПД_0 = (КПД_к - КПД_0) \cdot \frac{\sum_0^n f_n(t)}{F_p},$$

$$Op_{nn} = Op_{n0} - (Op_k - Op_0) \cdot \frac{\sum_0^n f_n(t)}{F_p};$$

Исходя из этого определяется фактическая водообеспеченность:

$$1 - \frac{\Delta W_{nt}}{Op_{nt}} = \frac{Op \cdot КПД_{рп}}{Op_{нп}}.$$

Если это выражение  $> 1$ , принимается равным 1;

8. По данным пунктов 7 и 3 определяется валовое производство с 1 га:

$$\bar{S}_n = \frac{S_n}{F_n};$$

9. По кривой  $\partial_{нх_n} = f_{нх}(S_n)$  (рис.1) находят приведенную прибыль на 1 га и суммарную по площади с учетом доли налога с оборота:

$$\partial_{нх_n} = \bar{\partial}_{нх} \cdot F_n;$$

10. По валовому производству, деленному на численность трудового сельского населения в регионе, рассчитывается производительность труда, руб/чел.:

$$\Pi_n = \frac{\bar{S}}{l_t};$$

11. Для подсчета величины социального эффекта предложена формула

$$\Delta \partial_{c_n} = HD_{n-1} \left( \frac{\Pi_n}{\Pi_{n-1}} \cdot \frac{F_n}{F_{n-1}} - 1 \right) \text{ должен быть } > C,$$

где  $HD_{n-1}$  — исходный национальный доход (его доля, идущая на потребление общества, включая личное и общественное) в год, предшествующий расчетному;

$C$  — коэффициент директивного роста реальных доходов населения;

12. Суммарный эффект

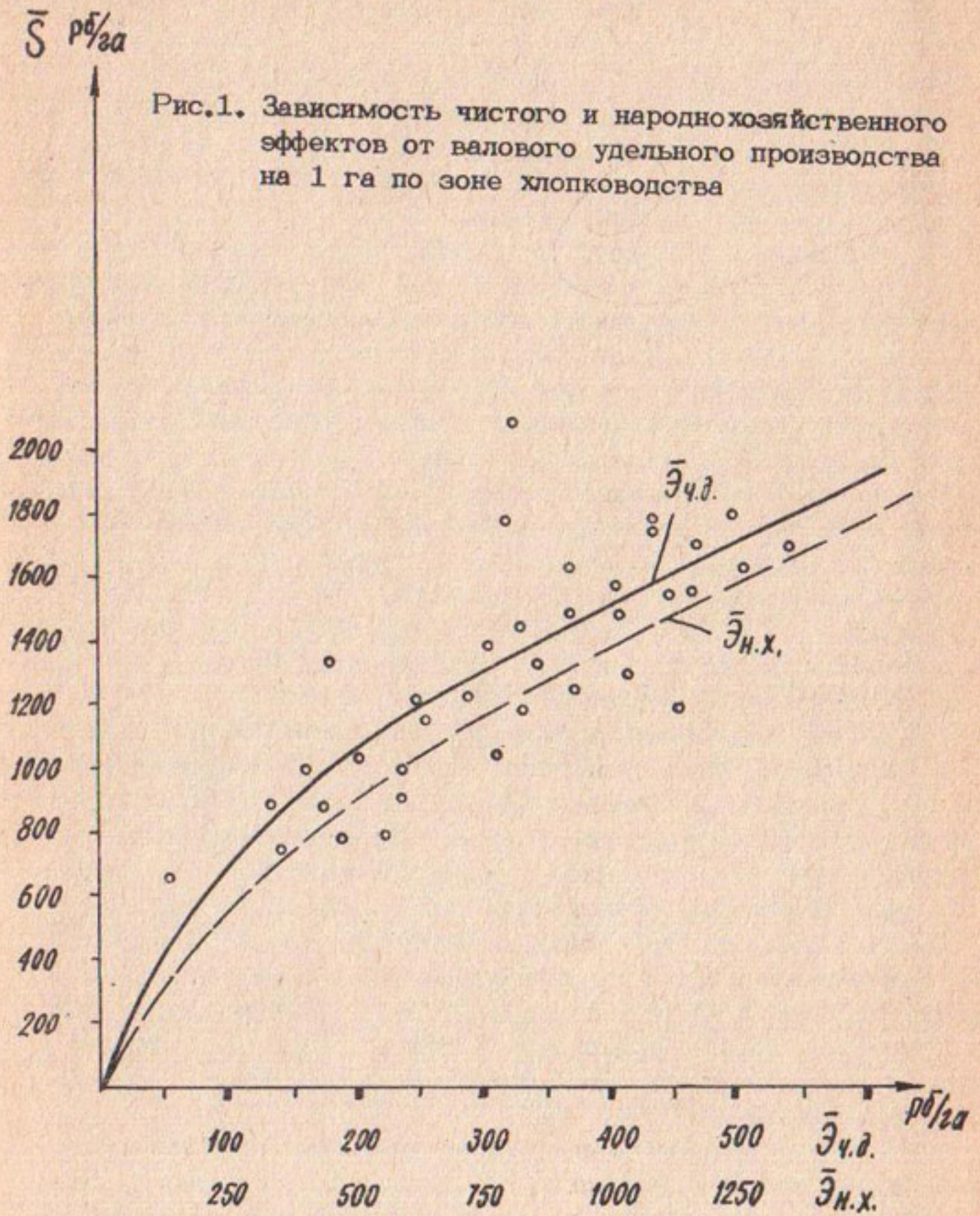
$$\partial_{S_n} = \partial_{c_n} + \partial_{нх_n}.$$

Прирост эффекта

$$\Delta \partial_{S_n} = \partial_n - \partial_{n-1};$$

13. Окупаемость определяется с учетом приведения







$$T = \frac{\sum_0^n \frac{K_n}{(1+\bar{n})^{t-1}}}{\sum_0^n \frac{\Delta \mathcal{E}_{s_n}}{(1-\bar{n})^{t-1}}},$$

где  $\bar{n}$  — коэффициент приведения.

По минимуму  $T$  устанавливается наивыгоднейший вариант.

Учёт социального эффекта — наиболее сложный в методическом отношении фактор при развитии орошения, но тем не менее имеющий важное значение. Известно, что социальный эффект при орошении проявляется в повышении занятости трудоспособного населения в сельском хозяйстве и совокупных отраслях, в улучшении трудового баланса прилегающих территорий, в повышении квалификации трудового населения, а также в увеличении производства продуктов питания, улучшении здравоохранения, в повышении общественного уровня и т.д. Отдельные виды этого эффекта вообще не могут получить стоимостного выражения, такие как увеличение продуктов на душу населения, укрепление здравоохранения и обслуживания. Тем не менее большая часть факторов может быть учтена.

В зарубежной литературе (см., например, обзор докладов X конгресса МКИД в Афинах) имеются различные предложения по этому поводу. И. Зайховский и Х. Мантейфель (Польша) предлагают учитывать социальный эффект в виде произведения численности занятых работников и коэффициента производительности труда на некоторый вводимый ими социальный коэффициент. А. Голан, Р. Харис и П. Вайтфорд (США) предлагают определить социальный эффект в виде увеличивающейся доли частного потребления в сфере действия орошения по сравнению со средним уровнем по стране. Х. Кришна и П. Нигам (Индия) учитывают социальный эффект объемом повышения затрат труда в сфере действия проекта.

Нами [3] сделана попытка учитывать социальный эффект в виде изменения национального дохода в результате осуществления водохозяйственных работ. К. И. Лапкин [4] подчеркивает, что "национальный доход — основной статистический показатель результатов производства..., позволяет судить о результатах



развития экономики в народном масштабе".

Национальный доход, как известно, делится на часть, идущую на накопление, и часть, идущую на потребление. Учитывая, что в расчётах народнохозяйственного эффекта (прямая прибыль + доля налога с оборота) уже учтена эффективность части накопления, в расчетах социального эффекта мы берем лишь его долю, идущую на потребление. Эта доля по Узбекистану, по данным статистического управления на 1965-1975 гг., в среднем составляет 68,5%.

Суть предлагаемой нами методики определения социального эффекта сводится к следующему.

Социальный эффект определяется по росту (или снижению) темпов производительности труда и выработки от достигнутого уровня. Последний может быть значительно ниже, чем возможный по техническому уровню развития сельскохозяйственного производства. Так, для хлопково-люцерновых севооборотов при высоком уровне урожайности оптимальной в настоящее время является нагрузка 6 га на человека при потенциально возможной 8 га. В то же время по Узбекистану нагрузка в среднем на одного человека колеблется от 1,45 до 3,93 га.

Тем не менее мы не ставим в данное время задачи достижения указанных уровней, а считая, что установившийся уровень доходов и выработки является дифференцированной базой для каждой зоны, социальный эффект (положительный или отрицательный) будем определять в зависимости от изменения этого сложившегося уровня.

Величина национального дохода в целом по республике за последние пятилетки изменилась следующим образом:

Т а б л и ц а 2

| Номер:<br>п/п | Показатель                     | Ед. из-<br>мерения | Годы   |        |       |
|---------------|--------------------------------|--------------------|--------|--------|-------|
|               |                                |                    | 1965 : | 1970 : | 1975  |
| 1             | Национальный доход<br>всего    | млн.<br>руб.       | 6023   | 9440   | 12398 |
| 2             | В т.ч. в сельском<br>хозяйстве | "                  | 2062   | 3202   | 4050  |
| 3             | В т.ч. доля потреб-<br>ления   | "                  | 4160   | 6412   | 8512  |



| 1 : | 2                                                           | :            | 3 :     | 4 :     | 5 :   | 6 |
|-----|-------------------------------------------------------------|--------------|---------|---------|-------|---|
| 4   | Личное потребление                                          | млн.<br>руб. | 3 790,8 | 5 830   | 7 648 |   |
| 5   | Зарплата со всеми выплатами и надбавками                    |              | 3 486,3 | 5 034   | 7 336 |   |
| 6   | Занято работников в сельскохозяйств. производстве           | тыс.<br>чел. | 1 333,0 | 1 441,6 | 1 623 |   |
| 7   | Доля потребления                                            | %            | 69,07   | 67,9    | 68,6  |   |
| 8   | Национальный доход на одного работника в сельском хозяйстве | руб./ч       | 1 547   | 2 211   | 2 495 |   |
| 9   | Доля зарплаты                                               |              |         |         |       |   |
|     | в личном потреблении                                        | %            | 91,7    | 86,3    | 95,9  |   |
|     | во всем потреблении                                         | "            | 83,8    | 78,5    | 86,2  |   |

Как видно из таблицы, превалирующей частью доли потребления в целом, а также личного является заработная плата со всеми надбавками и установленными выплатами. В то же время на основе проведенного нами анализа показателей в среднем по всем областям республики между производительностью труда и общей заработной платой имеется зависимость, близкая к прямой (рис.2). Отсюда можно определить коэффициент изменения удельного национального дохода  $m$  на человека:

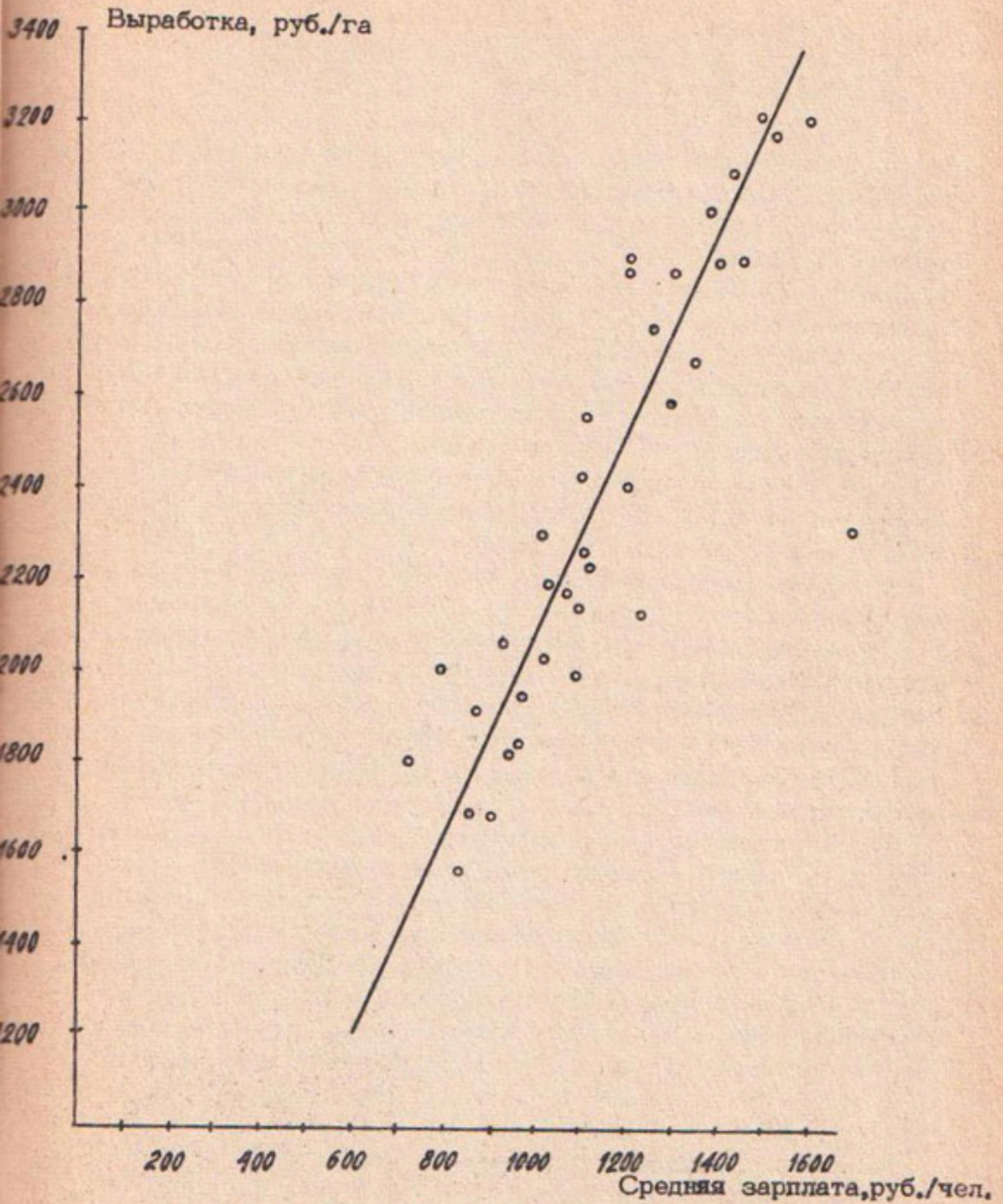
$$m = \frac{\Pi_n}{\Pi_{n-1}},$$

где  $\Pi_n$  и  $\Pi_{n-1}$  — выработка на 1 человека, соответственно, в конце и начале расчетного периода, руб./чел.

Темп роста национального дохода в целом в регионе определяется в зависимости от увеличения занятости, которая при сохранении нагрузки и производительности труда стабильной будет определяться как функция увеличения площадей орошения:

$$\begin{aligned} \Delta \bar{\Delta}_c &= \bar{H} \bar{\Delta}_n \cdot \bar{\ell}_n - \bar{H} \bar{\Delta}_{n-1} \cdot \bar{\ell}_{n-1} = \\ &= \bar{H} \bar{\Delta}_{n-1} \cdot \bar{\ell}_{n-1} \left( \frac{\Pi_n}{\Pi_{n-1}} \cdot \frac{F_n}{F_{n-1}} - 1 \right) = \end{aligned}$$







$$= H D_{n-1} \left( \frac{P_n}{P_{n-1}} \cdot \frac{F_n}{F_{n-1}} - 1 \right).$$

Составленная нами оптимизационно-экономическая модель по специально разработанной программе по минимуму приведенных затрат с учетом народнохозяйственного и социального эффектов показывает, как видно из результирующей табл.3, что наиболее эффективным является вариант2; очень близок к нему 3, затем идут варианты 5 и 1. Все эти варианты дают высокую окупаемость уже с первых лет их осуществления. Только вариант 4 – сохранение существующих темпов освоения земель и переустройство – в корне неэффективен и требует немедленного отказа от дальнейшего осуществления.

Анализ изменения суммарного народнохозяйственного эффекта при различных вариантах капиталовложений представлен на рис.3, а изменения национального дохода – на рис.4.

Сопоставление приведенных данных позволяет сделать следующие выводы:

1. Сохранение существующих темпов переустройства с недостаточной степенью комплексности и отсутствием целеустремленности в экономии водных ресурсов приведет к тому, что дальнейшее увеличение орошаемых площадей хотя и позволит увеличивать национальный доход, но не создаст необходимого народнохозяйственного эффекта вследствие того, что на существующих орошаемых площадях из-за недостатка оросительной воды и повышения минерализации в реке начнется снижение урожайности (вариант 4), которая дойдет до 23–25 ц/га. Темпы роста национального дохода при этом будут значительно ниже достигнутых в регионе повышения жизненного уровня.

2. Осуществление переустройства, исходя из первоочередного объема – 2,1 млн.га (варианты 1,2,3), позволит создать оптимальные условия для развития экономики, но не сможет остановить снижения народнохозяйственного эффекта в сельском хозяйстве с этого времени вследствие нарастания минерализации, снижения удельного водопотребления и – как следствие – постепенного снижения продуктивности земли.

Прогнозные расчёты показывают, что урожайность на ста-



Т а б л и ц а 3

Сравнительные показатели различных вариантов  
развития сельского хозяйства Средней Азии на  
период 1980г. и далее

| Номер:<br>п/п | Показатель                                                                  | Варианты |       |       |       |       |
|---------------|-----------------------------------------------------------------------------|----------|-------|-------|-------|-------|
|               |                                                                             | 1        | 2     | 3     | 4     | 5     |
| 1             | Площади орошения,<br>млн.га                                                 |          |       |       |       |       |
|               | 1980 г.                                                                     | 6,06     | 6,06  | 6,06  | 6,06  | 6,06  |
|               | Промежуточные                                                               | 6,67     | 6,81  | 6,81  | 6,81  | 6,44  |
|               | годы                                                                        | 7,42     | 7,56  | 7,56  | 7,56  | 6,85  |
|               | Последние годы                                                              | 8,17     | 8,31  | 8,31  | 8,31  | 7,34  |
|               | века                                                                        |          |       |       |       |       |
| 2             | Валовое производ-<br>ство сельскохозяй-<br>ственной продукции,<br>млрд.руб. |          |       |       |       |       |
|               | 1980 г.                                                                     | 11,45    | 11,45 | 11,45 | 11,45 | 11,45 |
|               | Промежуточные                                                               | 12,31    | 12,66 | 12,66 | 11,3  | 12,4  |
|               | годы                                                                        | 13,35    | 13,71 | 13,71 | 11,3  | 13,2  |
|               | Последние годы века                                                         | 13,65    | 14,00 | 14,00 | 10,3  | 13,2  |
| 3             | Оросительные нормы,<br>тыс.м <sup>3</sup> /га „брутто“                      |          |       |       |       |       |
|               | 1980 г.                                                                     | 17,4     | 17,4  | 17,4  | 17,4  | 17,4  |
|               | Промежуточные                                                               | 15,3     | 15,3  | 15,3  | 16,3  | 15,8  |
|               | годы                                                                        | 14,1     | 14,1  | 14,1  | 15,6  | 14,8  |
|               | Последние годы                                                              | 12,9     | 12,9  | 12,9  | 14,6  | 13,8  |
|               | века                                                                        |          |       |       |       |       |
| 4             | Капвложения окупае-<br>мые, млрд.руб.                                       | 17,25    | 17,90 | 18,05 | 13,23 | 8,305 |
|               | 1981г. и далее                                                              | 5,75     | 6,40  | 6,55  | 4,41  | 2,56  |
|               | Промежуточные годы                                                          | 5,75     | 5,75  | 5,75  | 4,41  | 2,71  |
|               | Последние годы                                                              | 5,75     | 5,75  | 5,75  | 4,41  | 3,035 |
|               | века                                                                        |          |       |       |       |       |
| 5             | Народнохозяйственный<br>эффект, млрд.руб.                                   |          |       |       |       |       |
|               | 1981г. и далее                                                              | 1,98     | 3,39  | 3,39  | 0,43  | 2,57  |
|               | Промежуточные                                                               | 6,98     | 8,53  | 8,53  | 0,53  | 8,17  |
|               | годы                                                                        |          |       |       |       |       |



Продолж.табл. 3

| Но-<br>мер :<br>п/п | Показатель :                                  | Варианты |        |        |        |       |
|---------------------|-----------------------------------------------|----------|--------|--------|--------|-------|
|                     |                                               | 1        | 2      | 3      | 4      | 5     |
|                     | Последние годы века                           | 9,29     | 9,51   | 9,51   | -8,39  | 7,65  |
| 6                   | Социальный эффект,<br>млрд.руб.               |          |        |        |        |       |
|                     | 1981 г. и далее                               | 0,99     | 1,51   | 1,51   | 0,35   | 0,77  |
|                     | Промежуточные годы                            | 1,09     | 1,25   | 1,25   | 0,28   | 0,32  |
|                     | Последние годы века                           | 0,250    | 0,22   | 0,22   | -0,97  | -0,40 |
| 7                   | Суммарный эффект,<br>млрд.руб.                | 20,580   | 24,409 | 24,409 | -7,777 | 18981 |
|                     | 1981г. и далее                                | 2,974    | 4,901  | 4,901  | 0,778  | 3343  |
|                     | Промежуточные годы                            | 8,070    | 9,782  | 9,782  | 0,808  | 8,386 |
|                     | Последние годы века                           | 9,536    | 9,726  | 9,726  | -9,363 | 7,252 |
| 8                   | Приведенные остаточ-<br>ные затраты,млрд.руб. |          |        |        |        |       |
|                     | 1981г. и далее                                | 0,702    | 2,249  | 2,081  | -0,394 | 1,125 |
|                     | Промежуточные годы                            | 2,539    | 3,326  | 3,325  | -0,202 | 1,930 |
|                     | Последние годы века                           | 1,757    | 1,812  | 1,807  | -2,398 | 1,406 |
|                     | В с е г о                                     | 4,998    | 7,388  | 7,213  | -2,994 | 5,461 |

<sup>x</sup> В капвложения включены лишь затраты на освоение земель и комплексное переустройство без учета затрат на регулирование и формирование стока, межбассейновые переброски и охрану водных ресурсов, так как они стабильны и составляют, ориентировочно, 3,2 млн.руб. в пятилетку.

роорошаемых землях достигнет, скажем по хлопчатнику, первоначального значительного увеличения, а далее начнет снижаться и достигнет минимума даже в вариантах 1,2,3. Даже в самых оптимальных условиях снижение народнохозяйственного эффекта к последним годам века для региона в годовом исчислении составит 750 млн.руб. для вариантов развития 1,2,3 и 1,35 млрд.руб. для варианта 5. При сохранении нынешних тенденций эта величина превысит 3 млрд.руб.;



Рис.3. Изменение народнохозяйственного эффекта при различных вариантах развития орошения в Средней Азии

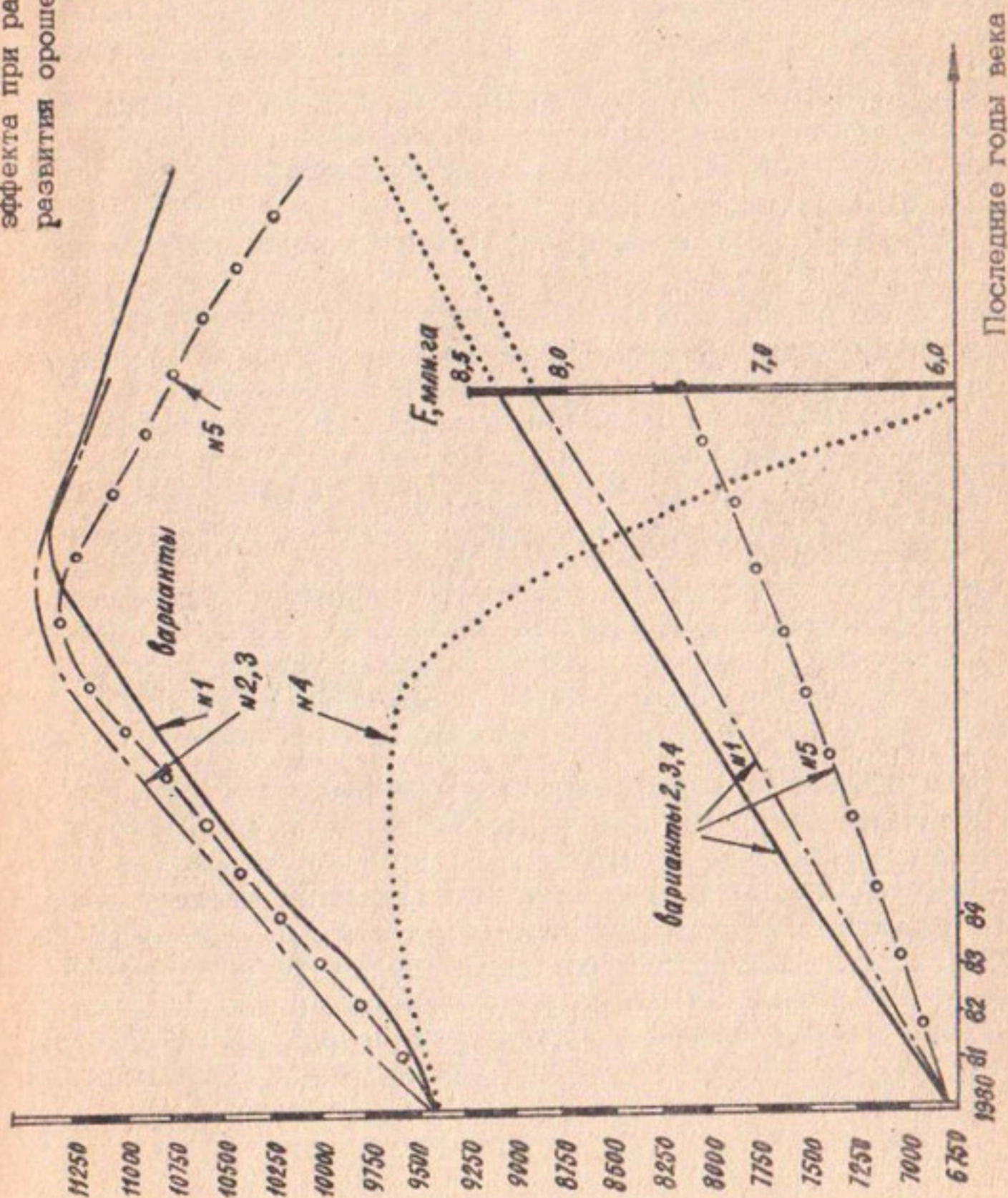
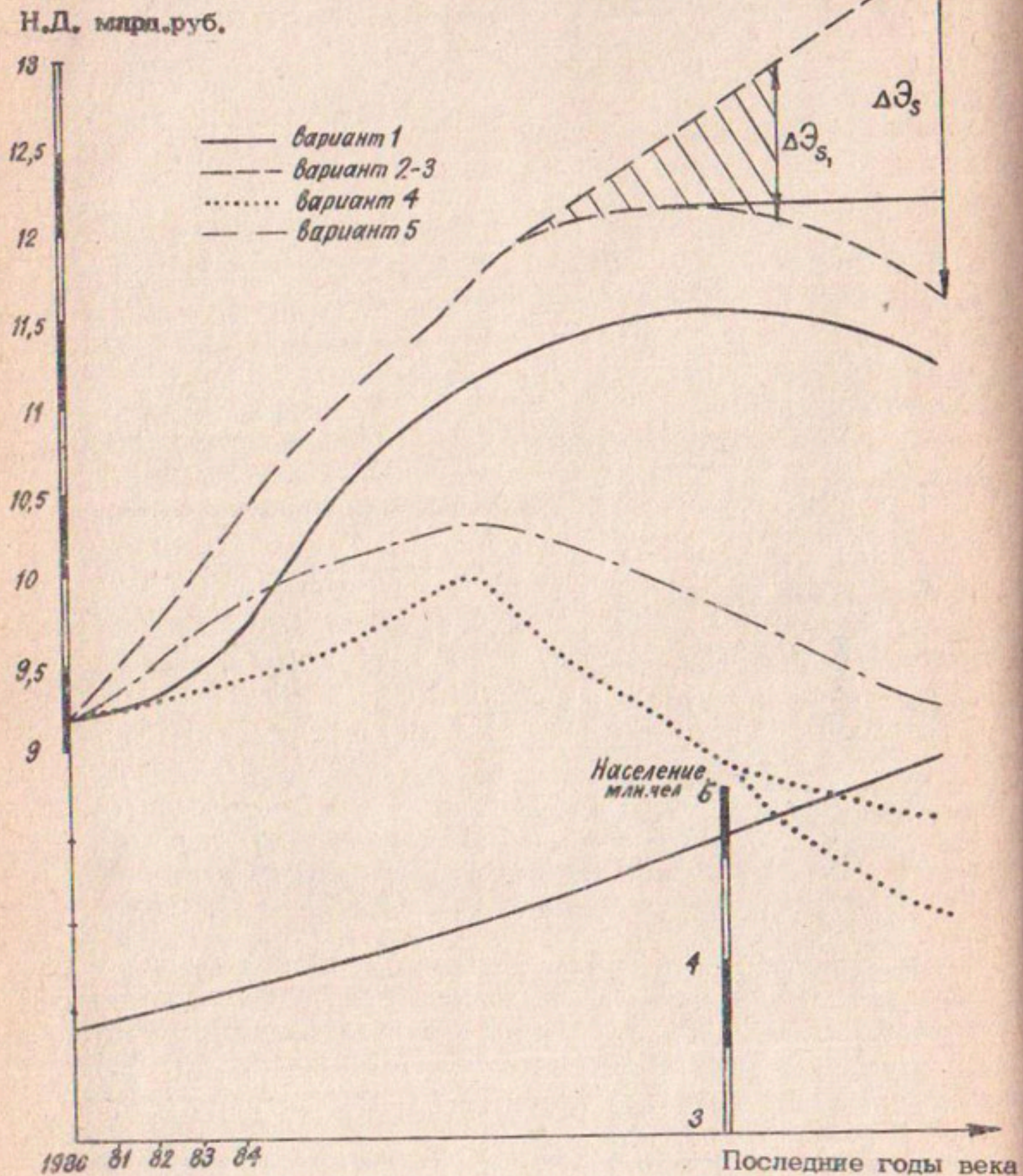




Рис. 4. Изменение национального дохода в связи с развитием орошения в Средней Азии;





3. Изменение национального дохода в сельском хозяйстве Среднеазиатского региона, которое определяет социальный эффект развития орошения, при осуществлении первоочередного переустройства (варианты 1,2,3) сначала идет опережающим темпом по сравнению с ростом трудоспособного сельского населения (2,2% в год против 1,15%). В то же время и здесь темпы роста национального дохода замедлены против предыдущих двух пятилеток в 2 раза. Однако даже при самых предель-

ных вариантах развития без сибирской воды далее национальный доход будет прибавляться очень слабо, а затем снижение национального дохода за пятилетку дойдет до максимума в годовом разрезе. В вариантах 4,5 снижение национального дохода начинается ранее и получит свой максимум на 2-3 года раньше.

Основной причиной снижения национального дохода является то, что рост сельскохозяйственного производства и орошаемых земель не обеспечит опережающего роста трудоспособного сельского населения, определенного по самым скромным прогнозам СОПС Госплана СССР, а производительность сельского работника при сохранении существующей структуры сельскохозяйственного производства начинает снижаться с этого же года.

4. Осуществление комплексного переустройства первоочередных 2,1 млн.га староорошаемых земель, наряду с совершенствованием техники полива и другими мерами уменьшения потерь воды, является жизненно необходимым мероприятием для всех республик Среднеазиатского региона. Для этого необходимо увеличить капвложения в мелиорацию этих республик в пятилетку специально на эти цели. При этом, учитывая сложности осуществления комплексного строительства на староорошаемых землях, наиболее целесообразно установление в первые годы увеличенного плана подготовки земель на 140-150 тыс.га, за счет которого должен быть создан переходящий мелиоративный фонд для возможности безущербного осуществления комплексного переустройства без соответствующего увеличения плана производства продукции на эти земли.

Следует отметить, что при этом на уровне последней пя-



тилетки будет обеспечено удовлетворение потребностей региона в молоке, мясе, картофеле и овощах, а по первым двум позициям ожидается снижение даже против уровня 1975 г.

5. Для того, чтобы не допустить имеющихся отрицательных тенденций в развитии среднеазиатского региона как по суммарному народнохозяйственному эффекту, так и национальному доходу, по производительности труда, уровню занятости сельского населения и т.д., необходимо через 10-15 лет обеспечить подачу воды в Сырдарью и Амударью с тем, чтобы получить возможность необходимого развития орошения в регионе. При этом такое развитие региона как бы восстановило бы прежние быстрые темпы роста орошения и национального дохода, народнохозяйственного эффекта (прогнозные кривые на обоих рисунках) и дало бы годовой суммарный эффект на уровне конца века в 3,4 млрд.]

Таким образом, даже без ликвидации последствий роста минерализации воды в промышленности и уменьшения ущерба Аральскому морю, уровень воды в котором может стабилизироваться, затраты на переброску 1 очереди стока сибирских рек могут быть окуплены в начале работ. Любая затяжка с осуществлением переброски, как это видно из расчетов, даже при осуществлении максимального реального варианта переустройства не сможет предотвратить ухудшения экономического потенциала Среднеазиатского региона.

Приведенные расчеты выполнены только для сельского хозяйства; неминуемо динамика всех показателей этой отрасли адекватно скажется и на динамике показателей как связанной с ней промышленности, так и всего народного хозяйства.

Итак, очевиден рост народнохозяйственного ущерба от затяжки мер по обеспечению рационального использования водных ресурсов и их увеличению. Своевременная переброска сибирских рек в Среднюю Азию даст толчок получению огромного экономического эффекта от развития только бассейна Аральского моря, при этом отражение этого эффекта скажется на экономике и значительной части отраслей, в первую очередь, текстильной и



других промышленностей далеко за пределами нашего региона.

### Л и т е р а т у р а

1. Д у х о в н ы й В.А. Экономическая оценка проектов орошения. М., "Тидротехника и мелиорация", 1980, № 1,5,6.
2. *Proceedings of congress СССР, Afheus, 1978, Q 33.*
3. Д у х о в н ы й В.А. К методике обоснования проектов орошения, "Хлопководство", 1970, № 11.
4. Л а п к и н К.И. Методические вопросы перспективного планирования. Ташкент, "Фан" УзССР, 1971.



В.К.ТЯН

канд. техн. наук

(САНИИРИ им. В.Д.Журина)

## К ВОПРОСУ ОЦЕНКИ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ ПРОТИВОФИЛЬТРАЦИОННЫХ МЕРОПРИЯТИЙ НА ОРОСИТЕЛЬНОЙ СЕТИ

Противофильтрационные мероприятия в оросительной сети — одна из важных задач в проблеме переустройства староорошаемых земель и получении дополнительных водных ресурсов. Как показали последние проработки "Средазгипроводхлопка", "Гидропроекта", САНИИРИ, в бассейне Аральского моря при существующем водозаборе 86 млрд.м<sup>3</sup> потери на фильтрацию составляют 33,6 млрд.м<sup>3</sup>. Если КПД сохранится на прежнем уровне, равном 0,61, то в перспективе при водозаборе 100 млрд.м<sup>3</sup> потери достигнут 39 млрд.м<sup>3</sup>.

Казалось бы, что при таких значительных потерях из оросительной сети противофильтрационные мероприятия на каналах — весьма эффективное средство, а сокращение фильтрационных потерь — существенный резерв дополнительных внутренних водных ресурсов. Такая оценка фильтрационных потерь была бы справедлива, если не учитывать возвратный сток и ту его долю, которая сформирована за счёт потерь из оросительной сети.

Грунтовые воды орошаемой территории формируются за счёт потерь из оросительной сети, инфильтрации при поливах, инфильтрации атмосферных осадков и притока грунтовых вод. В свою очередь, грунтовые воды расходуются на дренажный сток, испарение и транспирацию и грунтовый отток. Здесь в первом приближении полагаем, что каждая приходная статья распределена в расходных составляющих пропорционально их содержанию в общем грунтовом потоке, а каждая расходная статья баланса грунтовых вод содержит все приходные статьи в количестве, пропорциональном их содержанию в общем объеме грунтового потока. Следовательно, вода, затрачиваемая на испарение и транспирацию из общего объема фильтрационных потерь, — полезно использованная вода, и в оценке дополнительных водных ресурсов ее не следует считать возможным резервом. Дополнительный водный ресурс содержится только в дренажном стоке и



грунтовым оттоке и лишь в той доле, которая сформирована за счёт потерь из оросительной сети.

С другой стороны, и дренажный сток, и грунтовый отток могут поступать или в источник питания и вторично использоваться на орошение нижерасположенными регионами, или выходить за пределы орошаемой зоны, где они теряют свое значение как оросительная вода. И в том, и в другом случае эти воды являются потерянными для регионов, где они были сформированы, однако для бассейна реки в целом к потерянному следует отнести только безвозвратный дренажный сток.

Таким образом, с позиции ирригационного региона дополнительные водные ресурсы содержатся в дренажном стоке и грунтовым оттоке, а с позиции бассейна — в безвозвратном дренажном стоке и безвозвратном грунтовым оттоке и лишь в той доле, которая сформирована за счёт потерь из оросительной сети.

Из табл.1 (составлена по материалам работы К.Х.Холматова "Возвратные воды в бассейне рек Сырдарьи и Амударьи", САНИИРИ, 1979) видно, что в бассейне Сырдарьи 89%, а в бассейне Амударьи 32% дренажных вод возвращаются обратно в реку и вторично используются на орошение. В целом по бассейну Аральского моря фактический резерв дополнительных водных ресурсов можно оценить лишь в 11 млрд.м<sup>3</sup> (по сравнению с 33,6 млрд.м<sup>3</sup>, оцененными по величине фильтрационных потерь), которые относятся к безвозвратным потерям.

Объем дренажного стока в большей части зависит от водозабора на орошение, однако его расход в течение года более равномерен и в основном определяется уровнем залегания грунтовых вод. В конечном итоге режим дренажного стока тесно связан с режимом грунтовых вод как в количественном, так и в качественном отношении. Поэтому условия и факторы формирования грунтовых вод, без значительных погрешностей, можно распространить на дренажный сток.

Каждая из статей баланса оказывает различное влияние на формирование грунтовых вод, поэтому необходимо выделить ту долю в составе последних, которая сформирована фильтрационными потерями из оросительной сети, поскольку противофильтрационные мероприятия окажут влияние только на эту статью баланса. Практика изучения баланса грунтовых вод по



Т а б л и ц а 1

Объем и распределение дренажного стока бассейна  
Аральского моря по данным 1975 г. (САНИИРИ)

| Ирригационный<br>регион             | Дренаж-<br>ный<br>сток, з<br>млрд.м | Водоприемник      | Доля дренаж-<br>ного стока |     |
|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------|----------------------------|-----|
|                                     |                                     |                   | млрд.з<br>м                | %   |
| <u>Бассейн Сырдарьи</u>             |                                     |                   |                            |     |
| Верховья и Ферганская<br>долина     | 5,55                                | р.Сырдарья        | 5,55                       | 100 |
| Среднее течение                     | 2,36                                | р.Сырдарья        | 1,18                       | 50  |
|                                     |                                     | оз.Арнасай        | 1,18                       | 50  |
| Чакир                               | 0,96                                | р.Сырдарья        | 0,96                       | 100 |
| Низовья Сырдарьи                    | 1,78                                | р.Сырдарья        | 1,78                       | 100 |
| Артур                               | 0,46                                | р.Сырдарья        | 0,46                       | 100 |
| 10:3 склон хр.Каратау               | 0,06                                | пески             | 0,06                       | 100 |
| Всего, бас.Сырдарьи                 | 11,18                               | р.Сырдарья        | 9,94                       | 89  |
|                                     |                                     | безвозвр.потери   | 1,24                       | 11  |
| <u>Бассейн Амударьи</u>             |                                     |                   |                            |     |
| Верхнеамударьинский                 | 3,68                                | р.Амударья        | 3,68                       | 100 |
| Кашкадарьинский                     | 0,40                                | пески Кызылкум    | 0,40                       | 100 |
| Каршинский                          | 0,75                                | пески Сундукли    | 0,75                       | 100 |
| Бухарский                           | 0,92                                | пески Кызылкум    | 0,92                       | 100 |
| Туркменский прибре-<br>жный         | 0,73                                | р.Амударья        | 0,57                       | 78  |
|                                     |                                     | оз.Катташор       | 0,16                       | 22  |
| Зарафшанский                        | 1,90                                | пески Кызылкум    | 1,90                       | 100 |
| Низовья Амударьи                    | 1,51                                | р.Амударья        | 0,11                       | 7   |
|                                     |                                     | оз.Суярган        | 0,30                       | 20  |
|                                     |                                     | оз.Сарыкамыш      | 1,10                       | 73  |
| Дельта Амударьи                     | 1,09                                | Аральское море    | 0,55                       | 51  |
|                                     |                                     | оз.Судачье        | 0,54                       | 49  |
| Каракумский                         | 3,30                                | пески Каракум     | 3,30                       | 100 |
| Всего; бассейн Аму-<br>дарьи        | 14,28                               | р.Амударья        | 4,58                       | 32  |
|                                     |                                     | безвозвр.потери   | 9,70                       | 68  |
| Всего; бассейн Араль-<br>ского моря | 25,46                               | Источник орошения | 14,52                      | 57  |
|                                     |                                     | безвозвр.потери   | 10,94                      | 43  |



их формированию располагает большим количеством данных, охватывающих небольшие опытные участки [2] или целые регионы. Достоверность этих сведений пока еще не достаточно высока, на что указывают значительные расхождения в оценке статей баланса грунтовых вод. Поэтому, не вдаваясь в оценку степени достоверности тех или иных данных, воспользуемся результатами исследований М.С.Алимова [1] всех ирригационных регионов бассейна Аральского моря (табл.2).

Как свидетельствуют данные, наибольшая доля в балансе грунтовых вод приходится на фильтрацию из оросительной сети, по бассейну Аральского моря в среднем она составляет 61%, а на остальные статьи баланса грунтовых вод приходится только 39%. Следовательно, если принять, что формирование грунтовых вод и дренажного стока, в том числе безвозвратного, соответствуют вышеизложенным допущениям и данным (табл.2), то только 61% дренажного стока, сформированного за счёт потерь из оросительной сети, является резервом дополнительных водных ресурсов и только его возможно регулировать противофильтрационными мероприятиями.

Таким образом, резерв дополнительных водных ресурсов может быть вычислен по следующим формулам:

а) для ирригационного региона

$$G_p = W(\gamma_1 \cdot \gamma_3 + \gamma_4 \cdot \gamma_6) \quad (1)$$

б) для бассейна рек

$$G_d = \sum W(\gamma_1 \cdot \gamma_2 \cdot \gamma_3 + \gamma_4 \cdot \gamma_5 \cdot \gamma_6), \quad (2)$$

где  $G_p$  - резерв дополнительного водного ресурса ирригационного региона, м<sup>3</sup>;  
 $G_d$  - резерв дополнительного водного ресурса бассейна рек, м<sup>3</sup>;  
 $W$  - суммарный водозабор ирригационного региона, м<sup>3</sup>;  
 $\gamma_1$  - доля дренажного стока от водозабора в регион

$$\gamma_1 = \frac{D}{W}$$

$D$  - общий дренажный сток региона, м<sup>3</sup>;

$\gamma_2$  - доля безвозвратного дренажного стока

$$\gamma_2 = \frac{D_d}{D}$$

$D_d$  - безвозвратный дренажный сток, м<sup>3</sup>;



Региональный баланс подземных вод по орошаемым районам  
Узбекистана за 1967 г.

| Балансовый район | Площадь, тыс.га | Приходные статьи, м <sup>3</sup> /с/% |                                 |                                                      |                                   | Сумма приходящих статей подземных вод |
|------------------|-----------------|---------------------------------------|---------------------------------|------------------------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|
|                  |                 | подземный приток                      | инfiltrация атмосферных осадков | инfiltrация воды из каналов и естественных водотоков | инfiltrация из брошенных площадей |                                       |
| 1                | 2               | 3                                     | 4                               | 5                                                    | 6                                 | 7                                     |

Бассейн Сырдарьи

|                              |                   |      |      |        |       |        |
|------------------------------|-------------------|------|------|--------|-------|--------|
| Ферганская межгорная впадина | м <sup>3</sup> /с | 21,0 | 3,5  | 229,47 | 43,0  | 296,97 |
| %                            |                   | 7,10 | 0,90 | 77,5   | 14,50 | 100,0  |

Голодная степь

|                   |        |      |      |       |       |       |
|-------------------|--------|------|------|-------|-------|-------|
| м <sup>3</sup> /с | 1060,0 | 9,08 | 3,74 | 37,05 | 38,54 | 88,41 |
| %                 |        | 10,2 | 4,2  | 41,9  | 43,7  | 100,0 |

Чакыр и Дальверзинская степь

|                   |       |       |      |      |       |       |
|-------------------|-------|-------|------|------|-------|-------|
| м <sup>3</sup> /с | 539,8 | 10,34 | 1,62 | 31,3 | 20,56 | 63,82 |
| %                 |       | 16,2  | 2,5  | 49,1 | 32,2  | 100,0 |

В с е г о

|                   |  |       |      |        |       |       |
|-------------------|--|-------|------|--------|-------|-------|
| м <sup>3</sup> /с |  | 40,42 | 8,86 | 297,82 | 102,1 | 449,1 |
| %                 |  | 9,0   | 2,0  | 66,2   | 22,8  | 100,0 |

Бассейн Амударьи

|                                |                   |      |      |       |      |       |
|--------------------------------|-------------------|------|------|-------|------|-------|
| Зарафшанская межгорная впадина | м <sup>3</sup> /с | 7,77 | 2,48 | 23,18 | 7,66 | 41,09 |
| %                              |                   | 18,9 | 6,1  | 56,4  | 18,6 | 100,0 |



| 1                                                                      | 2      | 3             | 4            | 5             | 6             | 7              |
|------------------------------------------------------------------------|--------|---------------|--------------|---------------|---------------|----------------|
| Кермине-Канимех-<br>ский оазис<br>м <sup>3</sup> /с<br>%               | 74,5   | 2,55<br>33,3  | 0,96<br>12,5 | 1,44<br>18,8  | 2,72<br>35,4  | 7,67<br>100,0  |
| Бухарский оазис<br>м <sup>3</sup> /с<br>%                              | 245,9  | 0,57<br>1,8   | 3,85<br>12,3 | 11,93<br>38,2 | 14,99<br>47,7 | 31,24<br>100,0 |
| Каракульский<br>оазис<br>м <sup>3</sup> /с<br>%                        | 57,15  | 0,09<br>1,5   | 0,99<br>16,4 | 1,81<br>30,0  | 3,19<br>52,1  | 6,04<br>100,0  |
| Китабо-Шахрисаб-<br>ская м.г. впадина<br>м <sup>3</sup> /с<br>%        | 217,4  | 8,47<br>59,3  | 0,26<br>1,8  | 5,07<br>35,4  | 0,5<br>3,5    | 14,3<br>100,0  |
| Каршинская степь<br>м <sup>3</sup> /с<br>%                             | 1224,6 | 4,83<br>31,0  | 1,37<br>8,8  | 7,98<br>51,1  | 1,41<br>9,1   | 15,59<br>100,0 |
| Шерабад-Сурхан-<br>дарьинская деп-<br>рессия<br>м <sup>3</sup> /с<br>% | 502,4  | 15,32<br>26,3 | 2,54<br>4,3  | 22,90<br>39,3 | 17,53<br>3,01 | 58,29<br>100,0 |
| Хорезмский оазис<br>м <sup>3</sup> /с<br>%                             | 522,0  | -             | -            | 86,0<br>76,0  | 27,4<br>24,0  | 113,4<br>100,0 |



| 1                                                 | 2       | 3            | 4            | 5              | 6              | 7               |
|---------------------------------------------------|---------|--------------|--------------|----------------|----------------|-----------------|
| КК АССР<br>м/с<br>%                               | 716,6   | -            | -            | 48,3<br>55,2   | 39,4<br>44,8   | 87,7<br>100,0   |
| В с е г о<br>м/с<br>%                             | 6732,91 | 39,6<br>10,7 | 12,45<br>3,3 | 208,61<br>55,0 | 114,76<br>30,4 | 375,32<br>100,0 |
| И т о г о: бассейн<br>Аральского моря<br>м/с<br>% | 6732,91 | 80,02<br>9,7 | 21,31<br>2,6 | 506,33<br>61,4 | 211,86<br>26,3 | 824,52<br>100,0 |



$\gamma_3$  - доля дренажного стока, сформированная за счет потерь из оросительной сети,  $\gamma_3 = \frac{S_{\phi}}{\Sigma S}$ ;

$S_{\phi}$  - объем фильтрационных потерь из оросительной сети региона в общем балансе грунтовых вод, м<sup>3</sup>;

$\Sigma S$  - сумма приходных статей баланса грунтовых вод региона, м<sup>3</sup>;

$\gamma_4$  - доля грунтового оттока от водозабора, м<sup>3</sup>

$$\gamma_4 = \frac{\Gamma}{W};$$

$\Gamma$  - грунтовый отток региона, м<sup>3</sup>;

$\gamma_5$  - доля безвозвратного грунтового оттока принимается равной  $\gamma_2$ ;

$\gamma_6$  - доля грунтового оттока, сформированная за счет потерь из оросительной сети, принимается равной  $\gamma_3$ .

Формулы (1), (2) позволяют оценить тот резерв дополнительных водных ресурсов регионов и бассейнов, который можно было бы получить при полной ликвидации потерь из оросительной сети. Однако по условиям технической возможности и экономической целесообразности полная ликвидация потерь не эффективна, в связи с чем необходимо останавливаться на каком-то определенном уровне, исходя из потребности дополнительных водных ресурсов или целесообразности этих мероприятий.

Объем дополнительных водных ресурсов, который можно получить доведением КПД от существующего ( $\eta_c$ ) до расчетного ( $\eta_p$ ), определяется по формуле

$$G_g = \frac{G_p (\eta_p - \eta_c)}{1 - \eta_c}. \quad (3)$$

Расчет дополнительных водных ресурсов выполняется, исходя из следующих условий и допущений:

в основу расчета дополнительных водных ресурсов положена не величина фильтрационных потерь из оросительной сети, как это принято, а дренажный сток;

дополнительный водный ресурс возможно получить только за счет сокращения безвозвратного дренажного стока (для бассейна) и дренажного стока (для региона);

доля общего дренажного стока регионов принимается по фактическим наблюдениям управлений мелиорации;

доля безвозвратного дренажного стока принимается согласо-



Т а б л и ц а 3

Возможный дополнительный водный ресурс при  
существующем водозаборе и расчетном КПД  
(для бассейнов)

| Ирригационные<br>регионы            | Водо-<br>забор,<br>млрд.<br>м <sup>3</sup> | Доля дренаж-<br>ного стока $\delta_1$<br>от водоза-<br>бора |      | Доля безвозврат-<br>ных потерь $\delta_2$<br>от дренажно-<br>ного стока |      |
|-------------------------------------|--------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|------|-------------------------------------------------------------------------|------|
|                                     |                                            | млрд.м <sup>3</sup> :                                       | %    | млрд.м <sup>3</sup> :                                                   | %    |
| <u>Бассейн Сырдарьи</u>             |                                            |                                                             |      |                                                                         |      |
| Верховья и Ферганская<br>долина     | 14,55                                      | 55,5                                                        | 38,2 | —                                                                       | —    |
| Среднее течение                     | 7,15                                       | 2,36                                                        | 33,0 | 1,18                                                                    | 50   |
| Низовья Сырдарьи                    | 8,95                                       | 1,78                                                        | 20,0 | —                                                                       | —    |
| Чакир                               | 3,0                                        | 0,96                                                        | 32,0 | —                                                                       | —    |
| В с е г о                           | 33,65                                      | 10,65                                                       | 31,6 | 1,18                                                                    | 11,1 |
| <u>Бассейн Амударьи</u>             |                                            |                                                             |      |                                                                         |      |
| Верхнеамударьинский                 | 10,75                                      | 3,68                                                        | 34,0 | —                                                                       | —    |
| Кашкадарьинский                     | 1,38                                       | 0,40                                                        | 29,0 | 0,40                                                                    | 100  |
| Каршинский                          | 2,66                                       | 0,75                                                        | 28,0 | 0,75                                                                    | 100  |
| Бухарский                           | 4,62                                       | 0,92                                                        | 20,0 | 0,92                                                                    | 100  |
| Туркменский прибрежн.               | 2,90                                       | 0,73                                                        | 25,0 | 0,16                                                                    | 22   |
| Зарафшанский                        | 5,42                                       | 1,90                                                        | 35,0 | 1,90                                                                    | 100  |
| Дельта Амударьи                     | 5,45                                       | 1,09                                                        | 20,0 | 1,09                                                                    | 100  |
| Низовья Амударьи                    | 6,06                                       | 1,51                                                        | 25,0 | 1,40                                                                    | 93   |
| Каракумский                         | 13,20                                      | 3,30                                                        | 25,0 | 3,30                                                                    | 100  |
| В с е г о                           | 52,44                                      | 14,28                                                       | 25,5 | 9,70                                                                    | 68   |
| Всего; бассейн Араль-<br>ского моря | 96,09                                      | 24,93                                                       | 29,0 | 10,88                                                                   | 43,7 |

но фактическому его распределению по водоприемникам (безвозвратным стоком считается тот, который в дальнейшем на орошение не используется; см. табл.1);

дренажный сток регионов и бассейнов (в том числе безвозвратный) состоит из тех же составляющих баланса и в тех же соотношениях, что и грунтовые воды;



Продолж. табл. 3

| Доля ороситель-<br>тельной сети<br>от безвозвратных<br>потерь |   | Существующий<br>КПД ( $\eta_c$ ) | Расчётный<br>КПД ( $\eta_p$ ) | Дополнительный водный<br>ресурс             |                               | % от водоза-<br>ра |
|---------------------------------------------------------------|---|----------------------------------|-------------------------------|---------------------------------------------|-------------------------------|--------------------|
| млрд. м <sup>3</sup>                                          | % |                                  |                               | при полной<br>ликвидации<br>потерь<br>$G_1$ | при расчётном<br>КПД<br>$G_2$ |                    |

Бассейн Сырдарьи

|       |     |      |      |       |       |      |
|-------|-----|------|------|-------|-------|------|
| 0,435 | -   | -    | -    | -     | -     | -    |
| 0,435 | 37  | 0,76 | 0,81 | 0,435 | 0,091 | 1,27 |
| -     | -   | -    | -    | -     | -     | -    |
| -     | -   | -    | -    | -     | -     | -    |
| 0,435 | 4,1 | 0,67 | 0,77 | 0,435 | 0,091 | 0,27 |

Бассейн Амударьи

|       |      |      |      |       |       |      |
|-------|------|------|------|-------|-------|------|
| -     | -    | -    | -    | -     | -     | -    |
| 0,140 | 35   | 0,66 | 0,80 | 0,140 | 0,058 | 4,2  |
| 0,293 | 35   | 0,65 | 0,78 | 0,293 | 0,109 | 4,1  |
| 0,110 | 12   | 0,52 | 0,77 | 0,110 | 0,058 | 1,25 |
| -     | -    | -    | -    | -     | -     | -    |
| 1,064 | 56   | 0,62 | 0,77 | 1,064 | 0,422 | 7,8  |
| 0,6   | 55   | 0,54 | 0,73 | 0,6   | 0,259 | 4,8  |
| 1,064 | 76   | 0,55 | 0,72 | 1,064 | 0,402 | 6,6  |
| 2,5   | 76   | 0,48 | 0,65 | 2,5   | 0,817 | 6,2  |
| 6,2   | 63,7 | 0,58 | 0,73 | 6,2   | 2,22  | 4,25 |
| 6,64  | 61,0 | 0,61 | 0,74 | 6,64  | 2,31  | 2,7  |

противофильтрационные мероприятия в оросительной сети сокращают только ту часть дренажного стока, в том числе безвозвратного, которая сформирована потерями из оросительной сети и на ту долю, на которую осуществлено сокращение потерь.

Предлагаемый расчёт резерва дополнительных водных ресурсов не учитывает одно довольно важное обстоятельство: из-



менение качества дренажного стока в связи с сокращением фильтрационных потерь из оросительной сети. Сокращение фильтрационных потерь окажет влияние не только на количество и качество дренажных вод, но и на режим грунтовых вод и их минерализацию, на величину суммарного испарения и оросительную норму. Учет этих факторов может оказаться решающим в получении дополнительных водных ресурсов с помощью противофильтрационных мероприятий в оросительной сети.

Однако к настоящему времени влияние сокращения фильтрационных потерь из оросительной сети на вышеприведенные факторы изучено не достаточно полно. Качественная же сторона этого влияния при неизменных оросительных нормах представляется следующей: дренажный сток сократится и возрастет его минерализация, уровень грунтовых вод понизится и повысится их минерализация, суммарное испарение сократится. Учитывая отсутствие необходимых данных по вышеизложенным факторам, эта сторона вопроса в первом приближении не рассматривается.

В качестве примера по приведенным формулам (1), (2), (3) выполнен расчёт возможного получения дополнительных водных ресурсов противофильтрационными мероприятиями в оросительной сети бассейна Аральского моря (табл.3) для бассейнов рек, т.е. расчёт выполнен по безвозвратному дренажному стоку. Исходные данные по водозабору, дренажному стоку, в том числе безвозвратному, приняты согласно "Схеме комплексного использования водных ресурсов бассейна Аральского моря ("Средазгипроводхлопок"). Расчёты по грунтовому оттоку для краткости не приводятся.

Как свидетельствуют выполненные расчёты, дополнительный водный ресурс (с позиции отдельных ирригационных регионов), который возможно получить сокращением фильтрационных потерь из оросительной сети, в целом по бассейну Аральского моря составит 5 млрд.м<sup>3</sup> или 5,8% от водозабора. Если эти же мероприятия рассматривать с позиции бассейнов Сырдарьи и Амударьи, т.е. по безвозвратному дренажному стоку, то дополнительный водный ресурс в целом по бассейну Аральского моря составит всего 2,31 млрд.м<sup>3</sup> или 2,7% от водозабора.

Как видно, противофильтрационные мероприятия как в первом, так и во втором случае не дают сколько-нибудь существенной величины дополнительного водного ресурса и их вы-



шествии величины дополнительного водного ресурса и их выполнение не эффективно.

Вместе с тем в разрезе отдельных каналов и оросительных систем любого региона не исключается необходимость противофильтрационных мероприятий. Выборочные противофильтрационные мероприятия позволяют более рационально использовать водный ресурс, улучшить водораспределение внутри региона или системы, но мало что дадут в части дополнительных водных ресурсов бассейна.

### Л и т е р а т у р а

1. А л и м о в М.С. Опыт и методика оценки элементов баланса грунтовых вод орошаемой территории Узбекистана, Ташкент, "Фан" УзССР, 1979.
2. К а ц Д.М. Влияние орошения на грунтовые воды. М., "Колос", 1976.

А.В.БОЧАРИН, канд.техн.наук

М.И.МИРЗАЕВ, ст.научный сотрудник

Н.Н.МИРЗАЕВ, ст.научный сотрудник

(САНИИРИ им.В.Д.Журина)

### МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ОПТИМАЛЬНОЙ КОРРЕКТИРОВКИ ПЛАНОВ ВОДОПОЛЬЗОВАНИЯ ПРИ ДЕФИЦИТЕ ОРОСИТЕЛЬНОЙ ВОДЫ

В условиях складывающегося дефицита воды распределять её следует на основе приоритетности определенных водопотребителей и сокращения водоподачи другим потребителям. К приоритетным потребителям, ограничение в воде которых при снижении водообеспеченности оросительных систем не допускается, относятся промышленные предприятия, коммунально-бытовые нужды, санитарные попуски, тепловые электростанции, обводнение пастбищ, промышленные рыбхозы.



Снижение водоподачи указанным потребителям вызывает следующее:

относительно большой экономический ущерб при сравнительно малой экономии воды;

ухудшение социальных и бытовых условий населения;

нарушение законодательных требований в деле охраны окружающей среды.

Имеющийся дефицит водных ресурсов необходимо распределять между водопотребителями: гидроэнергетикой, орошаемым земледелием. Преимущественное право использования воды представляется при этом орошаемому земледелию, а работа ГЭС приспособляется к графику водоподачи, заданному для всех остальных перечисленных выше водопотребителей.

Ограничение водоподачи должно устанавливаться таким образом, чтобы обеспечить равные относительные ущербы, вызванные дефицитом воды на оросительной системе, у всех обслуживаемых хозяйств.

Формализованное представление критерия оптимизации водораспределения имеет вид

$$\frac{\sum_{i=1}^n \sum_{v=1}^{\sigma} \sum_{s=1}^K \Omega_{ivs} \cdot U_{ivs} \cdot C_{is}}{\sum_{i=1}^n \sum_{s=1}^K \Omega_{is} U_{is} C_{is}} = b_{vs}, \quad (1)$$

где

$i = 1, 2, \dots, n$  — индексы культур;

$v = 1, 2, \dots, \sigma$  — индексы уровней ограничений водоподачи;

$s = 1, 2, \dots, K$  — индексы хозяйств;

$\Omega_{ivs}$  — площадь  $i$ -ой культуры при  $v$ -ом ограничении водопотребления у  $s$ -го хозяйства;

$U_{ivs}$  — соответственно урожайность;

$C_{is}$  — соответственно стоимость единицы окончательной продукции;

$b_{vs}$  — константа при  $v$ -ой водообеспеченности оросительной системы равная для всех обслуживаемых его хозяйств.

Показатели без индекса  $v$  отвечают их плановым значениям.



Установленный уровень водообеспеченности каждого хозяйства должен обеспечивать получение максимальной продукции сельхозпроизводства, т.е. отвечать условию:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{v=1}^6 \Omega_{iv} U_{iv} C_i = B_v \rightarrow \max, \quad (2)$$

$$B_v = b_i B \quad (3)$$

( $B$  — плановая стоимость окончательной продукции орошаемых земель).

При этом должны быть выполнены следующие ограничения:  
отвечать наличию водных ресурсов —

$$\sum_{i=1}^n \sum_{v=1}^6 \Omega_{iv} q_{iv} = Q_v \cdot \eta_v, \quad (4)$$

соблюдать структуру севооборота —

$$\frac{\Omega_{kv}}{\Omega_{lv}} = \frac{\Omega_k}{\Omega_l}, \quad (5)$$

производить определенную группу второстепенных культур не ниже заданного объема —

$$\Omega'_{iv} U'_{iv} \geq A_i, \quad (6)$$

где  $q_{iv}$  — ордината гидромодуля  $i$ -ой культуры при  $v$ -ом ограничении водопотребления;

$Q_v$  — лимит водных ресурсов хозяйства при  $v$ -ом ограничении водоподачи;

$\eta_v$  — КПД хозяйства при  $v$ -ой водоподаче;

$\Omega_{kv}, \Omega_{lv}$  — площади севооборотных культур при  $v$ -ой водоподаче;

$\Omega'_{iv}, U'_{iv}$  — площади и урожайность второстепенной  $i$ -ой культуры при  $v$ -ой водоподаче;

$A_i$  — заданный объем производства второстепенной  $i$ -ой культуры.

Принцип оптимизации водораспределения (критерий) при дефиците оросительной воды и предлагаемая система ограничений приведены в работах [9, 10].

Для определения снижения урожайности от ограничения водопотребления рекомендуется зависимость [1]



$$y_{iv} = a_i (z_{iv} - 1)^2 + 1, \quad (7)$$

где

$$y_{iv} = \frac{u_{iv}}{u_i}, \quad (8)$$

$$a_i = 1,07 b_i^2, \quad (9)$$

$$b_i = K_i \cdot K_1 \cdot K_2 \quad (10)$$

$K_i$  — коэффициент, зависящий от вида сельхозкультур;

$K_1$  — то же от мелиоративного состояния орошаемых земель;

$K_2$  — то же от продолжительности вегетационного периода.

Формула (7) основана на аналогичной зависимости урожайности от оросительной нормы, обоснованной в работе [1].

Исходная документация для формирования массива информации:

годовые отчеты Управления оросительных систем по использованию воды;

планы водопользования оросительной системы и хозяйств на текущий год;

производственно-финансовые планы хозяйств текущего года.

Анализируя отчеты Управлений оросительных систем по фактическому использованию воды в годы с различной водообеспеченностью можно установить критический период вегетации, когда наблюдается наиболее глубокий дефицит оросительной воды.

На основе плана водопользования оросительной системы устанавливается перечень приоритетных водопотребителей, объем водоподачи для них и расположение на межхозяйственной оросительной сети, КПД межхозяйственной и внутрихозяйственной оросительной сети.

Из планов водопользования хозяйств делается выборка следующих данных:

климатическая зона режима орошения;

общие поливные площади сельхозкультур и их гидромодульные районы по режиму орошения;

поливные задания по сельхозкультурам и их ординаты



гидро модуля для критического периода вегетации;

значения КПД оросительной сети в диапазоне изменения расхода "нетто" хозяйства.

Из производственно-финансовых планов хозяйств делается выборка следующих данных:

севооборотные культуры и значения их площадей;

заданный объем производства второстепенных культур, предназначенных для внутреннего потребления;

закупочная (заготовительная) цена единицы продукции поливных сельхозкультур.

Для построения зависимости урожайности сельхозкультур от ограничения водопотребления (7) рекомендуется принимать следующие значения постоянных коэффициентов /2,3/:

в зависимости от вида культуры ( $K_i$ )

|                                  |        |
|----------------------------------|--------|
| хлопчатник                       | - 1,0  |
| кукуруза (джугара)               | - 0,85 |
| корнеплоды                       | - 0,95 |
| плодовые и другие насаждения     | - 0,9  |
| пропашные и пов- торные культуры | - 1,4  |

в зависимости от гидрогеологических условий ( $K_1$ )

|                                                                |        |
|----------------------------------------------------------------|--------|
| при глубине грунтовых вод 3-4 м                                | - 1,0  |
| то же, для маломощных почв, подсти- лаемых галечником и песком | - 1,15 |
| при глубине грунтовых вод 2-3 м                                | - 0,85 |
| то же 1-2 м                                                    | - 0,65 |
| то же 0,5-1,0 м                                                | - 0,40 |

в зависимости от климатических зон орошения ( $K_2$ )

|    |        |
|----|--------|
| СИ | - 0,88 |
| СП | - 0,92 |
| ЦИ | - 0,96 |
| ЦП | - 1,0  |
| ЮИ | - 1,04 |
| ЮП | - 1,08 |

В общем виде алгоритм решения, полученный на основе математических преобразований приведенных выше выражений, принимает следующий вид:

целевая функция —



$$g + \sum_{i=1}^n d_i \cdot X_{iv} y_{iv} \rightarrow \max, \quad (11)$$

ограничения по водным ресурсам

$$\sum_{i=1}^n Z_{iv} (\alpha_i - \beta_i + \beta_i X_{iv}) = P_v, \quad (12)$$

ограничения по структуре севооборотов

$$\delta_\ell X_{kv} - \delta_\kappa X_{lv} = \delta_\ell - \delta_\kappa, \quad (13)$$

ограничения по производству второстепенных культур

$$x_i X'_{iv} y'_{iv} \geq b_i, \quad (14)$$

где

$$g = 1 - \sum_{i=1}^n d_i, \quad (15) \quad d_i = \frac{\omega_i U_i C_i}{\sum_{i=1}^n \Omega_i U_i C_i}, \quad (16)$$

$$X_{iv} = \frac{\omega_{iv}}{\omega_i}, \quad (17) \quad X'_{iv} = \frac{\omega'_{iv}}{\omega_i}, \quad (18)$$

$$y_{iv} = \frac{U_{iv}}{U_i}, \quad (19) \quad y'_{iv} = \frac{U'_{iv}}{U_i}, \quad (20)$$

$$\alpha_i = \frac{\Omega_i \cdot q_i}{\sum_{i=1}^n \Omega_i q_i}, \quad (21) \quad \beta_i = \frac{\omega_i \cdot q_i}{\sum_{i=1}^n \Omega_i q_i}, \quad (22)$$

$$Z_{iv} = \frac{q_{iv}}{q_i}, \quad (23) \quad P_v = \frac{Q_v \eta_v}{\sum_{i=1}^n \Omega_i q_i}, \quad (24)$$

$$\delta_\ell = \frac{\Omega_\ell}{\omega_\ell}, \quad (25) \quad \delta_\kappa = \frac{\Omega_\kappa}{\omega_\kappa}, \quad (26)$$

$$X_{kv} = \frac{\omega_{kv}}{\omega_\kappa}, \quad (27) \quad X_{lv} = \frac{\omega_{lv}}{\omega_\ell}, \quad (28)$$

$$x_i = \frac{\omega_i}{\Omega_i}, \quad (29) \quad b_i = \frac{A_i}{\Omega_i U_i} + x_i - 1, \quad (30)$$

где  $\omega_{iv}$  — поливное задание по  $i$ -ой культуре при  $v$ -ом ограничении водопотребления;

$\omega'_{iv}, \omega_{lv}$  и  $\omega_{kv}$  — то же для второстепенных и севооборотных



культур соответственно.

Решение (11-14) — задача нелинейного программирования. При решении методами нелинейного программирования [4] к целевой функции предъявляется требование вогнутости или выпуклости и дифференцируемости по переменным. Для решения этой задачи весьма приемлемо применение поисковых методов оптимизации. Случайный поиск в некоторых случаях [5,6] более эффективен, чем градиентные методы. Метод случайного поиска не предъявляет существенных требований ни к виду множества параметров, ни к виду зависимостей, связывающих выбираемые параметры с оптимизируемым критерием и ограничением.

Решение задачи (11-14) осуществляется двумя этапами. На первом поливные площади остаются равными их плановым значениям, уровень водопотребления снижается. В этом случае алгоритм решения принимает следующий вид:

целевая функция

$$g + \sum_{i=1}^n d_i y_{iv} \rightarrow \max, \quad (31)$$

ограничения по водным ресурсам

$$\sum_{i=1}^n d_i z_{iv} = P_v, \quad (32)$$

ограничения по производству второстепенных культур

$$x_i y'_{iv} \geq b_i, \quad (33)$$

ограничения по минимальному водопотреблению сельхозкультур

$$z_{imin} \leq z_{iv} \leq 1, \quad (34)$$

где

$$z_{imin} = \begin{cases} \sqrt{\frac{a_i - 1}{a_i}}, & \text{при } a_i > 1, \\ 0, & \text{при } a_i \leq 1. \end{cases} \quad (35)$$

Алгоритм решения модели на втором этапе:  
целевая функция



$$g + \sum_{i=1}^n \lambda_i x_{iv} \rightarrow \max, \quad (36)$$

ограничения по водным ресурсам

$$\sum_{i=1}^n v_i x_{iv} = \bar{v}_v, \quad (37)$$

ограничения по структуре севооборотов

$$\delta_\ell x_{kv} - \delta_k x_{\ell v} = \delta_\ell - \delta_k, \quad (38)$$

ограничения по производству второстепенных культур

$$\mu_i x'_{iv} \geq \bar{b}_i, \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad (39)$$

где.

$$\lambda_i = \alpha_i y_{i \min}, \quad (40)$$

$$y_{i \min} = -1,07 \alpha_i (z_{i \min} - 1)^2 + 1, \quad (41)$$

$$v_i = \beta_i z_{i \min}, \quad (42)$$

$$\bar{v}_v = P_v - \sum_{i=1}^n z_{i \min} (\alpha_i - \beta_i), \quad (43)$$

$$\mu_i = \gamma_i y_{i \min}. \quad (44)$$

Остальные обозначения идентичны предыдущим.

Задача (11-14), разделенная на две части (31-35, 36-39), решена методом случайного поиска [7,8] по программе, составленной на языке программирования АЛГОЛ-60 на ЭВМ БЭСМ-6.

### Л и т е р а т у р а

1. Мирзаев Н.Н. Расчётный способ построения связей "урожай-оросительная норма" для оптимизации планов водопользования. Сб. научных трудов САНИИРИ, вып. 158, Ташкент, 1979.
2. Расчётные значения оросительных норм сельскохо-



зайственных культур в бассейнах рек Сырдарьи и Амударьи. Ташкент, 1970.

3. Е р е м е н к о В.Е. Принципы дифференциации режима орошения и техника полива хлопчатника. В сб. "Биологические основы орошаемого земледелия". М., "Наука", 1967.
4. Э р р о у К.Д., Г р в и ц Л., У д з а в а Х. Исследования по линейному и нелинейному программированию. М., ИЛ, 1962.
5. Р а с т р и г и н Л.А. Статистические методы поиска. М., "Наука", 1968.
6. А л г о р и т м ы и программы случайного поиска. Под редакцией Л.А.Растригина. Рига, "Знание", 1970.
7. П и с к о р с к и й Л.Ф. Алгоритмы ГП-2 и ГП-3 глобальной оптимизации многопараметрических функций методом случайного поиска. "Вопросы вычислительной математики и прикладной математики", вып.20, Ташкент, "Фан", 1973.
8. П и с к о р с к и й Л.Ф. Программа нахождения глобального экстремума функции многих переменных. Сб. научных трудов ИК с ВЦ АН УзССР. "Алгоритмы и программы", вып.12, Ташкент, 1973.
9. Б о ч а р и н А.В., М и р з а е в М.И. Принципы оперативной корректировки планов водораспределения при дефиците оросительной воды. Тезисы докладов республиканского совещания по исследованиям, проектированию и эксплуатации АСУ в сельском и водном хозяйстве. Ташкент, 1978.
10. Б о ч а р и н А.В., М и р з а е в М.И. Принципы и методы осуществления оперативного водораспределения в условиях дефицита оросительной воды. Доклады ХП Европейской Региональной конференции МКИД. Югославия, Дубровник, 1979.



Н.Н.МИРЗАЕВ, инженер  
(САНИИРИ им.В.Д.ЖУРИНА)

## К ВОПРОСУ О ЗАВИСИМОСТИ УРОЖАЙНОСТИ ХЛОПЧАТНИКА ОТ СНИЖЕНИЯ ОРОСИТЕЛЬНОЙ НОРМЫ

Интерес к вопросам установления зависимости урожая сельхозкультур от различных факторов и, в частности, от водопотребления усилился в связи с проблемой рационализации использования оросительной воды в условиях ее дефицита и развитием идей программирования урожая.

При этом исследования ведутся в трех направлениях:

- проведение специально поставленных экспериментов по ущемлению сельхозкультур в оросительной воде;
- математическая обработка существующей информации по режиму орошения сельхозкультур методом корреляционно-регрессионного анализа;
- построение динамических моделей формирования урожая сельхозкультур. Модели представляют собой систему дифференциальных уравнений.

Особенность существующей опытной информации в том, что исследователи задавались целью определения биологической оросительной нормы (нетто), при которой урожайность достигает максимума. В силу этого подавляющая часть данных по оросительной норме лежит в стационарной области (рис.1).

Чрезвычайно редки случаи, когда данные одного опыта охватывают как стационарную, так и лимитирующую и ингибирующую области. Но в тех опытах, когда такой случай имеет место, как правило, различаются прочие факторы (норма удобрений, густота стояния и т.д.), что обуславливает сильнейший разброс опытных точек на графике.

Нами был задуман многолетний мелкоделяночный опыт с хлопчатником для оценки влияния на его урожайность снижения оросительной нормы.

Опыт проводился в 1976 г. на научно-исследовательской станции по технике орошения (НИСТО), расположенной в Кали-

---

<sup>х</sup> В проведении опытов участвовал инж В.Л.Демихов.



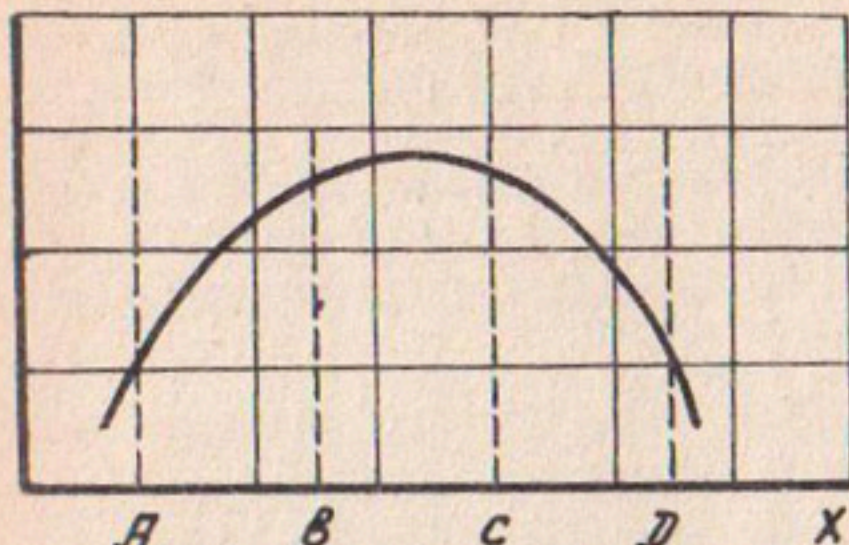


Рис.1. Типичная форма кривой однофакторной зависимости:

AB — лимитирующая область

BC — стационарная область

CD — ингибирующая область

нинском районе Ташкентской области.

Почвы участка относятся к типичным сероземам, по механическому составу — к средним суглинкам, незасоленные. Грунтовые воды залегают ниже 10 м от поверхности земли.

Поливы на опытных вариантах проводились по схеме 2-3-0, на контрольных делянках — по режиму, осуществляемому в производственных условиях. Для учета подаваемой и сбрасываемой воды использовались водосливы Томсона.

Из-за ограниченности площади участка, отведенного под опыт, удалось рассмотреть лишь четыре варианта оросительных норм:

вариант 1 — 7000 м<sup>3</sup>/га

вариант 2 — 6000 —

вариант 3 — 5000 —

вариант 4 — 4000 —

контроль

Повторность трехкратная. Размещение делянок в опыте показано на рис.2.

Агротехнические мероприятия на всех опытных делянках осуществлялись в одинаковые сроки, а культивация — по мере «поспевания» почв на вариантах. Удобрения вносились три раза: перед первым, вторым и третьим поливами хлопчатника «Ташкент-1» (соответственно, 250 кг/га аммиачной селитры, 300 кг/га аммофоса, 250 кг/га аммиачной селитры).

В качестве контроля до и после полива отбирались пробы на влажность корнеобитаемого слоя почвы. Фенологические наблюдения проводились 1 и 15 числа каждого месяца.

Сбор урожая осуществлялся вручную, фиксировался уро-



| I |   |   |   | II |   |   |   | III |   |   |   |
|---|---|---|---|----|---|---|---|-----|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 1  | 2 | 3 | 4 | 1   | 2 | 3 | 4 |
|   |   |   |   |    |   |   |   |     |   |   |   |

Рис.2. Схема размещения делянок в опыте.

жай только с учетных борозд.

Результаты опыта приведены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

| Показатель                   | : Номер варианта |       |       |       | : Контроль |
|------------------------------|------------------|-------|-------|-------|------------|
|                              | 1                | 2     | 3     | 4     |            |
| Схема поливов                | 2-3-0            | 2-3-0 | 2-3-0 | 2-3-0 | 2-2-0      |
| Поливные нормы:              |                  |       |       |       |            |
| 1 полив                      | 1000             | 1000  | 800   | 600   | 1000       |
| 2 " "                        | 1200             | 1100  | 1000  | 900   | 1150       |
| 3 " "                        | 1700             | 1400  | 1200  | 1000  | 1870       |
| 4 " "                        | 1600             | 1300  | 1000  | 800   | 1650       |
| 5 " "                        | 1500             | 1200  | 1000  | 700   | -          |
| Оросительная норма,<br>м /га | 7000             | 6000  | 5000  | 4000  | 5670       |
| Доморозный урожай,<br>ц/га   | 35,5             | 35,8  | 31,3  | 28,0  | 28,0       |
| Общий урожай, ц/га           | 37,9             | 37,3  | 32,5  | 28,5  | 33,0       |
| Доморозный урожай, %         | 93,7             | 96,0  | 96,3  | 98,2  | 85,0       |
| Затраты воды, м /ц           | 195,0            | 161,0 | 154,0 | 140,4 | 172,0      |

Сравнительно низкий урожай на контрольном варианте, по-видимому, можно объяснить не совсем удачной схемой поливов (2-2-0).

Математическая обработка урожайных данных, проведен-



ная дробным методом и методом исправленных отклонений, показала, что точность средних арифметических значений урожайности по вариантам и точность опыта в целом находятся в пределах, допустимых для полевых исследований [1].

По опытным данным методом наименьших квадратов получено уравнение

$$Y = -0,84 M^2 + 12,54 M - 8,46, \quad (1)$$

где  $Y$  — урожайность хлопчатника, ц/га;

$M$  — оросительная норма, тыс. м /га.

Корреляционное отношение ( $\eta$ ) равно 0,95.

Так как выборка небольшая ( $n = 12$ ), для оценки существенности корреляционного отношения воспользуемся преобразованием Фишера.

Полученному значению  $\eta$  соответствует преобразование Фишера  $Z = 1,8318$ .

Средняя ошибка:  $\sigma_z = \frac{1}{\sqrt{n-3}} = \frac{1}{\sqrt{12-3}} = 0,3333$

$$t = \frac{Z}{\sigma_z} = \frac{1,8318}{0,3333} = 5,5$$

Следовательно, полученное в выборке значение  $\eta$  не случайно: между урожайностью и оросительной нормой существует корреляционная связь:  $y = f(M)$  (рис. 4).

Методическая погрешность опыта (3-кратная повторность опыта вместо 4-кратной), а также ограниченность количества рассмотренных вариантов, безусловно, снижает ценность опыта и полученного уравнения. Однако следует отметить, что это уравнение, на наш взгляд, логически правильно отражает зависимость урожайности хлопчатника от оросительной нормы для условий автоморфных почв.

Чтобы убедиться в этом, в основу расчетного способа, предложенного в работе [2], вместо уравнения

$$Y = -66 \cdot 10^{-8} M^2 + 0,01144 M - 3,33 \quad (2)$$

(здесь  $M$  — оросительная норма, м /га)

проведем кривую (1).

Напомним, что основное расчетное уравнение имеет вид:

$$Z = -\alpha(t-1)^2 + 1, \quad (3)$$



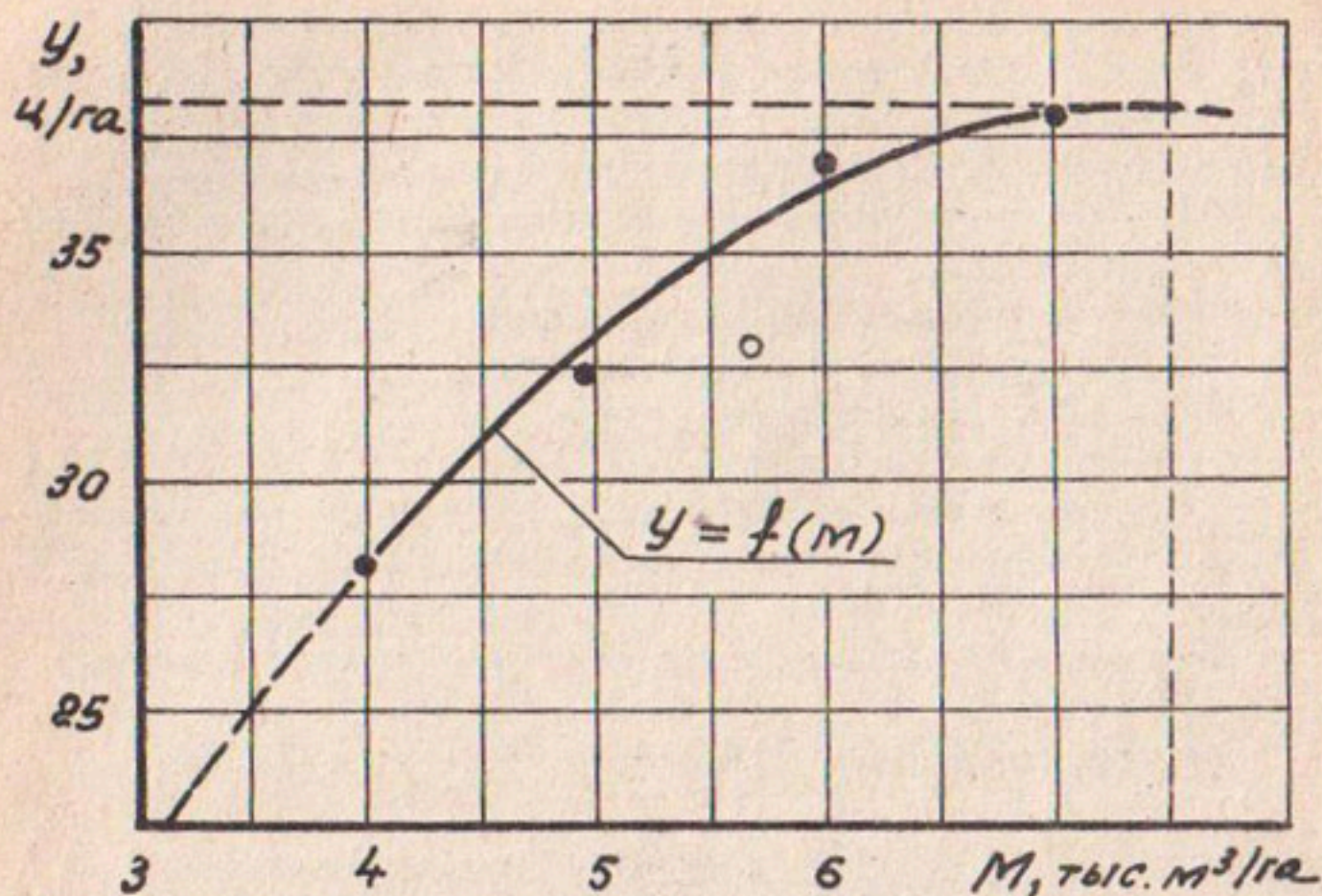


Рис.3. Кривая зависимости урожайности хлопчатника от оросительной нормы.

● — опытные точки, ○ — контрольная точка.

где  $z = y/y_{max}, t = M/M_{opt}$ .

Параметр  $\alpha$  определяется по формуле

$$\alpha = \alpha_1 \beta^2,$$

где  $\alpha_1$  — величина, зависящая от вида уравнения, положенного в основу метода;

$\beta$  — коэффициент, зависящий от вида культуры, гидрогеологического района и климатической зоны.

Для уравнения (2) было установлено, что

$$\alpha_1 = 1,07.$$

Чтобы определить значение  $\alpha_1$  для зависимости (1), сделаем некоторые элементарные математические преобразования.

Квадратичное уравнение применительно к нашей задаче можно представить в виде:



$$y = -\alpha (M - M_{onm})^2 + y_{max}. \quad (5)$$

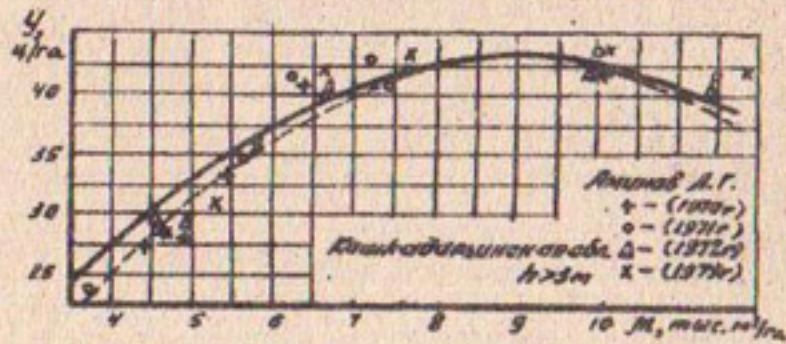
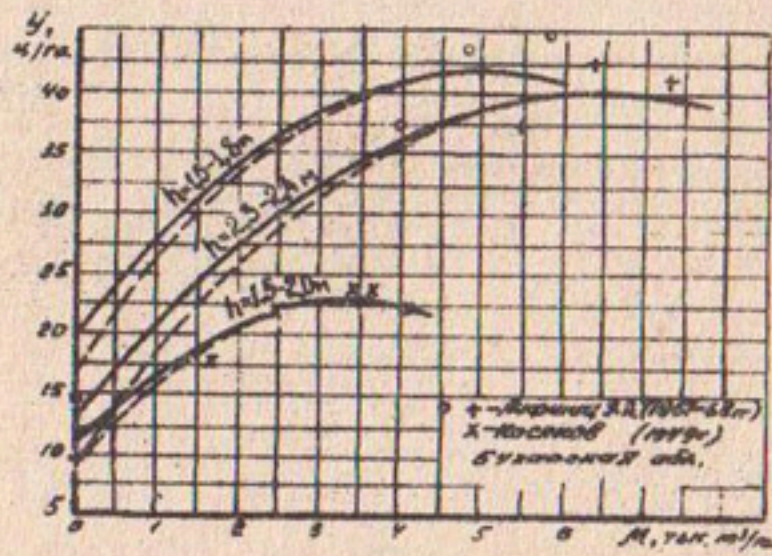
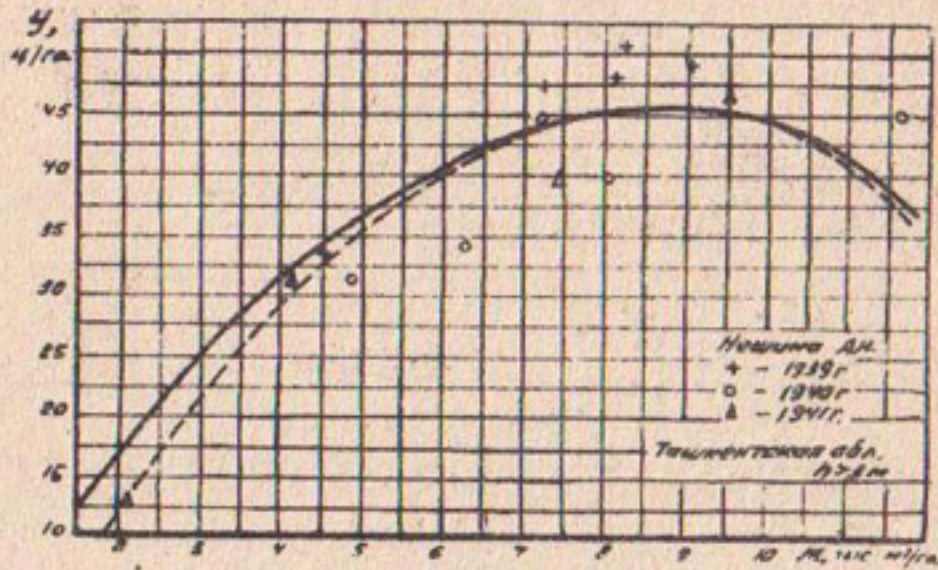


Рис. 4. Графики расчётных связей  $y = f(M)$ .



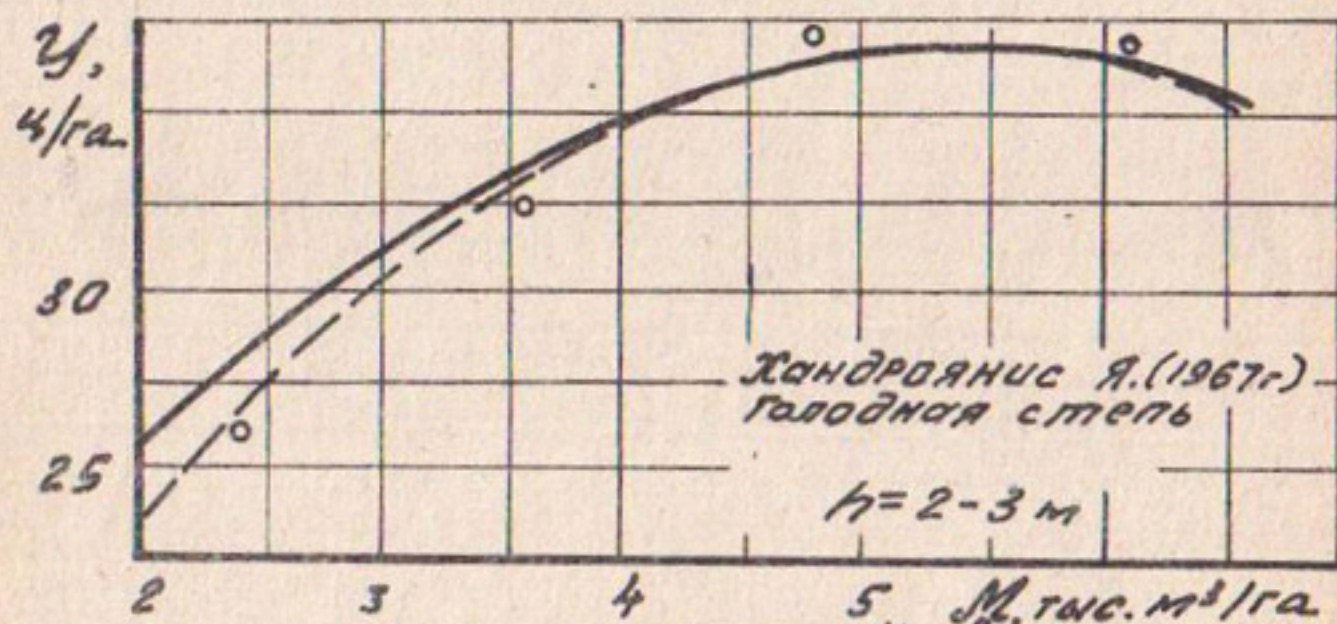
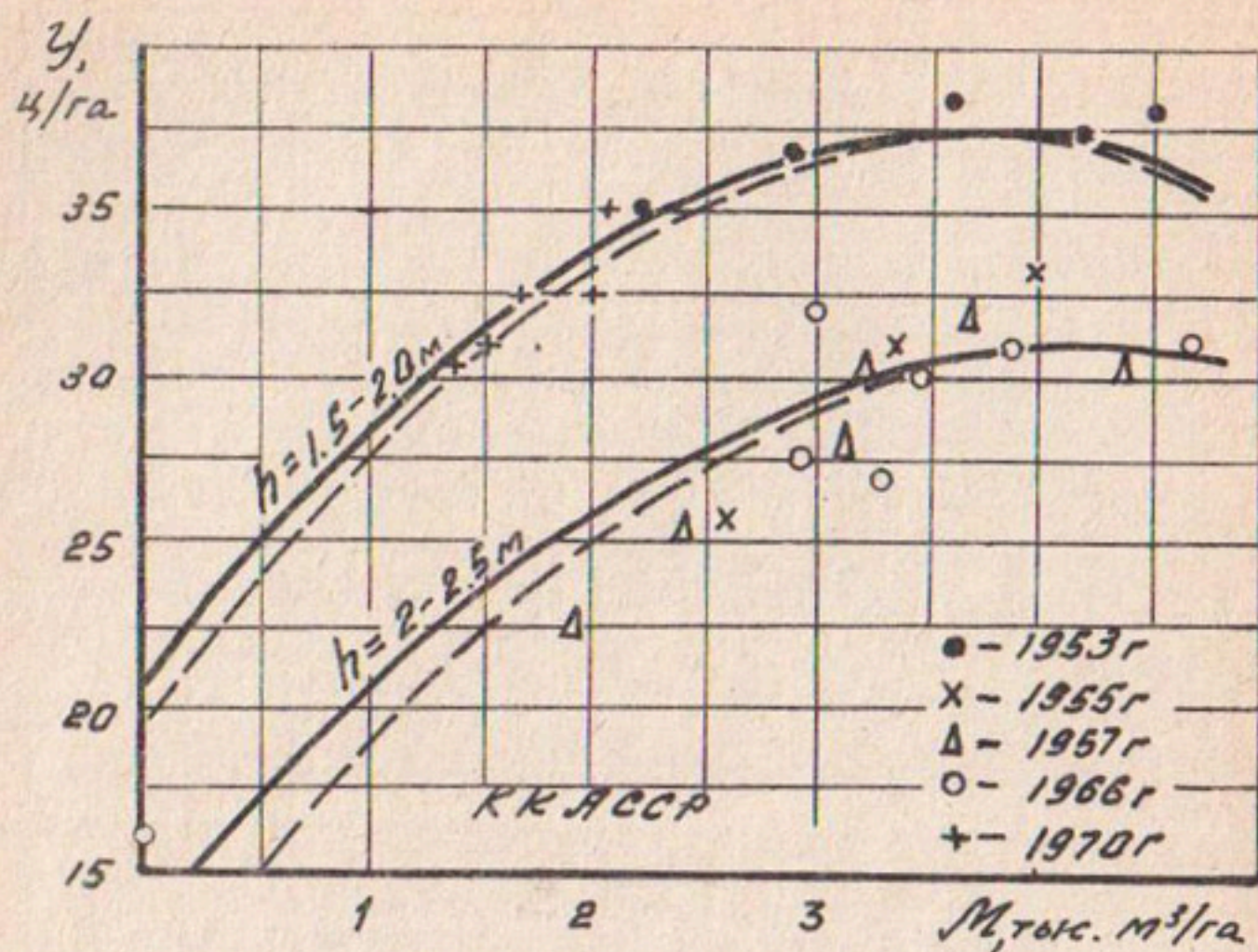


Рис.5. Графики расчётных связей  $y = f(M)$ .



Тогда

$$\frac{y}{y_{\max}} = - \frac{\alpha M_{\text{опт}}^2}{y_{\max}} \left( \frac{M}{M_{\text{опт}}} - 1 \right)^2 + 1. \quad (6)$$

В силу идентичности формул (3) и (6)

$$\alpha = \frac{\alpha M_{\text{опт}}^2}{y_{\max}}. \quad (7)$$

Подставляя значения  $M_{\text{опт}}$  и  $y_{\max}$  уравнения (1) в формулу (7), получаем  $\alpha_1 = 1,23$ .

На рис. 4 и 5 приведены некоторые расчётные графики связей  $y = f(M)$  для хлопчатника при  $\alpha_1 = 1,07$  (сплошная линия) и  $\alpha_1 = 1,23$  (пунктирная линия).

О высокой тесноте расчётных связей говорят значения корреляционных отношений ( $\eta$ ), приведенных в табл. 2. Причем, при  $\alpha_1 = 1,23$  расчётные кривые лучше аппроксимируют опытные точки, чем при  $\alpha_1 = 1,07$ .

Т а б л и ц а 2

| Исполнитель опыта: Глубина залегания:<br>грунтовых вод, м |         |                   |                   |
|-----------------------------------------------------------|---------|-------------------|-------------------|
|                                                           | (h)     | $\alpha_1 = 1,07$ | $\alpha_1 = 1,23$ |
| Нешина А.Н.                                               | 3       | 0,90              | 0,913             |
| Лифшиц Э.А. и др.                                         | 1,5-1,8 | 0,942             | 0,965             |
| " " "                                                     | 2,3-2,4 | 0,981             | 0,987             |
| Косяков ?                                                 | 1,5-2,0 | 0,868             | 0,906             |
| Аминов А.Г.                                               | 3       | 0,92              | 0,94              |
|                                                           | 2-2,5   | 0,874             | 0,843             |
|                                                           | 1,5-2,0 | 0,965             | 0,951             |
| Хандроянис Я.                                             | 2-3     | 0,955             | 0,987             |

Разброс точек в стационарной области понятен: воды достаточно и рост урожайности лимитирован уже другими факторами (норма удобрений, сумма эффективных температур и т.д.).

По закону минимума влияние оросительной нормы на урожайность должно достаточно четко прослеживаться в лимитированной области. Как известно, при построении расчётных связей мы отталкиваемся от единственной точки ( $y_{\max}, M_{\text{опт}}$ ). И то обстоятельство, что опытные точки, находящиеся в зоне



ущемленного водопотребления, как правило, близко ложатся к расчётной кривой, свидетельствует о логической верности расчётного способа, а также кривой, положенной в основу расчётов.

Графики приведены лишь для хлопчатника, но изложенное выше справедливо и для прочих сельхозкультур.

### Л и т е р а т у р а

1. М е т о д и к а проведения полевых и вегетационных опытов. Ташкент, 1973.
2. М и р з а е в Н.Н. Расчётный способ построения связей "урожай — оросительная норма" для оптимизации планов водопользования. Сб. научн. трудов, вып. 158, Ташкент, САНИИРИ, 1979.

Х.А.ИРМУХАМЕДОВ, канд. техн. наук  
Н.ВАЛИЕВ, аспирант

(САНИИРИ им. В.Д.ЖУРИНА)

### К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ПОПЕРЕЧНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ СКОРОСТИ ПОТОКА НА УЧАСТКЕ ДЕЙГИША р.АМУДАРЬЯ

На р.Амударья часто происходит одна из форм русловых деформаций — интенсивный размыв берегов — дейгиш /4,5/.

Интенсивность дейгиша тесно связана с основными параметрами подходного русла и зависит от величин гидравлических элементов и кинематических характеристик сваливающегося к берегу потока.

На участке дейгиша происходит искривление потока и возникает интенсивная поперечная циркуляция, которая способствует интенсивному размыву берега и вызывает поперечное перемещение наносов в русле.

Перераспределение скоростей по вертикали и появление поперечных составляющих скоростей на участке дейгиша приводят к изменению распределения по сечению движущихся в потоке наносов и повышению транспортирующей способности потока /1,4,5/.

Интенсивность поперечной циркуляции можно оценить путем распределения поперечных составляющих скоростей потока



по глубине и ширине русла.

Для определения поперечных составляющих скоростей воспользуемся уравнением двухразмерного турбулентного движения на повороте русла, предложенным В.М.Маккавеевым /3/ и И.Л.Розовским /7/

$$\frac{\partial}{\partial \eta} \left( \nu_{\tau} \frac{\partial v_2}{\partial \eta} \right) = h^2 \left( g v_1 - \frac{v_0^2}{r} \right). \quad (1)$$

Для решения этого уравнения необходимо учесть определенную закономерность распределения продольных скоростей  $v_0$  и коэффициент турбулентной вязкости по вертикали  $\nu_{\tau}$ .

Для условий р.Амударья А.М.Мухамедовым и Т.Жураевым /6/ получены коэффициенты и параметры закономерности распределения скоростей по вертикали.

Распределение осредненных продольных скоростей по глубине потока определяется по формулам следующего вида: эллиптического

$$v_0 = 1,124 v_{cp} \sqrt{1 - 0,58(1-\eta)^2} \quad (2)$$

параболического

$$v_0 = v_{cp} [1,12 - 0,36(1-\eta)^2] \quad (3)$$

показательного

$$v_0 = 1,12 v_{cp} \eta^{0,12} \quad (4)$$

логарифмического

$$v_0 = v_{cp} \left[ 1 + \frac{\sqrt{g}}{K_v C} (1 + \ln \eta) \right] \quad (5)$$

Здесь  $K_v$  — параметр Кармана определяется по зависимости /6/

$$K_v = \frac{5,4}{1 + \frac{C}{\sqrt{g}}} + 0,15. \quad (6)$$

Значение коэффициента турбулентной вязкости  $\nu_{\tau}$  находим по следующим зависимостям:  
при эллиптическом законе распределения скоростей по вертикали



$$\gamma_T = \frac{gh \bar{v}_{cp}^2}{c^2 \frac{\partial \bar{v}_\theta}{\partial \eta}} = 1,54 \frac{gh \bar{v}_{cp}}{c^2} \sqrt{1 - 0,58(1-\eta)^2} \quad (7)$$

для параболического вида

$$\gamma_T = \frac{gh \bar{v}_{cp}}{2mC} = \frac{gh \bar{v}_{cp}}{0,72 C^2}, \quad (8)$$

где  $m = 0,36 C$  — для условий р.Амударья [6]  
для показательного вида

$$\gamma_T = \frac{gh \bar{v}_{cp}}{c^2 \frac{\partial \bar{v}_\theta}{\partial \eta}} = 7,4 \frac{g \bar{v}_{cp} h}{c^2} \eta^{0,88} (1-\eta) \quad (9)$$

при логарифмическом законе распределения скоростей

$$\gamma_T = K_v h \bar{v}_{cp} \frac{\sqrt{g}}{c} \eta (1-\eta). \quad (10)$$

Величина поперечного уклона  $J_z$  в уравнении (1) определяется с помощью формулы

$$J_z = \int_0^1 \frac{\bar{v}_\theta^2}{g \bar{v}} d\eta. \quad (11)$$

По рекомендации И.Л.Розовского [7] для каждого конкретного случая необходимо выбрать тот или иной закон распределения скоростей по вертикали и подобрать параметры различных формул.

Рассмотрим результаты применения вышеуказанных законов распределения скоростей и коэффициентов турбулентной вязкости по вертикали при определении поперечных составляющих скорости  $\bar{v}_z$  на повороте потока для условий р.Амударья.

При эллиптическом законе распределения скоростей по вертикали по выражениям (2) и (11) находим значения  $J_z$

$$J_z = \int_0^1 \frac{\bar{v}_\theta^2}{g \bar{v}} d\eta = \frac{\bar{v}_{cp}^2}{g \bar{v}_0} \int_0^1 \left\{ 1,263 [1 - 0,58(1-\eta)^2]^2 \right\} d\eta.$$

Интегрируя, получим

$$J_z = 1,02 \frac{\bar{v}_{cp}^2}{g \bar{v}}. \quad (12)$$



Подставляя значения  $\bar{v}_\theta$  из (2) и  $\bar{J}_z$  из (12) в исходное уравнение (1), получаем

$$\frac{\partial}{\partial \eta} \left( \gamma_r \frac{\partial \bar{v}_z}{\partial \eta} \right) = \frac{h^2 \bar{v}_{cp}^2}{z} \left\{ 1,02 - 1,263 \left[ 1 - 0,58(1-\eta)^2 \right] \right\}.$$

Первичным интегрированием находим

$$\gamma_r \frac{\partial \bar{v}_z}{\partial \eta} = \frac{h^2 \bar{v}_{cp}^2}{z} \left[ 1,02 \eta - 1,263 \eta - \frac{0,73}{3} (1-\eta)^3 \right] + C_1, \quad (13)$$

здесь произвольное интегрирование  $- C_1$  определяется из условия, что трение на свободной поверхности равно нулю [7/

$$\gamma_r \frac{\partial \bar{v}_z}{\partial \eta} \Big|_{\eta=1} = 0. \quad (14)$$

При значении  $\eta = 1,0$  из (13) получим  $C_1 = 0,243$ . Уравнение (13) с учетом  $C_1 = 0,243$  и после подстановки значения  $\gamma_r$  из (7) выражается

$$\frac{\partial \bar{v}_z}{\partial \eta} = 0,15 \frac{h C^2 \bar{v}_{cp}}{g z} \int \frac{(1-\eta) - (1-\eta)^3}{\sqrt{1-0,58(1-\eta)^2}} d\eta.$$

Подинтегральное выражение определяем с помощью таблицы интегралов из работы [8/

$$\bar{v}_z = 0,96 \frac{h C^2 \bar{v}_{cp}}{g z} \left\{ \frac{1}{3} \left[ \sqrt{1-0,58(1-\eta)^2} - 0,42 \sqrt{1-0,58(1-\eta)^2} \right] \right\} + C_2. \quad (15)$$

Произвольное интегрирование  $- C_2$  определяется из условия, что полный расход поперечного сечения через вертикали равен нулю [7/

$$\int_0^h \bar{v}_z \cdot d\eta = 0. \quad (16)$$

Для нахождения значения  $C_2$  интегрируем выражения (15) с учетом условия (16)

$$\int_0^h \bar{v}_z d\eta = 0,96 \frac{h C^2 \bar{v}_{cp}}{g z} \left\{ \frac{1}{3} \left\{ - \frac{1}{\sqrt{0,58}} \left[ \frac{8}{3} \arcsin \sqrt{0,58(1-\eta)} + \right. \right. \right.$$



$$+ \frac{1}{2} \sqrt{0,58} (1-\eta) \sqrt{1-0,58(1-\eta)^2} + \frac{1}{8} \sqrt{0,58} (1-\eta) \times \\ \times \sqrt{1-0,58(1-\eta)^2} [1-1,06(1-\eta)^2] \Big\} - \frac{1}{\sqrt{0,58}} \Big\{ \frac{1}{2} \arcsin \sqrt{0,58} \times \\ \times (1-\eta) + \frac{1}{2} \sqrt{0,58} (1-\eta) \sqrt{1-0,58(1-\eta)^2} \Big\}.$$

В пределах от  $\eta = 0$  до  $\eta = 1$  получим

$$0 = 0,96 \frac{h C^2 \bar{v}_{cp}}{g \tau} \Big\{ \Big[ \frac{1}{8} \frac{\arcsin \sqrt{0,58}}{\sqrt{0,58}} + \frac{1}{6} \sqrt{1-0,58} + \frac{1}{24} \sqrt{1-0,58} \times \\ \times (1-1,06) - \frac{1}{2} (1-0,58) \Big[ \sqrt{1-0,58} + \frac{\arcsin \sqrt{0,58}}{\sqrt{0,58}} \Big] \Big\} + C_2.$$

Отсюда находим значение  $C_2 = 0,13$ .

Подставляя значение  $C_2$  в уравнение (15), получим конечную зависимость для определения поперечной составляющей скорости при эллиптическом законе распределения продольной скорости по вертикали в виде

$$\bar{v}_z = 0,96 \frac{h \cdot C^2 \bar{v}_{cp}}{g \tau} \Big\{ \frac{1}{3} \Big[ \sqrt{1-0,58(1-\eta)^2} \Big]^3 - \\ - 0,42 \sqrt{1-0,58(1-\eta)^2} + 0,13 \Big\}. \quad (17)$$

Обозначим выражение в скобках через функцию  $\varphi(\eta)$ , которая имеет следующие значения:

|                 |   |      |   |       |   |       |   |        |   |        |   |        |
|-----------------|---|------|---|-------|---|-------|---|--------|---|--------|---|--------|
| $\eta$          | : | 1    | : | 0,8   | : | 0,6   | : | 0,4    | : | 0,2    | : | 0      |
| $\varphi(\eta)$ |   | 0,04 |   | 0,036 |   | 0,018 |   | -0,009 |   | -0,037 |   | -0,051 |

При параболическом законе распределение скоростей по вертикали  $\bar{v}_0$  по (3) и значения  $\bar{v}_r$  по (9), решая уравнение (1) аналогичным образом, получим зависимость для поперечной составляющей скорости в виде



$$\bar{v}_z = 0,72 \frac{h C^2 \bar{v}_c}{z g} \left[ 0,055 - 0,242 (1-\eta)^2 + 0,134 (1-\eta)^4 - 0,0086 (1-\eta)^6 \right]. \quad (18)$$

Функция  $\varphi(\eta)$  имеет следующие значения:

|                 |   |       |   |       |   |       |   |        |   |        |   |        |
|-----------------|---|-------|---|-------|---|-------|---|--------|---|--------|---|--------|
| $\eta$          | : | 1     | : | 0,8   | : | 0,6   | : | 0,4    | : | 0,2    | : | 0      |
| $\varphi(\eta)$ |   | 0,055 |   | 0,045 |   | 0,019 |   | -0,015 |   | -0,047 |   | -0,062 |

При показательном законе распределения скоростей  $\bar{v}_0$  по (4), а коэффициента турбулентной вязкости по (9) решение уравнения дает следующий вид зависимости для определения  $\bar{v}_z$

$$\bar{v}_z = \frac{1,1 \bar{v}_{op} h C^2}{z g} \left[ \frac{\eta^{0,36}}{3} - \eta^{0,12} + \frac{1}{4\sqrt{2}} \ln \frac{\eta^{0,24} + \sqrt{2} \eta^{0,12} + 1}{\eta^{0,24} - \sqrt{2} \eta^{0,12} + 1} + \frac{1}{2} \operatorname{arctg} \eta^{0,12} - 0,02 \right]. \quad (19)$$

Функция  $\varphi(\eta)$  имеет следующие значения:

|                 |   |       |   |       |   |        |   |        |   |         |   |         |
|-----------------|---|-------|---|-------|---|--------|---|--------|---|---------|---|---------|
| $\eta$          | : | 1     | : | 0,8   | : | 0,6    | : | 0,4    | : | 0,2     | : | 0       |
| $\varphi(\eta)$ |   | 0,016 |   | 0,013 |   | 0,0044 |   | -0,004 |   | -0,0101 |   | -0,0196 |

При логарифмическом законе распределения скоростей по глубине потока, используя исходное уравнение (1), коэффициент турбулентного обмена по (10) и параметр Кармана по выражению (6), для оценки значения  $\bar{v}_z$  воспользуемся формулой И.Л.Розовского [7]

$$\bar{v}_z = \frac{1}{K_v^2} \bar{v}_c \frac{h}{z} \left[ f_1(\eta) - \frac{\sqrt{g}}{K_v C} f_2(\eta) \right]. \quad (20)$$

Функции  $f_1(\eta)$  и  $f_2(\eta)$  имеют следующие значения:

|             |   |      |   |      |   |      |   |       |   |       |   |       |
|-------------|---|------|---|------|---|------|---|-------|---|-------|---|-------|
| $\eta$      | : | 1    | : | 0,8  | : | 0,6  | : | 0,4   | : | 0,2   | : | 0,01  |
| $f_1(\eta)$ |   | 1,26 |   | 0,85 |   | 0,37 |   | -0,15 |   | -0,85 |   | -1,87 |
| $f_2(\eta)$ |   | 0,44 |   | 0,39 |   | 0,29 |   | -0,08 |   | -0,35 |   | -1,71 |



Для проверки полученных формул были использованы измерения, проведенные на р.Амударья на участке дейгиша в районе канала Клычбай, и экспериментальные данные, полученные на основании специально проведенных опытов по изучению кинематики потока при повороте русла при дейгише /2,5/.

Для сравнения выбрали вертикаль 1 в створе 15 /5/. Распределение поперечной составляющей скорости для этой вертикали приведено на рисунке.

Гидравлические элементы потока в створе 15 следующие:

$$Q = 1250 \text{ м}^3/\text{с} \quad B = 250 \text{ м} \quad \bar{v}_{cp} = 1,27 \text{ м/с}$$

$$h_{cp} = 3,93 \text{ м} \quad z = 510 \text{ м} \quad j = 0,00016$$

на вертикали 1

$$\bar{v}_{cp\delta} = 1,8 \text{ м/с} \quad h_{\delta} = 13,0 \text{ м.}$$

Находим значение  $C$

$$C = \frac{\bar{v}_{cp}}{\sqrt{h_{cp} \cdot j}} = \frac{1,27}{\sqrt{3,93 \cdot 0,00016}} = 50,8 \text{ м/с}^{0,5}$$

Из (6) находим значение  $K_v$

$$K_v = \frac{5,4}{1 + \frac{50,8}{\sqrt{9,81}}} + 0,15 = 0,46.$$

По зависимости (20) находим значение  $\bar{v}_z$  для вертикали 1

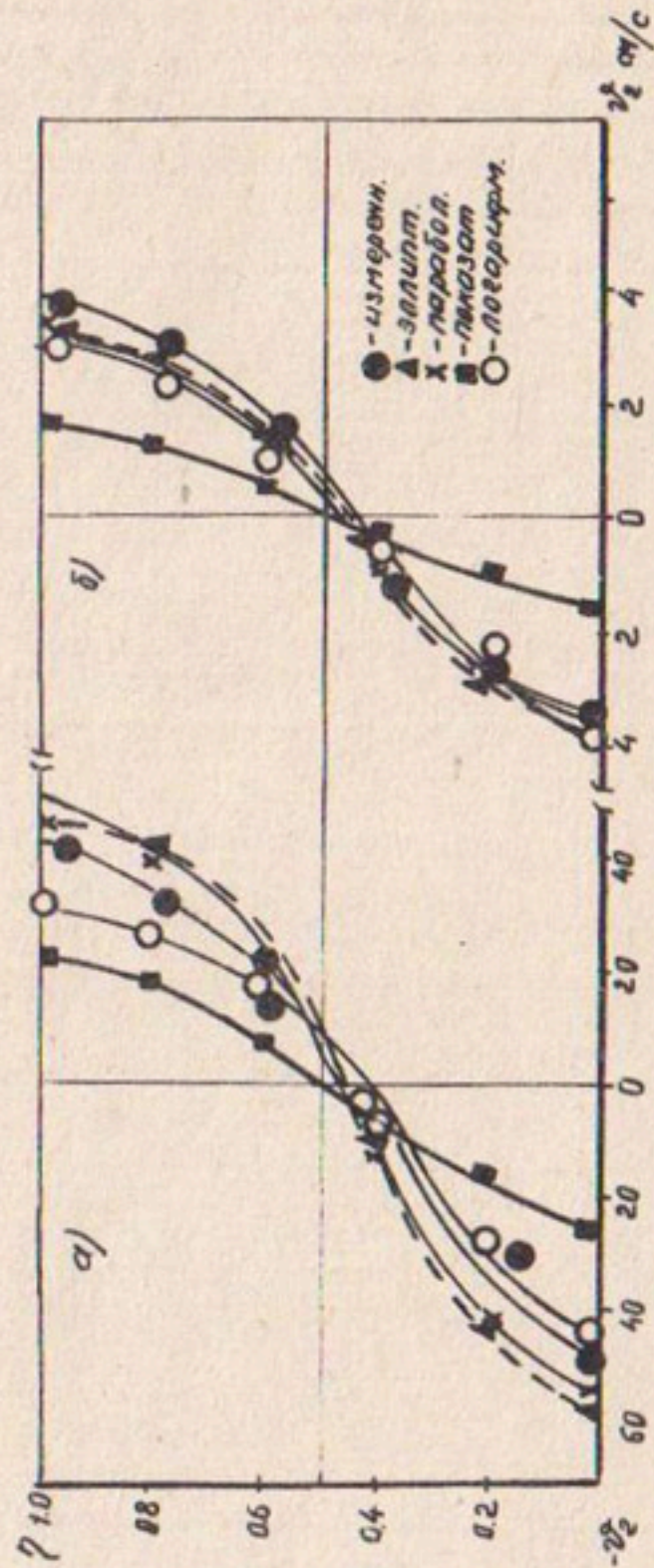
$$\bar{v}_z = \frac{1}{0,46^2} \frac{1,8 \cdot 13}{510} \left[ f_1(\eta) - \frac{\sqrt{9,81}}{0,46 \cdot 50,8} f_2(\eta) \right]$$

При значениях  $\eta = 0 \div 1$ , установив величины  $f_1(\eta)$  и  $f_2(\eta)$ , находим распределения поперечных составляющих скорости по вертикали, которые приведены на рисунке. Таким же путем по зависимостям (17,18,19) находим значения  $\bar{v}_z$  при различных законах распределения продольной скорости по вертикали. Вычисленные значения показаны на рисунке.

Аналогичным образом сопоставили формулы для других створов с экспериментальными данными /2,5/. Результаты показали, что эпюры скоростей отличаются по форме (см.рис.) и получаются количественно различные результаты.

Наиболее близкие результаты дают формулы (17,18,20) для  $\bar{v}_z$  при эллиптическом, параболическом и логарифмическом законах распределения скоростей по вертикали. Показательный





Сопоставление расчётных и измеренных значений поперечной скорости по вертикали ( $v_z$ ): а — натура, б — эксперимент.



закон дает, примерно, в 1,5-2,0 раза меньше значения  $V_z$ , чем измеренные в натуре и экспериментах.

Следовательно, для условий р.Амударья при дейгише значения поперечных составляющих скоростей необходимо определять по формулам (17,18,20). Это позволит установить интенсивность поперечной циркуляции потока и ее влияние на величину деформации русла, а также на процесс переноса наносов от размываемого берега /9/.

#### Л и т е р а т у р а

1. А б а л ь я н ц С.Х. Глубина размыва у берегозащитных креплений на Амударье, "Вопросы гидротехники", вып.27, Ташкент, "Наука", 1965.
2. И р м у х а м е д о в Х.А., К о г т е в а И.В. Некоторые результаты исследований структуры распределения скоростей в потоке на участке дейгиша. Труды САНИИРИ, вып.124, Ташкент, 1970.
3. М а к к а в е е в В.М. Распределение продольных и поперечных скоростей в открытых потоках. Труды ГТИ, вып.2 (56), Л., 1947.
4. М у х а м е д о в А.М. Некоторые особенности р.Амударья и причины размыва берегов (явление дейгиш). Труды САНИИРИ, вып.120, Ташкент, 1970.
5. М у х а м е д о в А.М., И р м у х а м е д о в Х.А., Т у з о в В.Е., К о г т е в а И.В. Некоторые результаты изучения гидравлических элементов и кинематики потока в зоне дейгиша. Труды САНИИРИ, вып.124, Ташкент, 1970.
6. М у х а м е д о в А.М., Ж у р а е в Т. Распределение осредненных продольных скоростей по глубине потока р.Амударья. Доклады ВАСХНИЛ, М., "Колос", 1973, № 5.
7. Р о з о в с к и й И.Л. Движение воды на повороте открытого потока. Киев, Изд. АН УССР, 1957.
8. Г р а д ш т е й н И.С., Р ы ж и к И.М. Таблицы интегралов, сумм, рядов и произведений. М., "Наука", 1971.
9. И р м у х а м е д о в Х.А., В а л и е в Н. К определению поперечного расхода наносов на участке дейгиша. "Изв. АН УзССР", сер.техн.наук, Ташкент, "Фан", 1980, № 4.



В.Н.МАШКОВ, канд.техн.наук

(САНИИРИ им.В.Д.ЖУРИНА)

## ИЗМЕНЕНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ НАСОСНЫХ АГРЕГАТОВ, РАБОТАЮЩИХ ПАРАЛЛЕЛЬНО НА ОДИН ДЛИННЫЙ ТРУБОПРОВОД, В ПЕРИОД ВКЛЮЧЕНИЯ НАСОСНОГО АГРЕГАТА

Работающие параллельно центробежные насосы на оросительных насосных станциях на напорной линии обычно имеют дисковые затворы. Насос запускается при закрытом дисковом затворе и при достижении номинального числа оборотов агрегата затвор начинает открываться. Если напорный трубопровод насосов имеет большую длину (как у насосных станций Джизакского каскада), то масса воды в нем будет обладать такой инерцией, которая может заметно влиять на изменение подачи насосов в период открытия дискового затвора, т.е. в период запуска их в работу.

Для определения времени полного открытия дискового затвора центробежных насосов, работающих параллельно на длинный общий трубопровод, по известной методике<sup>х</sup> можно вычислить величину повышения давления в начале трубопровода при различной скорости открытия затвора и затем выбрать такое время полного открытия его, при котором не нарушается нормальное направление движения жидкости в уже работающих насосах. Эти гидравлические расчёты производятся методом подбора, а это очень трудоемкая работа.

Однако определить время открытия дискового затвора без учета влияния гидравлического удара можно и другим, более простым способом. Рассмотрим совместную параллельную работу двух насосов на длинный трубопровод в момент подключения второго насоса. При работе одного из них рабочая точка (точка А, рис.1) находится в месте пересечения характеристики насоса О-Ня трубопровода  $Q = f(H_r + \sum h_w)$ .

Если бы у подключаемого насоса дисковой затвор откры-

---

<sup>х</sup> М о ш н и н Л.Ф., Т и м о ф е е в а Е.Т. "Указания по защите трубопроводов от гидравлического удара". М., 1961.



вался мгновенно, то совместной рабочей точкой двух параллельно работающих насосов оказалась бы точка С (рис.1). Ввиду того, что скорость воды в длинном трубопроводе измениться мгновенно не может, по мере возрастания скорости движения воды в трубопроводе, двигаясь вправо по совместной характеристике насосов, рабочая точка переместилась бы в точку В. Если бы дисковый затвор подключаемого насоса открывался бесконечно медленно, то рабочая точка двух насосов переместилась бы из точки А в точку В по  $Q = f(H_r + \sum h_w)$ . Очевидно, что при каком-то конечном времени открытия дискового затвора траектория перемещения рабочей точки двух насосов из точки А в точку В будет заключена между этими кривыми, т.е. между АСВ и АВ.

Для нахождения точек на поле  $O - H$ , через которые проходит траектория совместной рабочей точки, построим совместные характеристики работающего и подключаемого насоса при различных углах открытия дискового затвора подключаемого насоса (например для  $\alpha = 10^\circ; 20^\circ; 30^\circ$  и т.д. до  $90^\circ$ ).

Предположим, что у подключаемого насоса в начале рассматриваемого периода дисковый затвор был закрыт полностью, а в конце периода открыт на угол  $\alpha$ , (рис.1). Если бы открытие дискового затвора на угол  $\alpha$ , произошло мгновенно, то рабочая точка переместилась бы по вертикали на совместную характеристику двух насосов, у одного из которых дисковый затвор открыт полностью, а у другого на угол  $\alpha$ , (точка N на рис.1).

Однако дисковый затвор открывается не мгновенно, и за время его открытия на угол  $\alpha$ , скорость движения потока воды возрастает и подача насосов увеличивается, предположим, на  $\Delta Q$ , (рис.1) до величины, соответствующей точке F.

При работе одного насоса в рабочей точке А (рис.1) движение воды в трубопроводе установившееся. Если же рабочая точка при параллельной работе двух насосов перемещается в точку F, то вследствие возникшего повышения давления в начале общего трубопровода (численно равного  $FR$ ; см. рис.1), на массу воды в нем будет действовать дополнительная сила, увеличивающая скорость ее движения.

Предположим, что давление в начале трубопровода за время открытия дискового затвора на угол  $\alpha$ , изменялось



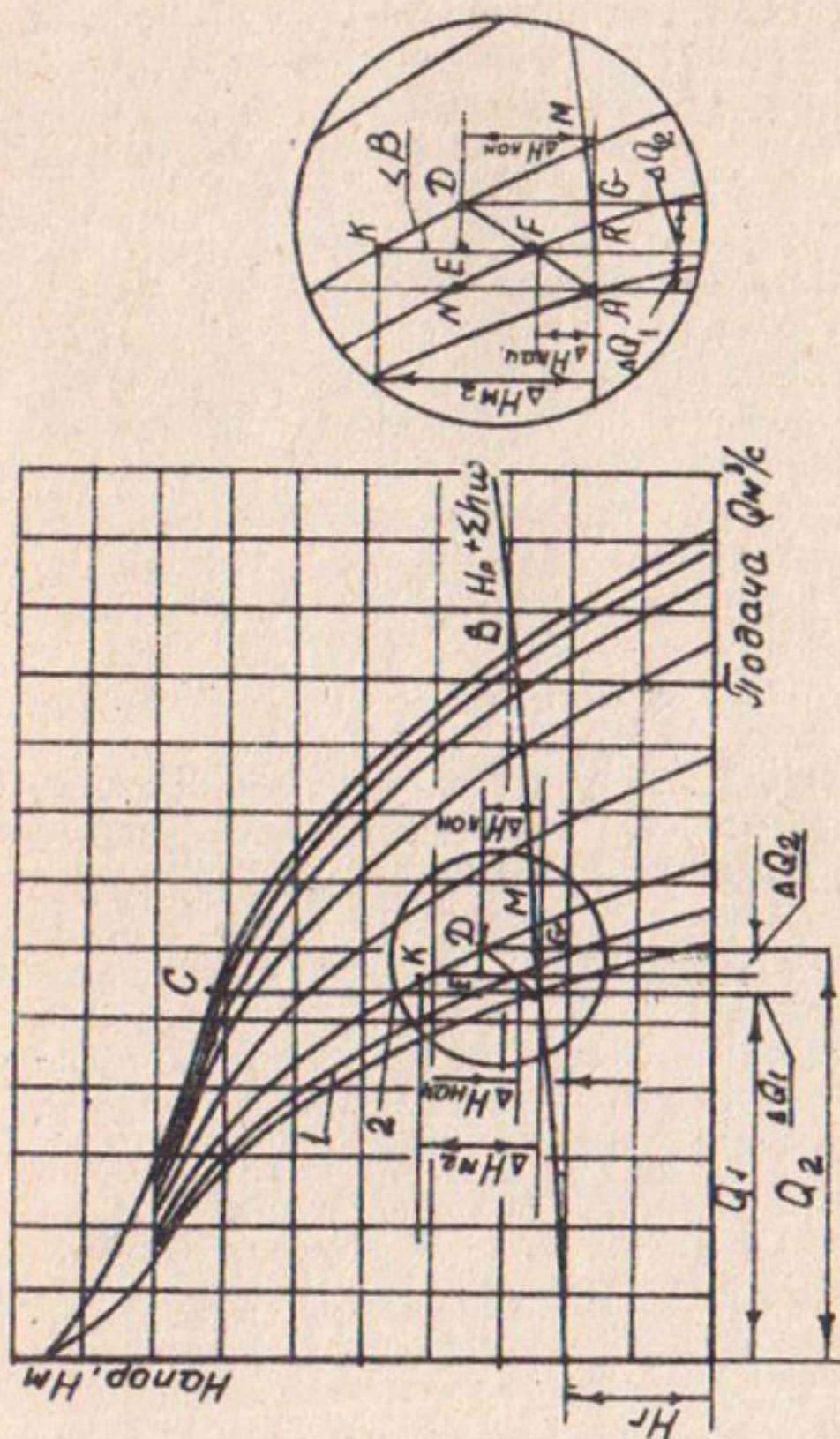


Рис.1. Построение кривой изменения давления в начале напорного трубопровода при включении второго насоса, работающего на этот трубопровод: 1 — суммарная характеристика двух насосов, у одного из которых дисковый затвор открыт полностью, а у другого — на угол  $\alpha_1 = \Delta\alpha$ ; 2 — то же, у одного из которых дисковый затвор открыт полностью, у другого закрыт на угол  $\alpha_2 = 2\Delta\alpha$ .



прямолинейно, и эта зависимость графически может быть представлена отрезком прямой  $AF$ . Тогда за период открытия дискового затвора с угла  $\alpha = 0$  до  $\alpha = \alpha_1$ , дополнительное давление, воздействующее на поток воды в начале общего трубопровода, в среднем за рассматриваемый период будет равно  $\Delta P_{cp} = \frac{0 + FR}{2}$ , так как при полностью закрытом дисковом затворе подключаемого насоса избыточное давление было равно нулю, а при открытии его на угол  $\alpha_1$ , мы предполагаем, что оно будет равно  $FR$  (рис.1).

При мгновенном повороте дискового затвора подключаемого насосного агрегата на угол  $\angle \Delta \alpha = \angle \alpha_2 - \angle \alpha_1$ , подача параллельно работающих насосов мгновенно не изменится, а напор увеличится до значения  $H_K$ . В рассматриваемом случае возникает сила (благодаря тому, что  $H_K > H_R$ ), которая, воздействуя на поток воды в трубопроводе, увеличивает скорость его движения.

Если предположить, что дисковый затвор, мгновенно повернувшись на угол

$$\angle \Delta \alpha = \frac{90}{n},$$

где  $n$  — число равных между собой расчётных углов, на которое делится угол поворота дискового затвора при полном его открытии  $= 90^\circ$ ,

остановился в этом положении, то скорость потока (т.е. подача) будет постепенно возрастать, а избыточный напор, являвшийся причиной увеличения скорости движения потока, будет уменьшаться и обратится в 0 при увеличении скорости движения воды до величины, соответствующей расходу в точке  $M$ .

Но дисковый затвор открывается не мгновенно, и за время открытия на угол

$$\angle \Delta \alpha = \frac{90}{n},$$

скорость движения потока воды в трубопроводе возрастает и подача увеличивается на  $\Delta Q_2$  до величины, соответствующей точке  $D$ .

Проведем горизонтальную линию через точку  $D$  перпендикулярно линии  $KF$  (см.рис.1) до пересечения с нею в точке  $E$ . Соединим прямой точки  $K$  и  $D$  и условно будем считать, что характеристика  $O - H$  на этом участке может быть представлена в виде отрезка прямой. Обозначим избыточный напор



в точке  $F$ , равный  $H_F - H_R$  через  $\Delta H_{нач}$ ; в точке  $K$  равный  $H_K - H_R$  — через  $\Delta H_{мг}$  и в точке  $D$  равный  $H_D - H_E$  (примерно, равный  $H_E - H_R$ ) — через  $\Delta H_{кон}$ . Тогда согласно рис.1

$$\frac{\Delta Q_2}{\Delta H_{мг} - \Delta H_{кон}} = \operatorname{tg} \beta \quad (\text{т.к. } \Delta H_{кон} \approx H_E - H_R),$$

откуда

$$\Delta Q_2 = \Delta H_{мг} \cdot \operatorname{tg} \beta - \Delta H_{кон} \cdot \operatorname{tg} \beta.$$

В этом выражении две неизвестные величины —  $\Delta Q_2$  и  $\Delta H_{кон}$  — определяют координаты точки  $D$ . Необходимо избавиться от одной из них, выразив ее через другую неизвестную величину:

$$\Delta H_{кон} = \frac{\Delta H_{мг} \cdot \operatorname{tg} \beta - \Delta Q_2}{\operatorname{tg} \beta}. \quad (1)$$

С другой стороны,  $Ft = m v_2 - m v_1 = m \Delta v$ ,  
 $\Delta v = \frac{\Delta Q}{\omega}, \quad Ft = m \frac{\Delta Q}{\omega}$

где  $F$  — сила;  $t$  — время;  $m$  — масса и  $v$  — скорость,  
 $Q$  — подача и  $\omega$  — площадь поперечного сечения трубопровода.

Движущая сила за период открытия дискового затвора на угол  $\frac{90^\circ}{n}$  может быть условно принята равной полусумме усилий в начале и конце открытия, т.е.

$$F = \frac{\omega (\Delta H_{кон} + \Delta H_{нач})}{2}.$$

Выражение  $\frac{m \cdot \Delta Q_2}{\omega}$  можно представить как

$$\frac{m \cdot \Delta Q_2}{\omega} = \ell \rho \cdot \frac{\Delta Q_2}{\omega} = \rho \cdot \ell \cdot \Delta Q_2,$$

где  $\ell$  — длина трубопровода,

$\rho$  — плотность воды.

Тогда

$$\frac{\omega (\Delta H_{кон} + \Delta H_{нач})}{2} \cdot t = \rho \cdot \ell \cdot \Delta Q_2.$$



Вместо  $\Delta H_{кон}$  подставим его значение (1):

$$\frac{\omega \left( \frac{\Delta H_{мг} \cdot \operatorname{tg} \beta - \Delta Q_2}{\operatorname{tg} \beta} + H_{нач} \right)}{2} \cdot t = \rho \cdot l \cdot \Delta Q_2 ,$$

$$\frac{\Delta H_{мг} \cdot \operatorname{tg} \beta - \Delta Q_2}{\operatorname{tg} \beta} + \Delta H_{нач} = \frac{2\rho \cdot l \cdot \Delta Q_2}{\omega t} ,$$

$$\Delta H_{мг} \cdot \operatorname{tg} \beta - \Delta Q_2 + \Delta H_{нач} \cdot \operatorname{tg} \beta = \frac{2\rho \cdot l \cdot \Delta Q_2 \cdot \operatorname{tg} \beta}{\omega t}$$

$$\Delta H_{мг} \cdot \operatorname{tg} \beta + \Delta H_{нач} \cdot \operatorname{tg} \beta = \frac{2\rho \cdot l \cdot \Delta Q_2 \cdot \operatorname{tg} \beta}{\omega t} + \Delta Q_2 ,$$

$$\operatorname{tg} \beta \cdot (\Delta H_{мг} + \Delta H_{нач}) = \Delta Q_2 \left( \frac{2\rho \cdot l \cdot \operatorname{tg} \beta}{\omega t} + 1 \right) ,$$

$$\Delta Q_2 = \frac{\operatorname{tg} \beta (\Delta H_{мг} + \Delta H_{нач})}{\frac{2\rho \cdot l \cdot \operatorname{tg} \beta}{\omega t} + 1} . \quad (2)$$

В правую часть указанной формулы входят величины, которые обычно известны для каждой насосной станции ( $l$  и  $\omega$ ) или могут быть определены в результате построения совместных характеристик насосов и дисковых затворов при расчётных углах их открытия ( $t$ ;  $\operatorname{tg} \beta$ ;  $H_{мг}$  и  $H_{нач}$ ).

Ввиду того, что в эту формулу входит  $\operatorname{tg} \beta$  и величина угла  $\angle \beta$  зависит от принятого масштаба на осях координат  $Q$  и  $H$ , графическое построение (см. рис. 1)  $Q$  необходимо производить в масштабе  $\frac{м^3/с}{n}$ ;  $H$  — в  $\frac{м}{n}$ , причем для  $Q$  и для  $H$   $n$  должно быть одинаковым.

Определим по формуле (2) величину  $\Delta Q$ , для периода,



в начале которого дисковый затвор у подключаемого насоса закрыт полностью, а в конце повернут на угол  $L\alpha_1 = \frac{90^\circ}{n}$ ;  $L\alpha_1 = L\Delta\alpha$ . Далее, прибавим ее к подаче  $Q$ , осуществляемой напорным трубопроводом до подключения второго насоса; по величине  $(Q_1 + \Delta Q_1)$  на суммарной характеристике насосов найдем точку  $F$ . Через эту точку будет проходить линия, характеризующая зависимость давления в начале напорного трубопровода от степени открытия дискового затвора подключаемого насоса.

Вычислим величину  $\Delta Q_2$  для периода, когда дисковый затвор в процессе открытия поворачивается от угла  $L\alpha_1 = L\Delta\alpha$  до  $L\alpha_2 = L2\Delta\alpha$ . Величина  $\Delta Q_2$  прибавляется к подаче, которую имела эта нитка напорного трубопровода в начале расчетного периода (точка  $F$ ), т.е.

$$Q_2 = Q_F + \Delta Q_2.$$

При подаче  $Q_2$  на суммарной характеристике насосов, соответствующей моменту прохождения дисковым затвором подключаемого насоса угла закрытия  $L\alpha_2 = L2\Delta\alpha$ , определяем точку  $D$ , которая как и точка  $F$  лежит на кривой, характеризующей изменение давления в начале нитки напорного трубопровода при подключении второго насоса; затем —  $Q_3$  и т.д. до тех пор, пока не будет найдена точка, характеризующая давление в начале трубопровода при полном открытии дискового затвора:

$$L\alpha_n = Ln \cdot \Delta\alpha = L90^\circ.$$

Соединив полученные точки ( $F$ ,  $D$  и т.д.) отрезками прямой линии, получим ломаную линию. По-видимому, зависимость давления в начале нитки напорного трубопровода от степени открытия дискового затвора подключаемого насоса выражается кривой, описывающей эту ломаную линию, которая превратится в кривую при  $n \rightarrow \infty$ .

Рассмотрим результаты графоаналитического расчета процесса изменения давления и расхода в начале левой нитки напорного трубопровода на 1-й насосной станции Джизакского каскада при одном работающем разменном насосе в период включения второго и третьего основных насосных агрегатов (данные взяты по одному из вариантов проекта 1-й насосной станции в 1977г.).

Условно принимаем, что время открытия дискового затво-



ра в одном случае будет равно 9 с., в другом — 45 с., в третьем — как принято в проекте — 180 с. Если 90°, на которые поворачивается дисковый затвор, разделить на 9 равных частей и при повороте его на каждые 10° считать эти положения дискового затвора расчетными, то время, затрачиваемое на поворот между смежными расчетными положениями, соответственно составит  $t_1 = 1$  с.,  $t_2 = 5$  с.,  $t_3 = 20$  с.

Закрытый дисковый затвор обладает коэффициентом сопротивления  $\zeta = \infty$ . Коэффициент сопротивления  $\zeta$  постепенно уменьшается с 3620 до 0,127 при открытии дискового затвора от 10° до 80° соответственно (данные для дисковых затворов диаметром 2800 и 2200 мм на насосных агрегатах Джизакского каскада насосных станций).

Если из характеристики насоса  $Q-H$  вычесть напор (например для  $Q_1 = 1$  м<sup>3</sup>/с;  $Q_2 = 2$  м<sup>3</sup>/с,  $Q_3 = 3$  м<sup>3</sup>/с и т.д.), потерянный в дисковом затворе при прохождении через него расхода, равного подаче, получим совместную характеристику подключаемого насоса и дискового затвора, открытого на 10°, 20°, 30° и так далее до 90°.

Влияние участка трубопровода между насосом и общей ниткой напорного трубопровода можно учесть путем вычитания из характеристики насоса  $Q-H$  (при одинаковых абсциссах) потери на трение (м) в этих индивидуальных трубопроводах.

Кривые изменения давления  $H=f(Q; t; \alpha)$  при различных скоростях открытия дискового затвора (рис. 2) показывают, что чем медленнее открывается дисковый затвор на подключаемом насосе, тем на меньшую величину в этот период возрастает давление в напорном трубопроводе.

При периоде полного открытия дискового затвора  $T = 180$  с. кривые  $H=f(Q; t; \alpha)$  пересекают суммарные характеристики насосов в местах, где при установившемся режиме будет находиться рабочая точка, т.е. в точке В (см. рис. 2). Для расчетных случаев, когда период полного открытия дисковых зат-

<sup>x</sup> В большинстве справочных пособий приводятся значения коэффициента сопротивления дискового затвора в зависимости от угла закрытия его, а не от угла открытия. между ними существует зависимость

$$L\alpha_{от} = 90^\circ - L\alpha_{зак}$$







воров равнялся  $T = 9\text{с.}$  и  $T = 45\text{с.}$ , эти кривые заканчиваются на совместной характеристике насосов. С этого момента до того, когда давление в начале нитки трубопровода станет равным таковому при установившемся движении, уменьшение его будет происходить по кривой, совпадающей с совместной характеристикой насосов.

Выявлено, что при полном открытии дискового затвора за  $9\text{с.}$  давление в совместной рабочей точке (т.е. в начале нитки напорного трубопровода), примерно, через  $3,5\text{с.}$  после начала подключения основного агрегата станет больше, чем максимальное, создаваемое разменным насосным агрегатом при его нулевой подаче, и вода начнет двигаться через работающий разменный насос в обратном направлении. В этом случае движение воды в противоположном направлении будет продолжаться и после полного открытия дискового затвора подключаемого насоса до тех пор, пока давление в совместной рабочей точке не упадет и будет ниже максимального ( $H_{\text{max}} = 39\text{ м}$ ), развиваемого разменным насосом. После этого разменный насос будет увеличивать свою подачу в общую нитку трубопровода до величины, равной подаче разменного агрегата в нитку напорного трубопровода при установившемся режиме.

Для предотвращения возможности движения воды через работающий насос в обратном направлении при подключении насосного агрегата, работающего на этот же трубопровод, необходимо увеличить время открытия дискового затвора. При открытии затвора в течение  $45\text{с.}$  (рис.2) движения воды в обратном направлении через разменный насос уже не происходит.

При параллельной работе насосов открытие дискового затвора подключаемого центробежного насоса способствует повышению давления в начале нитки общего напорного трубопровода; закрытие дискового затвора при отключении одного из агрегатов — его понижению. Величина понижения давления при закрытии дискового затвора определяется так же, как повышения при его открытии. Причем,  $\Delta Q$  в этом случае будет отрицательной; величина ее будет определяться по формуле (2). На рис.2 зависимость  $H = f(Q; t; \alpha)$  изображена пунктиром

### В ы в о д ы

1. Повышение давления в начале напорного трубопровода при подключении параллельно работающего насосного агрегата



необходимо учитывать при определении времени открытия дискового затвора. При параллельной работе насосов различных марок на один трубопровод возможен случай, когда при подключении насоса часть воды будет проходить через работающий насос в обратном направлении.

При наличии на характеристике работающих насосов точек перегиба неправильный выбор времени открытия дискового затвора может быть причиной помпажа.

2. Для уточнения процесса изменения расхода воды в начале промежуточного канала при включении на одной из насосных станций каскада параллельно работающего насосного агрегата при длинном напорном трубопроводе, кроме учета режима открытия дискового затвора, необходимо учитывать инерцию воды в напорном трубопроводе.

3. При работе насосов на длинный трубопровод с небольшой высотой подъема в период отключения одного из насосов при недостаточно малой скорости закрытия дискового затвора возможно значительное понижение давления в начале напорного трубопровода, что может привести к кавитации в насосах, которые продолжают работать.

Х.А.ИРМУХАМЕДОВ, канд.техн.наук

М.МИРЗИЯТОВ, канд.техн.наук

(САНИИРИ им. В.Д.ЖУРИНА)

## ОПЫТ ЭКСПЛУАТАЦИИ КРЕПЛЕНИЙ ЗЕМЛЯНЫХ РЕГУЛЯЦИОННЫХ ДАМБ ОТ РАЗМЫВА В УСЛОВИЯХ ПРЕДГОРНЫХ РЕК УЗБЕКИСТАНА

На реках Узбекистана для защиты берегов от размыва и регулирования русла при водозаборе, а также на мостовых переходах применяются береговые опояски, шпоры и дамбы различных конструкций. Наиболее распространены глухие шпоры и дамбы, возводимые отсыпкой из местного грунта, с покрытием их речного откоса различными креплениями /1,2,3/ в основном из квадратных железобетонных, армобетонных плит размером 0,2х1,0х1,0 м.

Однако практика эксплуатации подобных креплений пока-



зала, что они быстро приходят в непригодность. С целью установления причин разрушения нами были обследованы реки Чирчик, Карадарья, Нарын (в основном у мостовых переходов магистральных дорог) в течение 1976–1978 гг. Измеряли глубины и скорости на участках транспорта наносов и из-под висячих тюфяков. Производили трехмерный обмер руслового материала и ситовый анализ отложений в 4–5 створах, расположенных на разных расстояниях от мостового перехода реки. Для установления допустимой скорости потока у тюфяков были измерены вертушкой донные скорости. При этом улавливали специальной ловушкой-сеткой движущиеся наносы из-под тюфяков.

Результаты обследования защитных сооружений у мостового перехода у магистральной дороги Ташкент – Алмалык на р. Чирчик показали, что сплошные тюфяки из плит в створе, где свал потока на берег  $\alpha = 90^\circ$ , погружаются в воронку размыва на глубину 1,8–2,0 м при  $V = 3,5$  м/с под очень крутым откосом  $\beta = 70\text{--}80^\circ$  ( $\beta$  – угол между горизонталью и положением отвеса тюфяка). Отдельные крайние плиты тюфяка приняли почти отвесное положение, не опираются на дно, что привело к их разрыву. В связи с этим тюфяк ежегодно покрывают строительным материалом и камнями.

Ниже по течению, где угол свала потока к дамбе  $\alpha = 60^\circ$ , глубина размыва доходит до 1,3 м. При ширине потока  $B = 16$  м тюфяки расположились под крутым  $\beta = 50^\circ$  откосом. Скорость потока колеблется от 0,9 до 2,0 м/с.

Исследования у мостового перехода Алмалыкской дороги у р. Чирчик показали, что из-за большого свала потока тюфяки не выдерживают сильного течения потока и разрушаются.

Изучение тетраэдрных сооружений, построенных у слияния р. Чирчик с р. Сырдарьей (п. Чиназ) показало, что они выдерживают свальное течение потока с поверхностным до 2,5 м/с; глубина потока возле них доходит до 2,5 м.

Обследования дамб, закрепленных сплошными армобетонными плитами и с помощью каменной наброски у верхнего бьефа Газалкентской плотины, показали, что они в нормальном состоянии. В связи со строительством Паркентского канала часть дамб, расположенных близко к сооружению, снесена.

По данным исследований на р. Карадарья у села Чуджа,



в створе  $ЛК - 7$  основной поток проходит со стороны левого берега, где глубина потока доходит до 3,5 м при  $B = 75,0$  м. Сплошные тюфяки в этом створе лежат под крутым откосом. Правый приток  $B = 30$  м,  $H_p = 2,0$  м, в паводок  $Q = 490$  м<sup>3</sup>/с,  $V = 1,8$  м/с — скорость, размывающая правую дамбу. В створе  $ЛК - 8$  и  $ЛК - 9$  тюфяки лежат под очень крутым откосом —  $\beta = 70-80^\circ$ . Поток в этих створах сужается до  $B = 45$  м, глубина доходит до  $H_p = 5$  м. Поверхностные и вертикальные скорости у сооружения колеблются от 2,0 до 2,2 м/с; донные равны 0,22–0,9 м/с, они вполне способны транспортировать частицы размером до 20–30 мм (в гранулометрическом составе донных отложений и насыпях дамбы, основания которых закреплены сплошными железобетонными тюфяками, их имеется больше 30%).

Исследования, проведенные на р. Нарын, показали, что в створе  $ЛК - 11-12$  в результате свала потока к дамбе у сооружений образовались большие глубины —  $H_p = 4-4,5$  м, что приводило к разрушению тюфяков и бетонной облицовки. Для укрепления дамбы от свала потока подброшены рваные камни, размеры которых доходят до 1х1,5х0,8 м. Скорости потока на дне в этих створах равны  $V = 0,23-0,47$  м/с.

В створе ближе к мосту поток сужается и отклоняется к стрелю. Скорость потока доходит до 2,2 м/с, глубины у правого берега уменьшаются по сравнению с таковыми в других створах. Результаты исследований показали [5], что во время прохождения паводковых вод из-под тюфяка вымываются частицы крупностью меньше 3,0 см, составляющие около 35% частиц наносов в гранулометрическом составе руслового отложения.

На основании натурных исследований установлены основные гидравлические характеристики потока: глубина и ширина русла у существующих тюфяков; максимальные глубины размыва; средние и максимальные скорости у сооружений. Вследствие свала потока под углом  $\alpha = 50-90^\circ$  и больших поверхностных скоростей (2–3,5 м/с) образуется воронка размыва, в которой оседает наружный ряд плит, опускающихся по крутому откосу, который, нависая, тянет за собой плиты следующего ряда. Тюфяки из железобетонных плит осуществляют защиту без гашения энергии потока и не снижают скорости в придонных слоях.



Следовательно, возникает необходимость в совершенствовании существующих и поиске новых конструкций и типов крепления сооружений, более совершенных, экономически выгодных, удобных в производстве. В связи со сказанным, в отделе русл САНИИРИ с 1975 г. по 1979 г. проводились систематические исследования по подбору типов рациональных берегозащитных конструкций.

Вопросы исследований — разработка и изучение легко изготавливаемых на заводах, наиболее рациональных защитных конструкций тюфяков: из коротких бетонных труб (диаметр 1,0 м; высота 0,7 м; толщина стенки 0,08 м) с продольными прорезями и отверстиями; из трехгранных бетонных пирамид, усеченных, с отверстиями и без них, фигурной формы; из шестиблочных ежей квадратного сечения (высота 1,0 м; толщина 0,2 м) для использования в качестве элемента донной шероховатости русла, они защищают основания дамб и берегов от размывов. Кроме того, были исследованы защитные свойства химических средств (жидкое стекло, бронеизол) для применения их в руслорегулировочных работах.

Для решения поставленных вопросов проведены специальные исследования на модели (М 1:30). При этом соблюдены критерии Фруда, а размеры потока и элементы сооружения смоделированы геометрически подобными.

По результатам исследований получены:

расчётная формула для определения коэффициента сопротивления тюфяков

$$\xi = 2,3 n^{1,28} \rho (\sin \alpha)^{0,33}; \quad (1)$$

формула для определения скорости потока за тюфяком

$$V_T = (1 - \rho) V_f; \quad (2)$$

расчётная зависимость для определения ширины тюфяка

$$B_T = 0,23 \left( K \frac{V_T}{V_f} + \alpha \right) B; \quad (3)$$

формула возможной глубины местного размыва в зависимости от относительной скорости потока для различных конструкций тюфяков



$$H_p = K_1 \left( K \frac{v_r^2}{v_g^2} + \alpha \right) H_{cp}, \quad (4)$$

где  $n$  и  $\rho$  — степень стеснения и застройка туюяка;  
 $v_r$  и  $v_g$  — скорости течения потоков перед туюяком и за ним;  
 $B_r$  — ширина туюяка;  $B$  — ширина русла;  
 $H_{cp}$  и  $H_p$  — средняя и максимальная глубина потока;  
 $K_1$  — коэффициент пропорциональности равный 1,2;  
 $K$  и  $\alpha$  — опытные коэффициенты для различных типов конструкций туюяков, значения которых приведены в таблице.

Т а б л и ц а

| Виды туюяков                                         | : $K$ | : $\alpha$ | : $\rho$ |
|------------------------------------------------------|-------|------------|----------|
| Из труб с 12 отверстиями                             | 1,20  | 0,30       | 0,46     |
| Из труб с 18 отверстиями                             | 1,20  | 0,40       | 0,44     |
| Из трехгранных усеченных полых пирамид без отверстий | 1,7   | 0,18       | 0,7      |
| Из трехгранных усеченных полых пирамид с отверстиями | 1,1   | 0,40       | 0,47     |
| Из шестигранных ежей квадратного сечения             | 1,5   | 0,03       | 0,3      |

### В ы в о д ы и р е к о м е н д а ц и и

1. Из опытов, проведенных с туюяками новых конструкций из труб и пирамид, выяснилось, что экономическим и гидравлическим характеристикам —  $H_p = 6,0$  м;  $B_r = 13$  м;  $v_g = 0,6$  м/с,  $\rho = 0,58$  — положительные результаты дает защита основания дамб и берегов гибкими туюяками из железобетонных труб с 18 отверстиями;

2. Защиту основания туюяка из усеченных пирамид рекомендуется производить с девятью отверстиями ( $h = 0,7$  м, ширина по основанию  $b = 1,0$  м с толщиной  $d_r = 0,08$  м).

3. Экономия от капвложений при осуществлении крепле-



ния из труб с отверстиями составляет около 150 тыс.руб. на 1 км защиты, а приведенный годовой эффект выражается величиной 23 тыс.руб.

4. Данные натурных исследований позволяют рекомендовать закрепление основания дамб и берегов частицами грунтов диаметром не меньше 30 мм.

Результаты исследований могут быть использованы в гидравлических расчётах крепления оснований дамб при проектировании сооружений, находящихся в предгорных зонах Узбекистана.

В частности, они использованы в проектах института "Узгипроавтодор" (мост через р.Ангрен на 23 км Бут-Аккурган-Тойтепа; мост через р.Карадарья на 73 км Зарафшанского тракта и берегозащитные сооружения у моста р.Карасу на 14 км автодороги Бут-Наухашер-Больдыры).

### Л и т е р а т у р а

1. А л т у н и н С.Т. Регулирование русл. М., Сельхозиздат, 1956.
2. И ш а е в Ф.Ш. Временные указания по методу защиты струенаправляющих продольных дамб и берегов на реках скользящими плитами. Ташкент, САНИИРИ, 1974.
3. М у х а м е д о в А.М., И р м у х а м е д о в А., М и р з и я т о в М. К методике гидравлического расчёта сквозных шпор различной конструкции, применяемых для защиты берегов р. Амударьи от размыва (дейгиша). Сб.научн. трудов САНИИРИ, вып.140. Ташкент, 1974.
6. М и р з и я т о в М. Лабораторные исследования защиты земляных дамб у мостовых переходов новыми конструкциями. Научн.техн.отчеты за 1975-1978 гг., САНИИРИ, Ташкент, 1978.
4. А р т а м о н о в К.Ф., К р о ш к и н А.Н., Т а л м а з а В.Ф. Методические указания по расчёту устойчивых аллювиальных русл горных рек при проектировании гидротехнических сооружений, М., "Колос", 1972.



5. И р м у х а м е д о в Х.А., М и р з и я т о в М. Не-  
которые результаты натурных исследований защит-  
ных креплений на реках предгорной зоны Узбеки-  
стана. Доклады АН УзССР, Ташкент, 1980, № 4.



Р.ДЖУРАЕВ, инженер

(САНИИРИ им. В.Д.ЖУРИНА)

# ВОДОХОЗЯЙСТВЕННАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЮЖНО-СУРХАНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА В БАССЕЙНЕ Р.СУРХАНДАРЬИ

Анализируя распределение водных ресурсов и проблему их использования в нашей стране, С.Л.Вендров и К.Н.Дьяконов отмечают: "... воды у нас меньше всего в ту большую часть года, когда она нужнее всего населению и его хозяйству; воды у нас меньше всего на тех территориях, где она нужна больше всего — и для населения и для хозяйства, особенно сельского ..." /1/.

Поэтому основой развития водного хозяйства является регулирование речного стока, совершенствование водохозяйственных систем, охрана и воспроизводство водных ресурсов в процессе их рационального использования.

В 1957 г. был разработан проект Южносурханского водохранилища, которое открывало широкие перспективы для развития орошения в Сурхандарьинском бассейне. Эксплуатация его началась в 1962<sub>3</sub> г. при частичном заполнении чаши водой в объеме 150 млн.м.

Главная задача Южносурханского водохранилища — сезонное регулирование стока р.Сурхандарьи в целях повышения водообеспеченности земель существующего орошения.

Общая площадь земель, подкомандных водохранилищу, по расчётам Средазгипроводхлопка, составляет 181 тыс.га.

Опорный гидрометрический створ на реке, который характеризует приток к чаше водохранилища, расположен в пос.Шурчи, выше плотины водохранилища.

Определение водохозяйственной эффективности водохранилища, под которой обычно понимают установление объема уве-



личения располагаемых водных ресурсов за счет перераспределения гидрографа речного стока, представляет собой один из наиболее важных вопросов, решаемых в рамках общей проблемы регулирования стока.

Естественно, наиболее объективной характеристикой такого рода расчётов является гарантированная отдача стока, вычисляемая отдельно для реки с естественным режимом, т.е. до сооружения водохранилища, и для самого водохранилища с учетом его регулирующей емкости.

Расчёт гарантированной отдачи стока под влиянием факторов антропогенного характера должен базироваться на гидрологических рядах значительной продолжительности. Это необходимо для того, чтобы результаты расчёта гарантированной отдачи стока соответствовали, по возможности, всей эволюции водохозяйственной системы, совокупности всех этапов ее развития.

Следует отметить, что такие исследования применительно к Сурхандарьинскому бассейну проводятся впервые. Имеющиеся в научной литературе отдельные, зачастую отрывочные, данные, а также материалы проектных проработок института "Средазгипроводхлопок" не соответствуют современным водохозяйственным нормативам хотя бы по той причине, что получены более двух десятилетий назад и отражают существенно иные условия. В первую очередь, сказанное относится к гидрологическому ряду наблюдений, а также к низкой обеспеченности по стоку и водопотреблению.

Объективная оценка гарантированной отдачи стока реки в естественном режиме и в обычных условиях представляется достаточно сложной, поскольку требует тщательного анализа имеющегося ряда наблюдений. Продолжительность последнего и статистическая однородность наряду с полнотой данных могут оказать немалое влияние на конечный результат. Применительно к Сурхандарьинскому бассейну и, в частности, к Южносурханскому водохранилищу сложность количественной оценки гарантированной отдачи стока усугубляется ненадежностью гидрологического ряда, наблюдаемого в створе Шурчи.

Действительно, наблюдаемый ряд в створе Шурчи неизбежно несет в себе известные искажения естественного режима, обусловленные хозяйственной деятельностью на землях Сурхандарьинского бассейна, расположенных выше этого створа.



Причем, за счёт различных водохозяйственных мероприятий, проводимых к тому же в различные годы и в разных объемах искажение естественного режима стока носит во многом случайный характер – обстоятельство, значительно осложняющее поиск общих закономерностей, позволяющих введение соответствующих поправок.

Что касается гарантированной отдачи стока р.Сурхандарьи, то она как в естественном, так и в зарегулированном режиме рассчитывалась в идентичных условиях по году 90%-ной водообеспеченности и с нормативом надежности водопотребления также не ниже 90%.

Нами проведены вариантыные расчёты для серии лет с водообеспеченностью, близкой к 90%, но с разным внутригодовым распределением стока. При этом гидрограф стока года-аналога 90%-ной обеспеченности по многолетнему ряду (1939/1940–1977/1978 гг.) наблюдений принят с учётом искажений за счёт водоотбора в верхней зоне бассейна.

Гидрограф ирригационного водопотребления без сколько-нибудь заметного ущерба для точности вычислений можно считать постоянным.

Сопоставление этих гидрографов позволило установить величину гарантированной отдачи естественного стока р.Сурхандарьи в различных гидрологических условиях. Расчёт по стандартной методике (табл.1) показал, что величина гарантированной отдачи колеблется в пределах (округленно) 35–450 млн.м<sup>3</sup>. С учетом вероятной погрешности вычислений и степени приближения обеспеченности конкретных лет к 90% представляется возможным осреднить полученные результаты применительно к среднемноголетнему году и двум конкретным. Тогда найдем, что гарантированная отдача стока р.Сурхандарьи в естественном режиме равна 400 млн.м<sup>3</sup>. Этой величиной определяется оросительная способность р.Сурхандарьи в условиях естественного стока при принятом нормативе надежности водоотдачи (90%-ной обеспеченности) водохранилища.

Несколько сложнее определение гарантированной отдачи Южносурханского водохранилища при различной регулирующей емкости (табл.2). Объемы гарантированного водопотребления из р.Сурхандарьи в зависимости от размеров регулирующей



ёмкости водохранилища установлены на основании данных водохозяйственных балансов, учитывающих все элементы поступления, расходования и перерегулирования стока. В объем гарантированного водопотребления включены выклинивающиеся до Зангского гидроузла воды, которые могут быть использованы на орошение, а также учтены потери на испарение с водного зеркала водохранилища.

В табл. 2 выполнен расчёт трех величин гарантированной отдачи Южносурханского водохранилища (1500, 2000 и 2200 млн.м<sup>3</sup>), каждой из которых соответствует конкретное значение регулирующей емкости (593, 784 и 860 млн.м<sup>3</sup>). В первом приближении можно заключить, что связь между гарантированной отдачей и регулирующей емкостью Южносурханского водохранилища, имеющая большое научное и практическое значение, носит линейный характер и подчиняется уравнению

$$\theta = 2,577 V \text{ млн.м}^3,$$

где  $\theta$  — гарантированная отдача,  $V$  — емкость регулирования.

С помощью этого уравнения нетрудно определить гарантированную отдачу при заданных значениях полезной емкости водохранилища в современных условиях. При  $V = 800, 700, 650, 600$  и  $550$   $\theta$ , соответственно, равно 2050, 1800, 1660, 1530 и 1400.

При более детальном анализе зависимости  $\theta = f(V)$  выясняется, что линейный ее характер справедлив лишь для диапазона высоких значений  $\theta$  и  $V$ . Последние в результате заиливания сокращаются и потому характер зависимости может измениться.

В частности, линейный характер зависимости  $\theta = f(V)$  предусматривает нулевую гарантированную отдачу в том случае, если регулирующая емкость по каким-либо причинам (например, в результате заиливания) будет полностью ликвидирована. На самом деле, даже при полной ликвидации регулирующей емкости водохранилища гарантированная отдача стока для нужд орошаемого земледелия южной зоны бассейна будет равна 400 млн.м<sup>3</sup> (табл. 1), т.е. отдача стока р. Сурхандарьи реализуется.

Таким образом, в диапазоне малых и средних значений зависимость  $\theta = f(V)$  нелинейна (рисунок) и подчиняется уравнению  $\theta = Ae^{kv} - C$ ,



## Определение оперативной отдачи стока р.Сурхандарьи

| Элементы баланса<br>водохранилищ                 | Месяцы |      |      |      |      |      |
|--------------------------------------------------|--------|------|------|------|------|------|
|                                                  | Ш      | 1У   | У    | У1   | УП   | УШ   |
| <u>Год среднемноголетний</u>                     |        |      |      |      |      |      |
| Сток р.Сурхандарьи                               |        |      |      |      |      |      |
| 90%-ной обеспеченности                           | 141.   | 222  | 398  | 262  | 176  | 76,2 |
| Водопотребление                                  | 207    | 203  | 238  | 323  | 439  | 387  |
| Гарантированная от-<br>дача                      | 40,8   | 40,0 | 46,9 | 63,6 | 86,4 | 76,2 |
| <u>Год 1946/1947</u>                             |        |      |      |      |      |      |
| Сток р.Сурхандарьи                               |        |      |      |      |      |      |
| 90%-ной обеспеченно-<br>сти (год-аналог 1946/47) | 140    | 246  | 350  | 294  | 149  | 65,9 |
| Водопотребление                                  | 207    | 203  | 238  | 323  | 439  | 387  |
| Гарантированная от-<br>дача                      | 35,3   | 34,6 | 40,5 | 55,0 | 74,8 | 65,9 |
| <u>Год 1947/1948</u>                             |        |      |      |      |      |      |
| Сток р.Сурхандарьи                               |        |      |      |      |      |      |
| 90%-ной обеспеченности<br>(год-аналог 1947/48)   | 154    | 290  | 390  | 260  | 107  | 59,6 |
| Водопотребление                                  | 207    | 203  | 238  | 323  | 439  | 387  |
| Гарантированная от-<br>дача                      | 31,9   | 31,3 | 36,7 | 49,7 | 67,6 | 59,6 |

где  $A$ ,  $B$  и  $C$  — численные коэффициенты, равные для рассматриваемых условий соответственно 1789, 0,0008, 1389;  $e$  — основание натуральных логарифмов. Такие уравнения, очевидно, имеют территориально общий характер применительно к русловым водохранилищам сезонного регулирования; меняются лишь величины численных коэффициентов.

Кривая зависимости гарантированной отдачи и полезной



в естественных условиях, млн.м<sup>3</sup>

Т а б л и ц а 1

| Месяцы |   |   |   |    |   | Итого<br>за<br>год |
|--------|---|---|---|----|---|--------------------|
| IX     | : | X | : | XI | : | XII                |

Год среднемноголетний

|      |  |      |  |      |  |      |  |      |  |      |  |        |
|------|--|------|--|------|--|------|--|------|--|------|--|--------|
| 53,4 |  | 71,5 |  | 75,9 |  | 76,8 |  | 82,6 |  | 88,6 |  | 172,0  |
| 213  |  | 125  |  | 72,2 |  | 25,5 |  | 25,5 |  | 23,0 |  | 2281,2 |
| 41,9 |  | 24,6 |  | 14,1 |  | 5,0  |  | 5,0  |  | 4,5  |  | 449    |

Год 1946/1947

|      |  |      |  |      |  |      |  |      |  |      |  |        |
|------|--|------|--|------|--|------|--|------|--|------|--|--------|
| 64,8 |  | 81,6 |  | 84,5 |  | 81,9 |  | 92,4 |  | 78,9 |  | 1729   |
| 213  |  | 125  |  | 72,3 |  | 25,5 |  | 25,5 |  | 23,0 |  | 2281,3 |
| 36,3 |  | 21,3 |  | 12,3 |  | 4,3  |  | 4,3  |  | 3,9  |  | 388,5  |

Год 1947/1948

|      |  |      |  |      |  |      |  |      |  |      |  |        |
|------|--|------|--|------|--|------|--|------|--|------|--|--------|
| 60,2 |  | 78,9 |  | 77,7 |  | 72,4 |  | 76,2 |  | 103  |  | 1729   |
| 213  |  | 125  |  | 72,3 |  | 25,5 |  | 25,5 |  | 23,0 |  | 2281,3 |
| 32,8 |  | 19,2 |  | 11,1 |  | 3,9  |  | 3,9  |  | 3,5  |  | 351,2  |

емкости Южносурханского водохранилища, представленная на рисунке, построена для 90%-ной обеспеченности водопотребления при сезонном регулировании стока. Сезонная составляющая емкости определена по фиктивным годам — моделям лет, сток которых приравнивался к стоку лет расчётной обеспеченности, и была откорректирована по кривой продолжительности дефицитов при различных объемах водопотребления, определенных по



## Определение гарантированной отдачи Южносурханского

| Наименование элементов водохозяй-<br>ственного баланса     | Месяцы |       |       |      |
|------------------------------------------------------------|--------|-------|-------|------|
|                                                            | Ш      | 1У    | У     | У1   |
| I                                                          |        |       |       |      |
| Проектный сток в створе Южносур-<br>ханского водохранилища | 142    | 237   | 391   | 226  |
| Регулирование Южносурханским<br>водохранилищем             | 12     | 108,7 | 229,9 | 25,0 |
| Потери из водохранилища                                    | -      | 1,3   | 12,1  | 27,5 |
| Русловая приточность                                       | -      | -     | -     | 28,5 |
| Гарантированное водопотребление                            | 130    | 127   | 149   | 202  |
| Гарантированная отдача                                     | 130    | 128,3 | 161,1 | 201  |
| II                                                         |        |       |       |      |
| Проектный сток в створе Южносур-<br>ханского водохранилища | 189    | 316   | 521   | 301  |
| Регулирование Южносурханским<br>водохранилищем             | 14,0   | 142,7 | 307,9 | 29,0 |
| Потери из водохранилища                                    | -      | 1,3   | 12,1  | 27,5 |
| Русловая приточность                                       | -      | -     | -     | 28,5 |
| Гарантированное водопотребление                            | 175    | 172   | 201   | 273  |
| Гарантированная отдача                                     | 175    | 173,3 | 213,1 | 272  |
| III                                                        |        |       |       |      |
| Проектный сток в створе Южносур-<br>ханского водохранилища | 208    | 348   | 573   | 331  |
| Регулирование Южносурханским<br>водохранилищем             | 15     | 156,7 | 338,9 | 30,0 |
| Потери из водохранилища                                    | -      | 1,3   | 12,1  | 27,5 |
| Русловая приточность                                       | -      | -     | -     | 28,5 |
| Гарантированное водопотребление                            | 193    | 190   | 222   | 302  |
| Гарантированная отдача                                     | 193    | 191,3 | 234,1 | 301  |

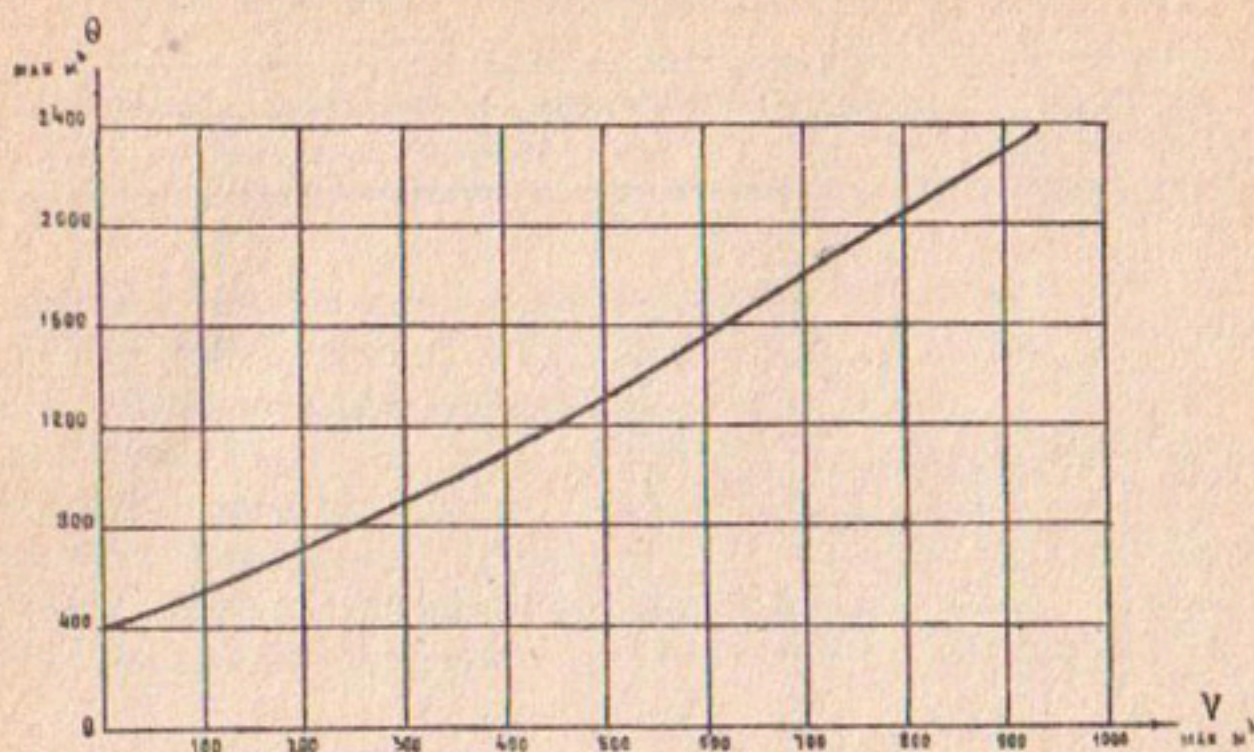


Т а б л и ц а 2<sup>з</sup>

водохранилища при различной регулирующей емкости, млн.м

| Месяцы |      |        |       |      |      |       |       | ИТОГО     |
|--------|------|--------|-------|------|------|-------|-------|-----------|
| УП     | УШ   | 1X     | X     | X1   | ХП   | 1     | П     | за<br>год |
| I      |      |        |       |      |      |       |       |           |
| 85     | 21   | 29     | 57    | 61   | 70   | 95    | 86    | 1500      |
| -215,8 | -241 | -111,7 | -24,9 | 13,3 | 54,0 | 79    | 71,5  | 0         |
| 38,3   | 23,8 | 10,9   | 3,5   | 2,3  | -    | -     | -     | 118,7     |
| 12,5   | 4,8  | 4,2    | -     | -    | -    | -     | -     | 50        |
| 275    | 243  | 134    | 78,4  | 45,4 | 16,0 | 16,0  | 14,5  | 1430,3    |
| 300,8  | 262  | 140,7  | 81,9  | 47,7 | 16,0 | 16,0  | 14,5  | 1500      |
| II     |      |        |       |      |      |       |       |           |
| 113    | 28,0 | 38,0   | 76,8  | 82,0 | 93,2 | 126   | 116   | 2000      |
| -284,8 | -318 | -148,7 | -32,7 | 18,5 | 71,6 | 104,4 | 96,4  | 0         |
| 38,3   | 23,8 | 10,9   | 3,5   | 2,3  | -    | -     | -     | 119,7     |
| 12,5   | 4,8  | 4,2    | -     | -    | -    | -     | -     | 50        |
| 372    | 327  | 180    | 106   | 61,2 | 21,6 | 21,6  | 19,6  | 1930,3    |
| 397,8  | 346  | 186,7  | 109,5 | 63,5 | 21,6 | 21,6  | 19,6  | 2000      |
| III    |      |        |       |      |      |       |       |           |
| 124    | 31   | 42     | 85    | 89   | 103  | 139   | 127   | 2200      |
| -311,8 | -349 | -163,7 | -35,5 | 19,2 | 79,3 | 115,3 | 105,6 |           |
| 38,3   | 23,8 | 10,9   | 3,5   | 2,3  | -    | -     | -     | 119,7     |
| 12,5   | 4,8  | 4,2    | -     | -    | -    | -     | -     | 50        |
| 410    | 361  | 199    | 117   | 67,5 | 23,7 | 23,7  | 21,4  | 2130,3    |
| 435,8  | 380  | 205,7  | 120,5 | 69,8 | 23,7 | 23,7  | 21,4  | 2200      |





Зависимость  $Q = f(V)$

хронологическому ряду лет.

Если вспомнить, что гидрограф ирригационного водопотребления практически не меняется, то станет очевидным и прогностическое значение полученной зависимости  $Q = f(V)$ , позволяющей определить оросительную способность р.Сурхандарьи на всех проектных уровнях развития народного хозяйства в бассейне.

Сопоставление данных, полученных в результате исследований, позволило установить объем водных ресурсов р.Сурхандарьи, пригодных для использования за счёт зарегулированности ее стока, т.е. установить водохозяйственную эффективность Южносурханского водохранилища. Она составляет 1400 млн.м³ при емкости 700 млн.м³ и 1260 млн.м³ при емкости 650 млн.м³.

Последняя величина соответствует современным условиям и показывает, что происходит уменьшение отдачи Южносурханского водохранилища в связи с сокращением его полезной емкости из-за заиления. Поэтому совершенно правильна постановка вопроса о сохранении регулирующей емкости водохранилища [2].

Дополнительный объем речного стока, возможность ис-



пользования которого появилась в результате зарегулированности стока р.Сурхандарьи в Южносурханском водохранилище, позволил повысить водообеспеченность в зоне старого орошения (южная часть бассейна) на площади 30 тыс.га и получить прирост новых орошаемых земель в размере 90 тыс.га. Другими словами, сооружение Южносурханского водохранилища позволило обеспечить водой практически все оросительные системы южной зоны.

Если на естественном стоке р.Сурхандарьи в южной зоне до строительства водохранилища гарантированно орошалось 36 тыс.га земель, то, например, в 1978 г. эта площадь возросла до 120 тыс.га (без учета стока р.Шерабад и регулирования Учкызылским водохранилищем). При полном осуществлении всех водохозяйственных мероприятий по орошению новых земель и повышению эффективности систем старого орошения общая орошаемая площадь в зоне Южносурханского водохранилища может быть доведена до 135 тыс.га (с учетом сокращения емкости водохранилища).

Роль и значение Южносурханского водохранилища для развития сельского и всего народного хозяйства Сурхандарьинского бассейна трудно переоценить. Действительно, зарегулирование стока р.Сурхандарьи позволило развернуть крупные водохозяйственные работы в южной части бассейна и практически полностью освоить целинные земли Сурхан-Шерабадской долины. Можно утверждать даже, что все современные инженерные системы бассейна р.Сурхандарьи, построенные за последние 20 лет, были созданы на базе Южносурханского водохранилища.

### Л и т е р а т у р а

1. В е н д р о в С.Л., Д љ я к о н о в К.Н. Водохранилища и окружающая природная среда. М., "Наука", 1976.
2. Техничко-экономический доклад об орошении и сельскохозяйственном освоении земель всего массива на базе Южносурханского водохранилища. Архив Средазгипроводхлопка. Ташкент, 1970.



Х.И.ЗАИРОВ, канд.техн.наук  
 В.А.САВИН, рук. группы  
 А.А.АЗИМОВ, канд.техн.наук  
 (САНИИРИ им.В.Д.ЖУРИНА)

## РАЗРАБОТКА УЛЬТРАЗВУКОВОГО ИЗМЕРИТЕЛЯ СКОРОСТИ ВОДЫ ДЛЯ ИРРИГАЦИОННЫХ КАНАЛОВ

Местные скорости потока воды в открытых руслах измеряют преимущественно гидрометрическими вертушками типа ГР-55 и ГР-99. Существенные недостатки измерения скорости подобными средствами — большая трудоемкость обработки показаний, которая при многократных и длительных измерениях приводит к увеличению ошибок, допускаемых экспериментаторами, а также низкая их эксплуатационная способность.

В последнее время значительно распространены ультразвуковые частотно-импульсные методы измерения скорости жидкостности. Наибольший интерес представляет применение этих методов для измерения скорости воды в открытых руслах.

В частотно-импульсных ультразвуковых устройствах, контролирующих скорость движения жидкости, мерой исследуемого параметра является разность частот автоциркуляции импульсов в замкнутой электроакустической цепи при распространении их по направлению потока и против него.

Предлагаемый ультразвуковой измеритель скорости (УЗИС) выполнен в виде двух параллельно размещенных обтекателей с установленными на них вибраторами — с целью минимального искажения структуры исследуемого потока в проточной части чувствительного элемента УЗИС. Общая конструкция датчика допускает стационарное закрепление его в потоке на требуемой глубине, а при использовании специального держателя возможна также работа на вертикальной штанге или гидрометрическом грузе по аналогии с вертушкой.

Независимость характеристик датчика от колебаний температуры воды предопределили выбор частотно-пакетного принципа его работы [1]. Недостаток этого метода, заключающийся в малой чувствительности при измерениях скорости потока в диапазоне от 0,1 до 2,5 м/с, компенсируется довольно просто, путем преобразования схемы, например, путем многократного усиления —



полезного частотного сигнала.

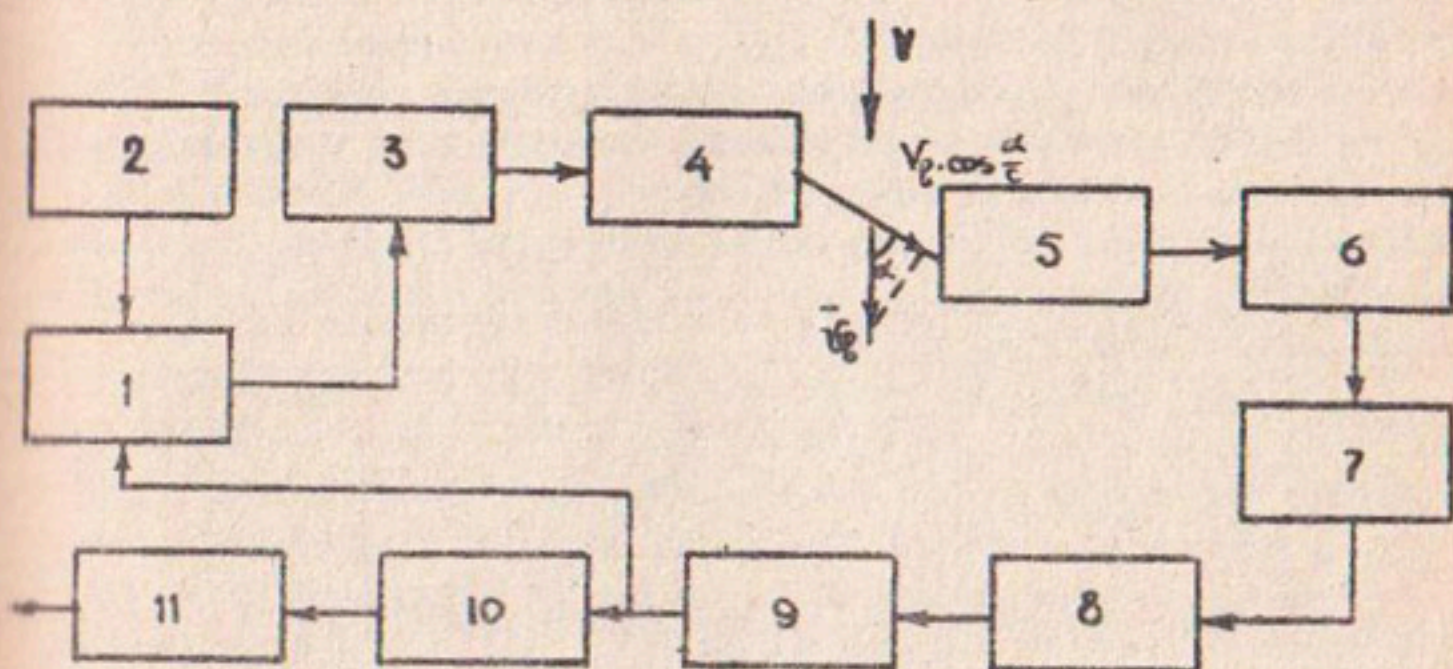


Рис.1. Структурная схема одного канала датчика:  
 1 — усилитель-манипулятор; 2 — генератор частоты;  
 3, 6 — согласующие каскады; 4 — вибратор-передатчик;  
 5 — вибратор-приемник; 7 — усилитель-ограничитель;  
 8, 9 — детектор и усилитель частоты; 10 — формирователь пилообразного напряжения; 11 — умножитель "x8".

Датчик построен по двухканальной схеме, одна из которых осуществляет передачу — прием ультразвуковых УЗ пачек импульсов по течению, а другая — против. Схема одного канала датчика представлена на рис.1.

Генератор вырабатывает относительно стабильные высокочастотные колебания  $f_1$ , лежащие в области резонансной частоты пьезокерамических вибраторов данного канала. После эмиттерного повторителя напряжение поступает на электронный ключ, открытый до момента прихода начала посылки к приемнику и закрытый во время ее приема, после чего он снова открывается и процесс повторяется, т.е. устанавливается режим автоциркуляции с частотой  $f_1$ , затем колеба-



ния усиливаются, и через согласующий каскад возбуждают вибратор — передатчик. Далее на вибраторе-приемнике наводится ВЧ э.д.с., которая после согласующего каскада и усилителей-ограничителей поступает на детектор огибающей пачки, имеющий постоянную времени  $10 T_{\text{ИЗ}}$ , т.е. случайное рассеяние в воде нескольких периодов несущей детектором частоты замечено не будет. Усиленное напряжение низкой частоты передается на линию и на ключ — манипулятор передатчика. После линии сигнал поступает на формирующий каскад, вырабатывающий пилообразное напряжение, удобное для двухполупериодного выпрямления, т.е. умножения частоты.

Расположение УЗ вибраторов в потоке (см.рис.1) нами выбрано из соображения минимизации искажения в конструкции датчика эпюры скоростей в контролируемом пространстве потока и получения требуемого уровня выходного сигнала преобразователя. Угол  $\alpha$  разворота пластин по отношению к вектору средней скорости выбран равным  $75^{\circ}30'$  и при этом составляющая  $V_{\theta} \cdot \cos \alpha$ , непосредственно влияющая на время прохождения УЗ от передающего вибратора к приемному, равна четверти значения скорости потока.

При расстоянии  $L$  между вибраторами, выбранном равным 200 мм, искаженный поток, обтекающий конструкцию, ориентировочно имеет суммарную ширину не более  $20 \div 25$  мм, т.е. отношение неискаженной части ко всему измеряемому потоку доходит до  $0,8 \div 0,9$ . В этом одно из преимуществ УЗИС перед вертушками, у которых при диаметре лопастей 80 мм (если условно считать, что лопасти не искажают скоростную структуру) имеется обтекаемый корпус диаметром около 20 мм.

Частота прохождения УЗ волнового пути от излучателя к приемнику определяется соответствующими выражениями:

по потоку

$$F_1 = \frac{C_1 + V_{\theta} \cdot \cos \alpha}{2L} ; \quad (1)$$

против потока

$$F_2 = \frac{C_1 - V_{\theta} \cdot \cos \alpha}{2L} , \quad (2)$$

где  $C$  — скорость продольной ультразвуковой волны.



Разностная частота, воспринимаемая схемой преобразования, равна

$$\Delta F = F_1 - F_2 = \frac{v_b \cdot \cos \alpha}{L} \quad (3)$$

При выбранных геометрических размерах  $\cos \alpha = 0,25$ ,  $L = 20$  см имеем:

$$\Delta F = \frac{1}{80} \cdot v_b.$$

После повышения чувствительности УЗИС методом "увосьмерения" частоты получаем  $\Delta F = 0,1 \cdot v_b$ . При интервале осреднения 10 с приходим к соотношению  $\Delta F = v_b$ , т.е. частоте в 1 гц соответствует измерение скорости в 1 см/с. При 100-секундном осреднении погрешность измерения скорости снижается до 0,1 см/с.

Для уменьшения погрешностей, вызываемых несовершенством конструкции, необходимо пары вибраторов по течению и против него располагать как можно ближе друг к другу. Однако это вызывает "паразитную" взаимосвязь между половинами датчика, значительного уменьшения которой можно добиться разносом несущих частот.

Номинальные значения частот выбираем по минимуму рассеяния энергии УЗ воздушными пузырьками и взвешенными частицами, размеры которых не должны превышать половину длины волны, т.е. частоты в 700 кГц и 1000 кГц, соответствующие длинам волн  $\lambda_1 = 2,14$  мм и  $\lambda_2 = 1,5$  мм соответственно.

Исходя из требований к механической прочности и стойкости к коррозии конструктивных элементов преобразователя, обтекатели и защитные мембраны выполняются из материала типа дюраль Д 16-Т. Минимум затухания УЗ в защитной мембране наступает при толщине ее несколько меньшей  $\lambda/2$  /2/. При скорости УЗ в дюрале 6200 м/с для вибраторов с частотой  $f_1 = 1000$  кГц толщина мембран составит 3,1 мм, а для вибраторов  $f_2 = 700$  кГц - 4,4 мм.

Исходя из приемлемого ослабления сигнала и с целью упрощения конструкции берется одинаковая толщина защитных мембран для обоих каналов, равная  $\ell_m = 1$  мм. Непараллельность плоскостей мембран существенно влияет на затухание



сигнала, коэффициент затухания которого определяется как  $K_{\gamma} = e^{-1,39\gamma}$ , где  $\gamma$  — угол, образованный плоскостями. Для вибраторов  $f_1 = 1000$  кГц и  $f_2 = 700$  кГц ослаблению 0,9 соответствует допуск на непараллельность сторон мембран  $\pm 0,02$ .

Ослабление сигнала вследствие взаимной непараллельности мембран менее заметно, но тоже существенно и определяется выражением  $K_{\beta} = e^{0,425\beta}$ , где  $\beta$  — угол, образованный мембранами. Для обоих каналов конструктивно достижимое значение допуска составляет  $\pm 0,1$  мм, при этом ослабление сигнала равно 0,85.

Надежный акустический контакт между мембраной и рабочей поверхностью пластин достигается за счёт шлифовки поверхности мембраны и последующего склеивания токопроводящим клеем. С внутренней стороны к пластине припаивается центральный проводник микроаксиального кабеля. Мембрана крепится на поверхности обтекателя четырьмя винтами, а герметизация достигается установкой специальной резиновой прокладки. Конструкция "вилки" датчика обладает достаточной жесткостью, чтобы выдержать допуск на непараллельность плоскостей обтекателей не более  $\pm 0,1$  мм.

Задавшись значением допуска, оценим погрешность, возникающую вследствие геометрического неравенства путей УЗ по каналам. С учетом толщины мембран  $\ell_m$  расчетная формула имеет вид

$$\delta \cdot \Delta F = \frac{\Delta L}{L \cdot 2\ell_m}, \quad (4)$$

где  $\delta \cdot \Delta F$  — относительная погрешность измерения частоты, значение которой при выбранных размерах составит 0,05%.

Допуск на расстояние между плоскостями обтекателей с вибраторами принимаем равным  $\pm 0,2$  мм. Погрешность измерения при этом достигает  $\pm 0,1\%$ . Погрешность, обусловленную разностью скоростей УЗ по каналам датчика вследствие разности температур (ориентировочно  $\Delta t = 0,0001^\circ\text{C}$ ) и концентрацией примесей (также  $\Delta \rho = 0,0001$  г/л), оценим по следующей формуле [1]:



$$\delta \Delta F_c = \frac{50 c (b \cdot \Delta t + a \cdot \Delta q)}{v \cdot \cos \alpha}, \quad (5)$$

где  $b = 2,5 \cdot 10^{-3}$  — относительный температурный коэффициент;

$a = 0,8 \cdot 10^{-3}$  — коэффициент концентрации.

При средней скорости воды 1,5 м/с эта составляющая погрешность равна  $\delta \Delta F_c = 0,064\%$ .

Погрешность, обусловленная изменением расстояния между плоскостями обтекателей с вибраторами под действием теплового расширения стальных частей конструкции УЗИС в проекции на ось  $L$ , не превышает  $\frac{\Delta L}{L} \pm 0,025\%$  при диапазоне колебания рабочих температур оросительной воды  $\pm 20^\circ \text{C}$ .

При оптимальной конструкции преобразователя и электронной схемы значения рассмотренных выше погрешностей, вносимых при изменении геометрических и температурных факторов, практически малы, и ими можно пренебречь. Электронная схема приемопередатчика, вырабатывающего частоту автоциркуляции, и умножитель частоты на восемь погрешности не имеют.

Действительно, несущая частота автоциркуляции УЗ пачек в стоячей воде ( $v = 0$ ) составляет  $F_0 = 3750$  Гц, а при максимальной скорости 5,0 м/с общее изменение частоты  $\Delta F = 6,25$  Гц; измененная частота располагается симметрично относительно  $F_0$  и составляет  $3750 \pm 3,125$  Гц. Следовательно, можно считать, что с точки зрения умножения частоты отмечается случай квазипостоянной частотной последовательности.

Как известно [3], наиболее оптимальный метод умножения частоты при ее незначительных изменениях — формирование треугольного напряжения с последующим двухполупериодным выпрямлением. Переходные процессы при этом, связанные с установлением постоянной составляющей на разделительных конденсаторах, будут занимать ничтожно малое время. Для сохранения умножителем после скачка входной частоты номинального коэффициента умножения необходимо, чтобы допустимая величина скачка не превышала  $1/M$  исходной части, то есть в умножителе отношение  $F_0/M = \frac{3750}{8} \gg 3,125$  Гц. Таким образом, в УЗИС условие безошибочности выполняется.

Погрешность датчика значительно возрастает при асим-



метрии каналов /1/, и это налагает жесткие требования к конструктивному исполнению. Работа прибора в целом зависит также от точности установки интервалов осреднения.

Для сопоставления погрешности датчика с погрешностью общего измерения скорости, оценим влияние нестабильности прецизионных часов, выполненных на основе автогенератора с вакуумным кварцевым резонатором. Временной нестабильностью кварца  $\pm 1 \cdot 10^{-8}$  за час работы можно пренебречь ввиду ее малости по сравнению с температурной нестабильностью  $\pm 1 \cdot 10^{-7}$  град $^{-1}$ .

Рабочие температуры прибора в эксплуатационный период колеблются в диапазоне  $10 \div 40$  С, т.е. суммарная погрешность установки интервала осреднения  $\pm 1,5 \cdot 10^{-6}$ . После умножения частота автоциркуляции  $F_8 = 3750$  Гц  $\cdot 8 = 30$  кГц, т.е.  $T_{\text{пер}} = 33$  мс. При  $t_{\text{оср}} = 10$  с погрешность его составит  $15$  мс, т.е. менее половины периода следования входных импульсов.

В зависимости от фазы по отношению к началу времени осреднения возможно выпадение одного входного импульса, что дает ошибку 1 см/с. Поэтому при  $t_{\text{оср}} = 10$  с считаем ошибку, зависящую от погрешности часов, равной  $\pm 0,5$  см/с. Относительное ее значение колеблется от 5% (при  $V = 0,1$  м/с) до 0,1% (при  $V = 5,0$  м/с). При  $t_{\text{оср}} = 100$  с погрешность часов равна  $\pm 150$  мс, т.е. возможно выпадение пяти импульсов, что соответствует ошибке в измерении скорости  $0,4 \div 0,5$  см/с. Радикальный способ уменьшения погрешности измерения на порядок — термостатирование кварца, к которому, очевидно, следует обращаться при особо ответственных измерениях.

Функциональная схема ультразвукового измерителя скорости (УЗИС) приведена на рис.2. На выходе датчика имеются две последовательности:  $8F_{\text{по}}$  и  $8F_{\text{пр}}$  против импульсов, численная разность между которыми и есть значение средней скорости за интервал осреднения. С датчика каждая из последовательностей импульсов поступает на свой счётчик. Необходимая емкость счётчиков выбирается из следующих соображений.

Максимальное время осреднения, предусматриваемое прибором, равно 600 с. За этот период при максимальной скорости воды  $V = 5,0$  м/с датчик выдает определенное количество импульсов, которые различаются между собой на число  $N$  :



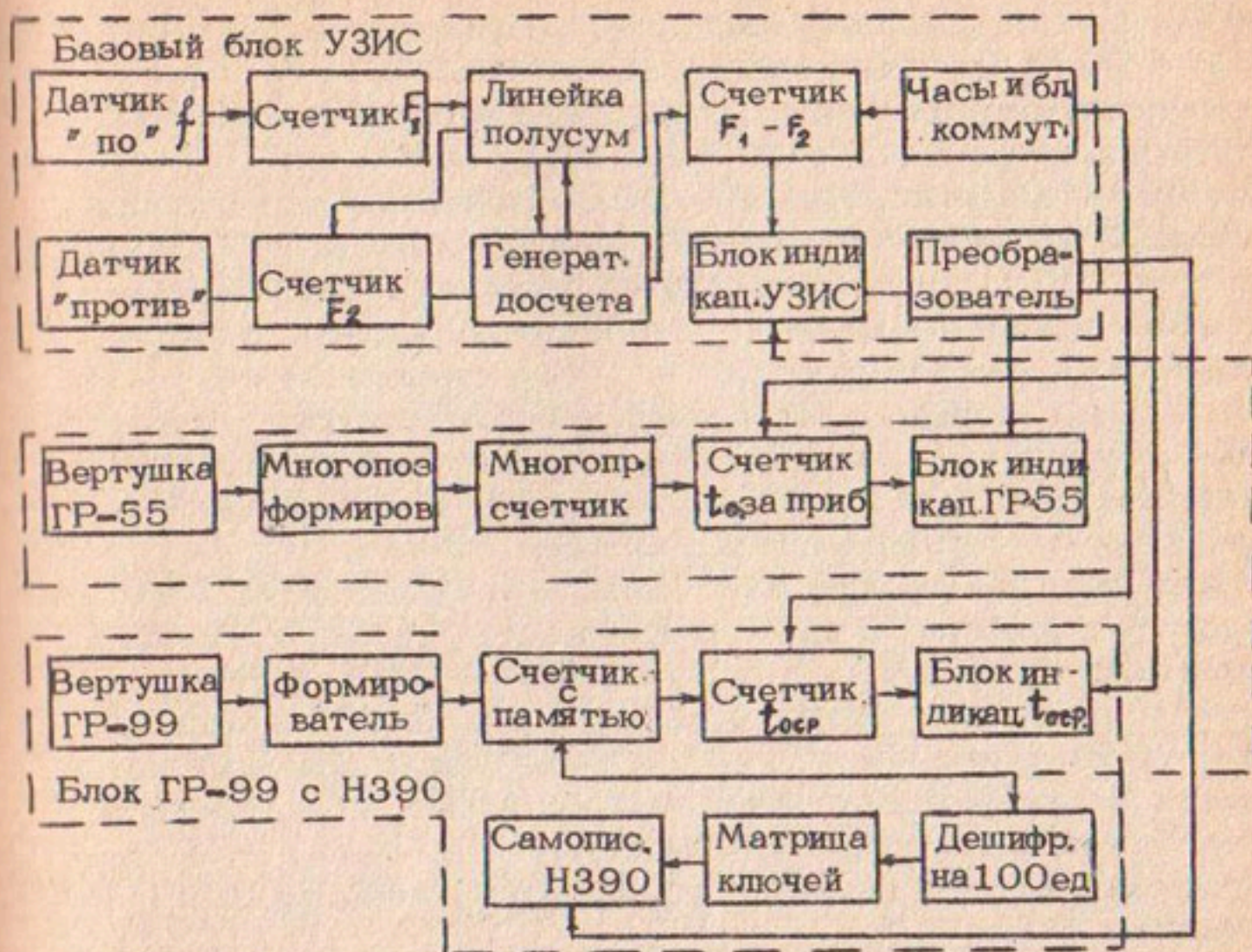


Рис. 2. Функциональная схема УЗИС с дополнительными блоками.

$$N = t_{\text{оср}} [(F_1 - F_2) 8] = 600 \cdot 6,25 \cdot 8 = 30000 \text{ имп.}$$

Очевидно, полное количество импульсов  $N$  подсчитывать нет смысла ввиду совпадения состояний счётчиков после 15 триггеров ( $\sum 2^{14} > 30000$ ).

В момент окончания времени осреднения с блока коммутации поступает запрет счётчикам по входам от датчика, но выдается разрешение счётчику  $F_2$  по входу от генератора досчёта, который максимум за  $170 \text{ мкс}$  заполняет этот счётчик импульсами до состояния счётчика  $F_1$ . Равенство содержимого счётчиков анализируется линейкой полусумматоров, которая при этом выдает соответствующую команду генератору досчёта. Одновременно с дополнением  $F_2$  счётчик заполняется разностной частотой



той ( $F_1 - F_2$ ), поступающей далее на блок индикации УЗИС.

После момента совпадения счётчиков  $F_1$  и  $F_2$  блок коммутации сбрасывает их в нулевое состояние и разрешает работу с датчиком. Точное время осреднения с этого момента до момента окончания выдерживается специальным субблоком часов. Кварцевые часы выдают метки времени 1, 10, 50, 100, 300 и 600 с, что и обеспечивает соответствующим блокам прибора требуемый интервал осреднения. В первом варианте УЗИС используются лишь 10- и 100-секундные метки.

Блок индикации отображает величину скорости в абсолютных значениях ее для УЗИС или количество оборотов за интервал осреднения для ГР-99 на линейке из 4 ламп. Переключение режимов осуществляется переводом счётчика  $F_1 - F_2$  в режим регистра памяти, т.е. одновременная индикация этих величин в приборе не предусматривается. Трехразрядный блок индикации индицирует время осреднения в секундах. Блок, состоящий из 5 ламп, визуализирует время с начала измерения, а при работе с вертушкой ГР-55 — время между приемами измерений. Блоки индикации выполнены на лампах ИН-4, исполнение блоков преобразователей реализовано на транзисторно-тиристорных ключах, диодных дешифраторах и интегральных микросхемах серии 217.

Преобразователь напряжения обеспечивает питание индикаторных ламп напряжения  $+100$  В и  $-80$  В, а также выдает напряжение переменного тока 220 В мощностью 15 Вт и частотой 50 Гц для работы самописца типа Н 390, который можно подключать при автоматической записи скорости при измерениях вертушкой ГР-99 или УЗИС.

### Л и т е р а т у р а

1. Б и р г е р Г.И., Б р а ж н и к о в Н.И. Ультразвуковые расходомеры. М., "Металлургия", 1964.
2. Б а б и к о в С.И. Контроль уровня с помощью ультразвука. М., "Энергия", 1971.
3. Н о в и ц к и й П.В., К н о р р и н г В.Г., Г у т н и к о в В.С. Цифровые приборы с частотными датчиками. Л., "Энергия", 1970.



А.В.БОЧАРИН, канд.техн.наук

Т.И.ГОЛУБЕВА, инженер

(САНИИРИ им.В.Д.ЖУРИНА)

## МЕТОДИКА КОРРЕКТИРОВКИ ВОДНОГО БАЛАНСА ОРОСИТЕЛЬНОЙ СЕТИ В УСЛОВИЯХ НЕСТАБИЛЬНОСТИ РАСХОДОВ

Эксплуатационные потери являются одним из неопределенных элементов работы оросительных систем и в настоящее время пока нет установившегося представления как об их природе, так и величине. Имеющиеся скудные данные связывают возникновение потерь с возможностью утечек через шты, переливы, аварийные или случайные сбросы и др. С этой точки зрения, по мере роста технического уровня оросительных систем и повышения качества эксплуатации эксплуатационные потери должны были бы уменьшиться до нуля. Однако в действительности этого не происходит. Следовательно, необходимо искать иные причины существования эксплуатационных потерь. С нашей точки зрения, причина возникновения потерь заключается в частой перерегулировке расходов в голове и на узлах водodelения оросительных систем, вызываемой изменением водоносности источников орошения и потребностей хозяйств. В самом деле, если представить себе абстрактную систему, работающую при стабильных расходах во всех звеньях, то балансовые измерения дадут нам практически постоянные значения КПД. Как только мы начинаем изменять расходы, то получаем уже целую гамму значений КПД, резко отличающихся друг от друга. При этом совершенно не удается установить какую-либо закономерность их изменения с позиций обычных представлений о природе фильтрационных потерь. В таких условиях более правомочным будет рассматривать работу системы не в статическом состоянии, а в непрерывной динамике, ей свойственной, в состоянии неустановившихся режимов движения.

В пользу такого представления можно привести следующие доводы:

— всякое изменение расходов в любом пункте оросительной системы оказывает влияние на всю систему и, в соответствии с теорией волновых процессов, требует для стабилиза-



ции режима движения довольно длительного времени, сопоставимого с наступлением другого вынужденного изменения;

— время перерегулировки расходов в различных звеньях оросительной системы, как правило, не совпадает, что увеличивает длительность неустановившегося режима движения, который, в свою очередь, представляет собой сумму локальных возмущений.

Таким образом, если гипотезу о работе оросительной системы в условиях неустановившегося режима движения считать доказанной, то проясняется и вопрос о природе эксплуатационных потерь, которые обусловлены наложением погрешностей существующих средств и способов измерения расходов в условиях неустановившегося режима движения. Как правило, применяемые средства измерения рассчитаны на равномерный режим движения и любое его изменение не будет укладываться в пределы тарифовочных кривых. Кроме того, дискретный способ измерения (3-4 замера в сутки) лишь в малой степени учитывает непрерывность изменения расходов, что также вызывает погрешности измерения. Отсюда вытекает, что величина эксплуатационных потерь прямо связана с параметрами перерегулировки расходов на оросительной системе. Чем выше амплитуда и частота изменений расходов, тем больше расхождение между фактическими и вычисленными потерями.

Как уже указывалось выше, колебания расходов носят бессистемный, случайный характер, поэтому не представляется возможным установить их логическую связь с величиной эксплуатационных потерь. Нами предлагается приближенный способ их определения, основанный на допущении гипотезы о нормальном законе изменения величин расходов в оперативный отрезок времени (декада, пятидневка) и о пропорциональности амплитуды колебаний расходов величине эксплуатационных потерь. При этом исходим из того, что фиксируемые в общепринятом порядке изменения расходов являются выборочной оценкой, дисперсия генеральной совокупности которых определяет величину эксплуатационных потерь, равную

$$\Delta\eta = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Q_{cp} - Q_i)^2}{Q_{cp}^2 \cdot n}}, \quad (1)$$



где  $Q_{cp}$  — средний расход воды за рассматриваемый отрезок времени;

$Q_i$  — измеренные расходы воды;

$N$  — число измерений расходов.

Так как в практических условиях вычисление эксплуатационных потерь по формуле (1) представляет известные трудности, то для упрощения расчёта несколько схематизируем картину колебания расходов. На практике наблюдения за расходами производятся через равные интервалы времени (обычно через 8 или 6 часов). Если свести данные замеров в ранжированный ряд и задаться определенной закономерностью его, то появляется возможность упрощения расчёта. На рисунке сплошной линией изображен фактический ранжированный ряд по каналу и схематизация его, построенная в виде линейной функции, изменяющейся от  $Q_{max}$  до  $Q_{min}$  (пунктирная линия). К построению такой схемы можно подойти, исходя из равенства стоков воды, определяемых отклонением максимальных и минимальных расходов относительно среднего значения за рассматриваемый интервал времени. Расчёт по схематизированной эпюре дает идентичное с фактической эпюрой значение расхода. Из рассмотрения треугольников следует:

$$\left. \begin{aligned} \frac{1}{2}(Q_{max} - Q_{cp}) \cdot t_1 &= \frac{1}{2}(Q_{cp} - Q_{min}) t_2 \\ \frac{t_1}{Q_{cp} - Q_{min}} &= \frac{Q_{max} - Q_{cp}}{t_2} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

где  $Q_{max}$ ,  $Q_{cp}$ ,  $Q_{min}$  — соответственно максимальные, средние и минимальные расходы системы;

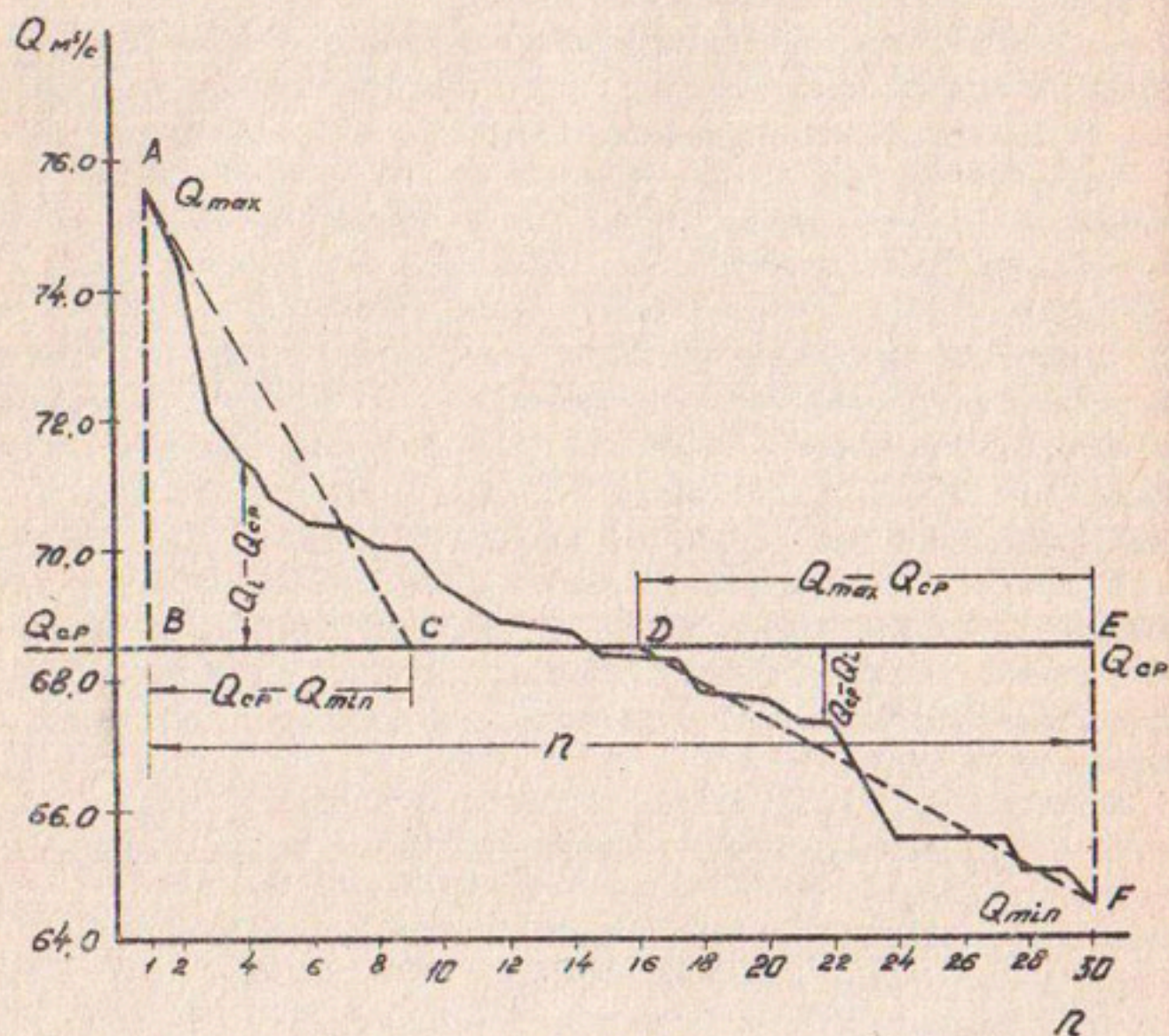
$t_1$  и  $t_2$  — интервалы работы системы при расходах больше и меньше среднего.

При решении уравнения (2) получаем:

$$\left. \begin{aligned} t_1 &= Q_{cp} - Q_{min} \\ t_2 &= Q_{max} - Q_{cp} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Если принять за начало координат точку пересечения схематизированной эпюры с линией среднего значения расхода, то уравнение эпюры расходов можно выразить таким образом:





Расчётная схема к определению эксплуатационных потерь воды.



$$(Q_i - Q_{cp}) = \frac{t_2}{t_1} x, \quad (4)$$

откуда получаем

$$\sum_{i=1}^n (Q_i - Q_{cp})^2 = \int_0^{Q_{cp} - Q_{min}} \left( \frac{t_2}{t_1} \right)^2 x dx \quad (5)$$

После элементарных преобразований получаем окончательное выражение

$$\Delta \eta = \sqrt{\frac{1}{3} \left( \frac{Q_{max}}{Q_{cp}} - 1 \right) \left( 1 - \frac{Q_{min}}{Q_{cp}} \right)} \quad (6)$$

Для упрощения расчёта значения нормативных эксплуатационных потерь в зависимости от величин  $\frac{Q_{cp}}{Q_{max}}$  и  $\frac{Q_{min}}{Q_{cp}}$  могут быть представлены в табличной или графической форме, которой удобно пользоваться при практических расчётах.

Для оценки изложенных решений были привлечены фактические данные по колебаниям расходов на различных каналах Узбекистана по 47 декадам и 14 пентадам. При этом по отдельным декадам колебания расходов фиксировались показаниями лимниграфов, а по пентадам — за каждый час.

Приемлемость упрощенного метода была подтверждена следующим образом:

— проверялась статистическая гипотеза о нормальном распределении колебаний расходов в определенный интервал времени;

— сопоставлялись фактические среднеквадратичные отклонения по формуле (1) и расчётные значения отклонений по выражению (6).

В первом случае предварительно произведено ранжирование данных и определена область изменения случайных величин  $X$  (колебаний расхода)

$$X = X_{max} - X_{min} = Q_{max} - Q_{min} \quad (7)$$

Далее строились интервальные вариационные ряды, для чего определялись оптимальные величины интервалов ( $h$ ) по формуле Стёрджеса



$$h = (x_{\max} - x_{\min}) / (1 + 3,322 \lg n) \quad (8)$$

За начало первого интервала принималась величина

$$a_1 = x_{\min} - \frac{h}{2} \quad (9)$$

Следующие интервалы находились по формуле

$$a_{i+1} = a_i + h \quad (10)$$

По всем интервалам подсчитывалось число наблюдений ( $m_i$ ); в тех случаях, когда количество наблюдений, попавших в некоторые интервалы, было слишком мало ( $m_i < 5$ ), эти интервалы объединялись с соседними, так как необходимым условием применения критерия Пирсона является наличие в каждом из интервалов по меньшей мере 5-10 наблюдений. На основании полученных данных были подсчитаны для каждого ряда средние арифметические  $\bar{X}$ , дисперсии  $\sigma^2$  и средние квадратичные отклонения  $\sigma$  по формулам

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{\sum_{i=1}^{\ell} m_i} \quad (11)$$

$$\sigma^2 = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 m_i}{\sum_{i=1}^{\ell} m_i} \right]$$

$$\sigma = \sqrt{\sigma^2} \quad (12)$$

Предполагая закон распределения известным, определяем теоретические вероятности ( $P_i$ ) с использованием функции Лапласа

$$P \{ t_1 < T < t_2 \} = \frac{1}{2} \Phi(t_2) - \frac{1}{2} \Phi(t_1) \quad (14)$$

и по каждому интервалу вычисляем теоретические частоты ( $np_i$ )

В качестве меры расхождения между эмпирическими ( $m_i$ ) и теоретическими ( $np_i$ ) частотами для  $i = 1, 2, \dots, \ell$  был использован критерий Пирсона

$$\chi^2 = \sum \frac{(m_i - np_i)^2}{np_i} \quad (15)$$

Одновременно определялось табличное значение критерия согла-



сия Пирсона  $\chi^2_{K;\alpha}$  по нормативным таблицам с учётом количества степеней свободы:

$$K = (\ell - n - 1). \quad (16)$$

Условием соответствия фактических колебаний расхода нормальному закону распределения принималось

$$\chi^2 < \chi^2_{K;\alpha}. \quad (17)$$

Во втором случае среднеквадратичные отклонения колебаний расхода определялись по формуле (6) или по графику, выполненному в соответствии с формулой (6).

Анализ произведенных расчётов показывает, что подавляющая часть фактических колебаний расхода отвечает нормальному закону распределения, т.е. выдвинутая и проверенная гипотеза может считаться подтвержденной.

Обработка данных по фактическим и расчётным значениям эксплуатационных потерь  $\Delta\eta$  показывает, что максимальное расхождение между ними не превышает 11,3%, а среднеквадратичная ошибка упрощенного метода определения эксплуатационного КПД составляет 4,8%.

К.А. АДЫЛОВ, канд.техн. наук

(САНИИРИ им.В.Д.ЖУРИНА)

## ОБ ОРГАНИЗАЦИОННЫХ ФОРМАХ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ХОЗЯЙСТВЕННЫХ ГИДРОМЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМ В УСЛОВИЯХ УЗБЕКИСТАНА

Решениями партии и правительства на водохозяйственные эксплуатационные органы возложена задача — оказать организациям-водопользователям квалифицированную техническую помощь в эксплуатации и улучшении хозяйственных гидромелиоративных систем. Основное внимание при этом обращается на осуществление их полного технического обслуживания.

Организационные формы технического обслуживания должны определяться такими его взаимосвязанными элементами, как состав участников, объем и структура работ. В наиболее простом виде состав участников может быть представлен только одним хозяйством-водопользователем, которое является одновре-



менно и исполнителем, и потребителем услуг. В наиболее сложном случае в техобслуживании может быть несколько участников: потребитель услуг (хозяйство), исполнитель (ремонтно-строительная организация), который, в свою очередь, может иметь субподрядчиков для выполнения специальных работ; посредник — государственная эксплуатационная организация. Состав участников будет определяться объемом и номенклатурой ремонтных работ. Однако в любом случае было бы неправильным исключать из состава участников государственные эксплуатационные органы, задача которых состоит, с одной стороны, в создании необходимых условий для эффективной работы хозяйственных систем, а с другой, — в техническом обслуживании, обеспечивающим их эффективную работу.

При выборе целесообразной формы техобслуживания нужно исходить, в первую очередь, из объема ремонтных работ. Действительно, в условиях Узбекистана объем работ техобслуживания хозяйственных мелиоративных систем в зависимости от природных и технических условий составляет в первом случае до 5 руб/га, во втором — до 15 руб/га и в третьем — более 40 руб/га. В пересчете на хозяйство это составляет в среднем от 2 до 80 тыс.руб., а на район — от 20 тыс. до 1 млн.руб. В первом случае одна средняя ремонтно-строительная ПМК может обеспечить услугами 50 административных районов, а во втором — только один. Естественно, что порядок взаимоотношений участников техобслуживания и его организационные формы должны в этих случаях существенно различаться.

В условиях, характерных для старых предгорных оросительных систем, где отсутствует дренаж, а земляная оросительная сеть мало заиляется и имеет незначительное количество сооружений, объем ремонтных работ составляет до 1 руб/га. При таких объемах главная задача состоит только в том, чтобы обязательно и регулярно выполнять эти работы. Исполнителем должно быть само хозяйство. Для этого при колхозной гидротехнике (или гидротехнике отделения совхоза) необходимо создать группу эксплуатации в составе 2-3 человек. В невегетационный период она вполне справится с ремонтными работами (на государственных системах линейный персонал в год выполняет ремонтных работ примерно на 2 тыс.руб.), а в вегетационный период обеспечит внутрихозяйственное водораспреде-



ние, надзор и технический уход за сетью.

На новых системах, особенно в мелиоративно неблагоприятных условиях, имеющих оросительную и коллекторно-дренажную сеть совершенных конструкций, большое количество сооружений, вспомогательных устройств и оборудования, объем ремонтно-эксплуатационных работ составляет 40 руб/га и более. Качественный состав этих работ требует участия специализированных ремонтно-строительных организаций. Поэтому техническое обслуживание таких систем сами хозяйства осуществлять не могут. Их исполнителями должны быть специализированные ремонтно-строительные организации, выполняющие работу на средства хозяйств.

Промежуточное положение занимают внутрихозяйственные системы со средним объемом ремонтных работ (до 10-15 руб/га). Здесь ремонт частично выполняется силами хозяйств, частично специализированными подрядчиками, документацию для которых готовит хозяйство или РайУОС. Ручная очистка мелкой сети должна осуществляться также силами хозяйств. Это снизит затраты хозяйств и избавит строительные организации от проблемы нехватки рабочей силы.

Вопрос о третьем участнике техобслуживания — государственной эксплуатационной организации, которой в условиях Узбекистана является РайУОС, не получил широкого освещения. Эта организация осуществляет методическое руководство и помощь в ремонте, контроль за ним и соответствующие санкции в случае их невыполнения. Во втором случае функции РайУОС укладываются. При большом объеме работ как по каждому хозяйству в отдельности, так и в целом по району РайУОС должен планировать и координировать деятельность ремонтно-строительных организаций. Ему целесообразно придать функцию подрядчика по техобслуживанию, осуществляющего последнее через субподрядчиков — ремонтно-строительные организации. В этом случае РайУОС сосредотачивает в своих руках все звенья техобслуживания: от подготовки исходной документации до финансовых расчетов, контроля качества и отчетности по выполненным работам.

В третьем случае РайУОС занимает в техобслуживании место, зависящее от реального объема и состава работ.

Эффективность и реальный успех техобслуживания будут



зависеть от ремонтно-строительных организаций. При первой форме техобслуживания эти организации в нем не участвуют, при второй — они должны быть комплексными специализированными по всем видам работ и обслуживать один-два района, где объем работ для них будет вполне достаточным. При третьей форме из-за рассредоточенности объема работ (в районе объем работ составит около 100–200 тыс.руб.) комплексная ПМК должна будет обслуживать несколько районов, что значительно увеличит дальность перемещения. Здесь более эффективным окажется использование специализированных ПМК.

В любом случае участие ремонтно-строительных организаций в техобслуживании внутрихозяйственных систем должно стимулироваться соблюдением следующих основных условий:

техобслуживание должно быть обеспечено нормативными документами, учитывающими специфику ремонтных работ;

годовой план ПМК должен только на половину состоять из ремонтно-строительных работ, чтобы капитальным строительством компенсировать неравномерность загрузки в течение года;

выполнение плана строительным организациям должно засчитываться в том случае, если выполнен план ремонтных работ.

М.С.КОЖЕВНИКОВА, канд.техн.наук  
И.В.ОСАДЧАЯ, инженер

(САНИИРИ им.В.Д.ЖУРИНА)

## ВОПРОСЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ ИРРИГАЦИОННЫХ ВОДОХРАНИЛИЩ СРЕДНЕЙ АЗИИ

В связи с ростом орошаемых площадей с каждым годом увеличивается дефицит воды. Недостаток в воде может быть в какой-то степени компенсирован мероприятиями, направленными на экономное и рациональное расходование ценнейшего природного ресурса: внедрением новых прогрессивных систем орошения, сокращением непроизводительных потерь воды, улучшением эксплуатации водохранилищ и т.д. В этих условиях все большее значение приобретают вопросы, связанные с правильной постановкой эксплуатации ирригационных водохранилищ.



Водохранилища Средней Азии имеют ряд особенностей, отличающих их от водохранилищ европейской части Советского Союза.

По характеру регулирования стока — это, в основном, водохранилища сезонного регулирования. Многолетнее регулирование осуществляется на некоторых водохранилищах (Пачкамарское, Джизакское, Каттакурганское) только в многоводные годы.

Почти все плотины ирригационных водохранилищ сложены из местных материалов с суглинистым ядром или экраном. Длина плотин колеблется в широком диапазоне: от 0,200 (Куюмазарское) до 7,4 км (Чимкурганское), высота — от 10 до 70 м. Длина водохранилищ — 2÷20 км. Максимальные глубины в наливных водохранилищах достигают 40 (Найманское — 37,6), а в русловых — 70 м (Каркиданское — 66, Пачкамарское — 62, Каттасайское — 63 м).

Ирригационные водохранилища имеют очень высокую степень использования чаши, которая оценивается объемным морфометрическим показателем  $\frac{V_{\text{полезн.}}}{V_{\text{полн.}}} \cdot 100\%$ . Эта величина для существующих водохранилищ Средней Азии составляет, в основном, 90–97% и только степень использования чаши Учкызылского водохранилища составляет 50%, Каттасайского — 61%, Южносурханского — 77%.

По сравнению с такими крупными водохранилищами, как Волгоградское, Горьковское, Куйбышевское, Цимлянское, Братское /1–2/, характеризующимися небольшой глубиной сработки (от 1 до 10 м), все среднеазиатские водохранилища имеют очень большую глубину сработки, достигающую на некоторых (Кассансайское, Каркиданское, Пачкамарское, Ахангаранское и т.д.) 50 м /3/.

Описанные особенности среднеазиатских водохранилищ отражаются и на режиме их работы.

Анализ материалов по эксплуатации водохранилищ показал, что режим их работы в основном состоит из одноктового цикла, т.е. наполнение водохранилища производится с момента появления свободного стока в реке (сентябрь–октябрь), затем (июль–август) запасы воды срабатываются. Даты начала наполнения и сработки всех рассмотренных водохранилищ почти совпадают (рисунок).



## Многоводный год



## Маловодный год



Режим работы русловых водохранилищ.



Максимальный темп наполнения и сработки на некоторых водохранилищах очень высок: на Кассансайском суточный подъем уровня достигает 172 см, а сработка — 174 см; на Ташкентском — соответственно 108 см и 126 см, на Ортотокойском — 97 и 143 см, на Каттакурганском — 69 см и 90 см и т.д. Следовательно, темпы наполнения и сработки также специфичны только для среднеазиатских водохранилищ.

Режим работы водохранилища является одним из самых главных вопросов эксплуатации, определяющим судьбу и сохранность сооружений, а также возможность эффективного использования речного стока. Он должен обеспечивать: выполнение государственного плана по созданию запасов воды; соблюдение нормальных условий эксплуатации и безопасность сооружений; минимальный объем заиления чаши; транспорт в нижний бьеф наносов; сокращение потерь на испарение и фильтрацию; предотвращение затопления и подтопления земель, прилегающих к водохранилищу; санитарные нормы состояния чаши и качество воды /5/.

Для каждого водохранилища ежегодно должны составляться диспетчерские графики, представляющие собой выраженную графически совокупность правил, определяющих порядок наполнения и расхода воды в зависимости от гидрологического прогноза и планов водопользования.

Повышение эффективности эксплуатации и выполнение запланированного режима работы водохранилища, как показал опыт эксплуатации, зависят от уровня гидрометеорологического обслуживания. Все еще допускаются серьезные ошибки в долгосрочных и краткосрочных водных прогнозах, которые ставят в тяжелое положение службу эксплуатации водохранилищ.

Для годового стока среднеазиатских рек характерна цикличность чередования лет разной водообеспеченности: так, для бассейна Амударьи маловодные годы наступают через 4-6, а многоводные — через 6-10 лет; для бассейна Сырдарьи маловодные периоды продолжительностью 4-5 лет наступают через 2-5 лет, многоводные бывают единичными /6, 7/. Такое положение тоже создает специфику в эксплуатации ирригационных водохранилищ. Поэтому служба эксплуатации проявляет большую осторожность к срокам наполнения водохранилищ, т.е. наполнение производят с момента появления свободного стека



в реке даже в многоводные годы независимо от степени зарегулированности стока (см. рисунок).

От режима работы водохранилища зависят сохранность и устойчивость сооружений, срок службы, объемы заиления, потери на испарение, фильтрацию, мелiorативное состояние земель, прилегающих к чаше водохранилища.

Месячный слой испарения с водной поверхности, по среднемуголетним данным, достигает на водохранилищах 300 мм (Куюмазарское) и даже в апреле эта величина равна 80–100 мм.

В те месяцы, когда водохранилище стоит наполненным, потери на испарение и фильтрацию составляют 15–20% от поступающего стока.

Пропуск паводка даже в многоводные годы (такой режим работы характерен для среднеазиатских водохранилищ) осуществляется вынужденно через наполненное водохранилище. Так, например, на Чимкурганском водохранилище пик паводка в многоводный 1969 г. прошел в апреле при максимальной отметке наполнения водохранилища и только во второй половине июля началась сработка. Такой режим работы приводит к большому объему отложений наносов.

Заиление водохранилищ происходит в 2–3 раза быстрее, чем это предусматривается проектом. Так, проектный срок заиления мертвого объема Чимкурганского водохранилища – 42 года; по данным Кайраккумской обсерватории, в 1973 г. объем заиления составил 54 млн.м<sup>3</sup>, т.е. практически заиление мертвого объема произошло за 14 лет. Мертвый объем Пачкамарского водохранилища заилен за 5 лет, вместо 25 по проекту, Южносурханского за 7 лет вместо 15 [8]. Ташкентское водохранилище эксплуатируется с 1960 г. и объем заиления уже достигает 59 млн.м<sup>3</sup>, что составляет пятую часть от его полного объема. Быстрый темп заиления наблюдается на многих водохранилищах. Такое расхождение фактического объема заиления с проектным говорит о необходимости организации наблюдений за переработкой берегов, склоновой эрозией, за заилением и занесением водохранилищ. На основании полученных материалов и литературных проработок следует разработать методику прогнозирования заиления среднеазиатских водохранилищ с учетом специфики их режима работы, цикличности многоводных и маловодных лет, а также наметить меры борьбы с заилением.



Таким образом, режиму работы водохранилищ необходимо уделять особое внимание и для каждого водохранилища должен быть разработан оптимальный режим, соответствующий правилам эксплуатации и способствующий более рациональному использованию водных ресурсов.

В некоторых случаях необходимо организовать специальные производственные исследования по установлению оптимальных темпов наполнения и сработки водохранилища при различных уровнях воды в верхнем бьефе.

При остром дефиците воды, увеличивающемся с каждым годом, ирригационные водохранилища должны переходить на многолетнее регулирование стока для повышения водообеспеченности оросительных систем.

При составлении проектов необходимо предусматривать возможность сработки мертвых объемов в условиях чрезвычайно маловодного периода, тем более что такой период уже наблюдался в 1973–1974 гг. с 98%-ной обеспеченностью стока по бассейнам Сырдарьи и Амударьи.

Водный баланс — главная характеристика водохранилища, основа всех видов исследований.

Анализ материалов эксплуатации показал, что при составлении водного баланса на всех водохранилищах получаются большие неувязки по следующим причинам /6/.

1. Несоответствие уровней воды фактическим объемам. Заиление водохранилищ происходит интенсивно, следовательно, необходимо периодически уточнять кривые зависимости площадей и объемов от уровней воды. В настоящее время нет единой организации, которая бы занималась определением объемов заиления чаши водохранилищ в плановом порядке и корректировкой

$$V = f(H) \text{ и } F = f(H).$$

2. Неверное определение величины испарения и фильтрации через тело плотины.

3. Отсутствие учета фильтрации через ложе и в обход плотины.

4. Недоучет большой грунтовой аккумуляции в прибрежной зоне.

5. Недоучет возвратных вод.

6. Не учитываются боковая приточность, осадки.

7. Ошибки в измерениях уровня воды при ветроволно-



вых явлениях.

8. В некоторых случаях отсутствие тарировки водопропускных сооружений.

9. Неусовершенствованное гидрометрическое оборудование (до сих пор наблюдения за уровнем воды проводятся по реечным постам, метрологическая поверка оборудования не проводится).

10. Субъективные ошибки при наблюдениях.

Служба эксплуатации водохранилищ часто не укомплектована квалифицированными кадрами, поэтому формы технической документации заполняются небрежно, годовые технические отчёты не составляются или же составляются, но без глубокого анализа материалов эксплуатации.

Среднеазиатские водохранилища характеризуются сильным ветроволновым режимом, который имеет очень большое значение в вопросах определения запасов воды, переработки берегов, надёжности крепления верхового откоса и сохранности плотин и дамб. Исследования, проведенные лабораторией эксплуатации водохранилищ САНИИРИ на Ташкентском, Каттакурганском, Чардаринском, Джизакском, Талимарджанском, Гиссарском, Одырдагском водохранилищах, показали, что результаты наблюдений за ветровым режимом, по данным ближайшей метеостанции, автоматически переносить на исследуемый объект неправильно. Топографические условия (особенно в горной местности) таковы, что даже на небольших расстояниях (5-10 км) наблюдается значительная разница в характере ветрового режима /4/. Следовательно, на каждом водохранилище необходимо организовать натурные исследования по определению расчётной скорости ветра и высоты волны и на основании обобщения материалов разработать методику определения расчётных скоростей ветра и высоты волны.

На водохранилищах необходимо организовать наблюдения за качеством воды, особенно в период низких уровней, когда наблюдается поступление возвратных вод, и на основании этих исследований разработать прогноз качества воды.

В вопросах эксплуатации водохранилищ совершенно не затрагиваются вопросы влияния водохранилищ на окружающую среду и рекреационного их использования. Водохранилища непосредственно влияют на изменение водного баланса, затопление и подтопление земель, переформирование берегов, дна рек,



изменение гидрологического, гидрохимического и гидробиологического режимов. Характер изменения природных условий обусловлен физико-географическими особенностями района, параметрами водохранилища, режимом его эксплуатации и т.д.

Следовательно, для улучшения эксплуатации водохранилищ и продления срока службы необходимо:

1. Разработать оптимальные режимы работы водохранилищ для разных по водности лет с целью экономного и рационального использования водных ресурсов.
2. Разработать методику прогнозирования заиления водохранилищ.
3. Разработать мероприятия по сохранению полезной емкости водохранилища (борьба с заилением, занесением, переработкой берегов).
4. Разработать методы борьбы с непроизводительными потерями воды из водохранилищ.
5. Усовершенствовать качество и методы учёта воды.
6. Разработать прогноз качества воды на существующих водохранилищах.
7. Предусматривать в проектах возможность использования мертвого объема водохранилища в чрезвычайно маловодные годы.

Суммарная полезная емкость водохранилищ на 1980 г. составляет  $39,2 \text{ км}^3$ , и если в результате усовершенствования методов эксплуатации и более рационального использования водных ресурсов удастся сберечь 0,1 % накопленных запасов, т.е. примерно  $40,0 \text{ млн. м}^3$ , то этой водой (при оросительной норме для хлопчатника  $5000-8000 \text{ м}^3/\text{га}$ ) можно оросить  $5,0-8,0 \text{ тыс. га}$ . Если учесть, что один кубометр воды водохранилища стоит 0,05-0,08 руб., ежегодная экономия составит, примерно, 2,0 млн.руб.

### Л и т е р а т у р а

1. А в а к я н А.Б., Ш а р а п о в В.А. Водохранилища гидроэлектростанций СССР. М., "Энергия", 1977.
2. А в а к я н А.Б., С а л т а н к и н В.П., Ф о р т у н а т о в М.А., Ш а р а п о в В.А. Классифи-



- кация водохранилищ мира по важнейшим параметрам. "Гидротехническое строительство", 1978, № 12.
3. Кожеевникова М.С., Осадчая И.В. Основные параметры водохранилищ Средней Азии. Труды САНИИРИ, вып.134. Ташкент, 1971.
  4. Кожеевникова М.С., Осадчая И.В., Белесков Б.И. К методике определения расчетной скорости ветра и высоты волны для проектируемых водохранилищ. Сб. научных трудов САНИИРИ, вып.151. Ташкент, 1976.
  5. Кеберле С.И., Кожеевникова М.С., Осадчая И.В., Паринова Т.И. Типовая инструкция по эксплуатации ирригационных водохранилищ Средней Азии. Ташкент, САНИИРИ, 1979.
  6. Нежиховский Р.А. Гидротехнические расчеты и прогнозы при эксплуатации водохранилищ. Л., Гидрометеиздат, 1976.
  7. Ракитин К.А. Роль водохранилищ и их эффективность в условиях водного хозяйства Средней Азии. Труды САНИИРИ, Средазгипроводхлопок, вып.8. Ташкент, 1977.
  8. Рахимов Ю. Как продлить срок эксплуатации Южно-сурханского водохранилища. "Гидротехника и мелиорация", 1979, № 4.

У.Ю.ПУЛАТОВ, канд.техн.наук

(САНИИРИ им.В.Д.ЖУРИНА)

## РЕЗЕРВЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕХАНИЗАЦИИ РЕМОНТНО-ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ РАБОТ НА ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ

Содержание оросительных систем в надежном работоспособном состоянии сопряжено с необходимостью выполнения значительных объемов ремонтно-строительных работ, различных по виду и сложности. Особенно возросло значение ремонтных работ в последние годы в связи с резким увеличением орошаемых площадей и оснащенности систем, расположенных в засуш-



ливой части страны — Средней Азии, Южной части Казахстана и Азербайджане.

В аридной зоне ежегодно орошаются 8,4–8,6 млн. га земель; для этой цели построены 332 тыс. км открытых оросителей, 105 тыс. км коллекторно-дренажных открытых каналов, 199,9 тыс. гидротехнических сооружений, 5,4 тыс. скважин вертикального дренажа, 12,6 тыс. км лотковой сети, 31,2 тыс. км закрытых горизонтальных дрен, десятки тысяч километров дорог, ЛЭП и др.

Наиболее массовыми работами по техническому обслуживанию и ремонту систем являются земляные. Ежегодно по рассматриваемой зоне перерабатывается около 700 млн. м<sup>3</sup> грунта, из которых на очистку каналов (с учетом разравнивания грунта в отвалах — рашах) приходится 565,8 млн. м<sup>3</sup> или 82,1%. Объем других видов работ очень незначителен и составляет тысячные доли от земляных. Так, например, в Узбекской ССР на 1 м<sup>3</sup> бетона, используемого при ремонтных работах, приходится 10–12 тыс. м<sup>3</sup> земляных.

На работах по технической эксплуатации оросительных систем, в основном, используются землеройные и землеройно-транспортные машины — одноковшовые экскаваторы, бульдозеры, скреперы и землесосные снаряды. Экскаваторы представлены, главным образом, драглайнами и, в меньшей степени, обратными лопатами с ковшами емкостью до 1 м<sup>3</sup>, преобладают машины с ковшами малых емкостью — 0,35–0,50 м<sup>3</sup>. Бульдозеры, в основном, на гусеничных тракторах мощностью до 75 кВт; землесосные снаряды — плавучие, с производительностью по грунту от 50 до 250–300 м<sup>3</sup>/ч; скреперы — прицепные, с малыми и средними емкостями ковшей от 2,25 до 7–8 м<sup>3</sup>.

Из других машин следует назвать автокраны, грейдеры, дренопромывщики, катки, различные мелкие механизмы и оборудование для приготовления растворов и выполнения бетонных работ.

Неомотря на достижения в технической эксплуатации оросительных систем, механизация ремонтно-строительных работ, однако, значительно отстает от механизации строительно-монтажных. Если степень механизации земляных работ на гидромелиоративном строительстве составляет 99,8–99,9%, то на эксплуатационных работах этот процент не превышает обыч-



но 90-95.

Причин относительно невысокой степени механизации ремонтно-эксплуатационных земляных работ можно назвать много, но основными являются низкая оснащенность водохозяйственных организаций специализированной техникой и слабое внедрение новых организационных форм технической эксплуатации оросительных систем.

На эксплуатации систем используются, главным образом, общестроительные и дорожные машины, которые не всегда удовлетворяют требованиям, предъявляемым к ним мелиоративными работами, имеют низкие технико-экономические показатели и часто не обеспечивают нужное качество исполнения. В качестве примера можно привести очистку дрен экскаваторами-драглайнами, последние в ряде случаев не могут удалять наносы без расширения канала из-за необходимости подтягивания ковша перед подъемом к универсальной наводке. В результате проектом предусматривается объем очистки значительно больше необходимого:  $2-2,5 \text{ м}^3/\text{м}$  вместо  $0,5-0,6 \text{ м}^3/\text{м}$  /1/.

Практически указанная проблема, связанная со значительным сокращением объемов очистных работ, решается заменой обычных драглайнов драглайнами бокового черпания. Препятствием является существующая система учета и оплаты работы машин, основанная на объеме разработанного грунта, а не на протяженности очищенного канала, что при меньших (на 20-30%) производствах боковых драглайнов не стимулирует их применение.

Это говорит о необходимости пересмотра с целью совершенствования показателей, лежащих в основе планирования и учета работы техники на ремонтно-строительных работах, которые в ряде случаев отрицательно сказываются на стоимости и качестве работы и служат препятствием на пути внедрения эффективных специализированных машин. Результатом ремонта должна быть надежная и бесперебойная работа сооружения, а не величина объема произведенных работ /2/.

К слабо механизированным работам относится очистка мелкой оросительной и дренажной сети (каналы I типоразмеров), протяженность которой по зоне составляет 246,9 тыс. км. Согласно "Нормативам годовых загрузок и потребности в машинах для выполнения ремонтно-строительных работ на гидромелиора-



тивных системах" для содержания в рабочем состоянии мелких каналов по Узбекской ССР необходимо 540 каналоочистителей, производительностью 20-30 м<sup>3</sup>/ч и 630 — производительностью 50-70 м<sup>3</sup>/ч. Наличие этих машин, серийно выпускаемых нашей промышленностью под марками МР-7А, МР-12, МР-16 и ЭМ-152Б, позволит полностью исключить ручной труд и малопроизводительные одноковшовые экскаваторы на очистке внутрихозяйственной сети.

По заданию Минводхоза СССР САНИИРИ обследовал работу каналоочистителей ВК-1,2 и КН-0,6 в хозяйствах среднеазиатских республик и установил, что эти машины приобрели лишь несколько совхозов и колхозов УзССР, и главным образом из-за базового трактора.

Очевидно, решением вопроса содержания внутрихозяйственных каналов и сооружений в технически исправном и работоспособном состоянии путем проведения систематического технического обслуживания и ремонта является передача этих функций специализированным хозрасчётным организациям, оснащённым и снабжённым необходимой техникой, оборудованием и материалами.

С насыщением водохозяйственных организаций современной техникой и ростом объёмов, особенно ремонтно-эксплуатационных работ, производимых на действующих объектах, под слоем проточной воды, в подземных трубопроводах, в плавунных грунтах и т. п., все более высокие требования предъявляются к методам контроля качества и учёта объёма работ.

Широко применяемые геодезические методы с использованием мерной ленты, нивелира, теодолита и т. п. отличаются большой трудоёмкостью и громоздкостью и, что самое главное, не отвечают возросшим темпам работ. Задача сегодняшнего дня — широкое внедрение автоматических методов контроля и учёта при помощи консистомеров, эхолотов, работомеров, лазера, различных счётчиков и др., обеспечивающих большую оперативность и высокую точность.

Успешное осуществление комплексной механизации ремонтных работ требует точных объективных данных по общим и удельным объёмам работ, их распределению по видам и типоразмерам сооружений, так как эти данные служат исходной базой при расчёте качественного и количественного состава



потребного парка машин. В то же время достоверность имеющихся в водохозяйственных организациях сведений в ряде случаев оставляет желать много лучшего. Так, например, официальные данные по удельным объемам земляных работ, выполняемых при эксплуатации оросительных систем в Туркменской ССР, завышены и превышают аналогичные показатели по Таджикской ССР в 1,7, Казахской ССР — 2,4, Узбекской ССР — 2,6, Азербайджанской ССР — 2,7 раза и по Киргизской ССР — в 3,8 раза.

Не лучше обстоят дела по показателям годовых выработок машин, в частности одноковшовых экскаваторов. Согласно отчетным данным Узглавводстроя (ныне Госкомводстрой УзССР), некоторые экскаваторные бригады, работая на очистке каналов от наносов в Андижанской и Ферганской областях, вырабатывают по 450 тыс. м<sup>3</sup> в год на 1 м<sup>3</sup> емкости ковша, т.е. почти в три раза превышают и без того высокие плановые задания.

Таким образом, автоматизация контроля качества и учета работы машин позволит значительно упорядочить оплату ремонтно-строительных работ.

Большую роль в обеспечении водохозяйственных организаций машинами приобретает научно обоснованное планирование потребности в технике, которое позволит установить не только численный, но и качественный состав парка потребных машин. Поэтому Минводхозом по согласованию с Госпланом СССР на каждое пятилетие утверждаются нормативы потребности в машинах для выполнения ремонтно-строительных работ на гидро-мелиоративных системах, с учетом зональных условий и особенностей производства работ в различных районах страны.

Согласно "Нормативам ..." на XI пятилетку [3] по аридной зоне рекомендуется следующее распределение объемов земляных работ по средствам механизации: одноковшовые экскаваторы выполняют 31%, бульдозеры — 44,5%, каналоочистители — 11%, землесосные снаряды — 7,5% и скреперы — 6% всех работ. При этом внутри типов машин объемы выполняются: экскаваторами с емкостью ковша 1 м<sup>3</sup> — 10%, 0,65 м<sup>3</sup> — 35,4%, 0,3–0,4 м<sup>3</sup> — 45,4% и 0,25 м<sup>3</sup> — 9,2%; каналоочистителями производительностью 50–70 м<sup>3</sup>/ч — 56%, а производительностью 20–30 м<sup>3</sup>/ч — 44%; землесосными снарядами,



имеющими производительность 250, 150, 100 и 50 м<sup>3</sup>/ч по грунту, соответственно, 23, 38, 11 и 28%.

Отмечая принятое при составлении "Нормативов ..." распределение объемов земляных работ по типам и мощностям средств механизации, следует иметь в виду, что правильное, экономически обоснованное установление оптимального состава парка машин возможно только на основе использования экономико-математических методов и электронно-вычислительных машин. Поэтому разработка методических положений в этом направлении — одна из актуальных задач научно-исследовательских организаций Минводхоза СССР.

Независимо от принятой методики расчёта главными определяющими критериями установления видового и мощностного состава техники, в частности для очистных работ, служат поперечные габариты каналов и их протяженность. Типоразмерная классификация, согласно которой оросительные и коллекторно-дренажные каналы разбиты на пять и три категории, широко используется при разработке нормативной документации [4].

Протяженность каналов не является постоянной и изменяется с освоением новых площадей и переустройством систем. Значения протяженности каналов, использованные при расчёте потребности в машинах на XI пятилетку [3], представлены в таблице.

По данным таблицы, наибольшая часть оросительных каналов (более 50%) представлена I типоразмером (ширина по дну  $b < 0,6$  м, глубина  $h = 0,5-1,0$  м), объемы их очистки составляют  $\approx 2$  м<sup>3</sup>/га; наименьшая (около 3%) — У типоразмером ( $b > 5$  м,  $h > 4$  м) при объеме заиливания 10 м<sup>3</sup>/га; коллекторно-дренажную сеть (около 75%) составляют, преимущественно, каналы I группы ( $b = 0,6-1,2$  м,  $h = 2,5-3,5$  м) с удельными объемами очистки 6 м<sup>3</sup>/га [1].

Потребное число машин для производства ремонтно-строительных работ подсчитывается на 1000 га мелиорированной площади по формуле [4]

$$N_j = 10 \frac{L_i \cdot X_i \cdot q_i}{n \cdot S \cdot P_j}, \quad (1)$$



## Протяженность каналов в аридной зоне СССР

| Республика        | Протяженность каналов, тыс.км/% |                       |                       |                      |                      |  |
|-------------------|---------------------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|--|
|                   | оросительных                    |                       |                       |                      |                      |  |
|                   | по типоразмерам                 |                       |                       |                      |                      |  |
|                   | 1                               | П                     | Ш                     | 1У                   | У                    |  |
| Узбекская         | $\frac{94,4}{63,5}$             | $\frac{29,3}{19,8}$   | $\frac{13,2}{8,9}$    | $\frac{6,41}{4,3}$   | $\frac{5,21}{3,5}$   |  |
| Казахская         | $\frac{19,65}{33,0}$            | $\frac{20,79}{35,0}$  | $\frac{13,08}{22,0}$  | $\frac{4,15}{7,0}$   | $\frac{1,80}{3,0}$   |  |
| Азербайджанская   | $\frac{23,26}{50,0}$            | $\frac{17,40}{37,4}$  | $\frac{3,54}{7,6}$    | $\frac{1,35}{2,9}$   | $\frac{0,97}{2,1}$   |  |
| Киргизская        | $\frac{16,80}{64,6}$            | $\frac{5,67}{21,8}$   | $\frac{2,39}{9,2}$    | $\frac{0,58}{2,2}$   | $\frac{0,56}{2,1}$   |  |
| Туркменская       | $\frac{5,16}{20,7}$             | $\frac{7,66}{30,8}$   | $\frac{8,22}{33,0}$   | $\frac{1,31}{5,3}$   | $\frac{2,52}{10,2}$  |  |
| Таджикская        | $\frac{9,40}{35,7}$             | $\frac{13,82}{52,6}$  | $\frac{1,72}{6,5}$    | $\frac{1,24}{4,7}$   | $\frac{0,13}{0,5}$   |  |
| И т о г о по зоне | $\frac{168,67}{50,90}$          | $\frac{94,64}{28,50}$ | $\frac{42,15}{12,70}$ | $\frac{15,04}{4,53}$ | $\frac{11,19}{3,37}$ |  |

где  $L_i$  — общая протяженность (м) или число (шт.) сооружений данного вида  $i$  по региону, для которого ведется подсчет потребного числа машин  $N$  данного вида  $j$ ;  
 $S$  — общая мелиорированная площадь региона, га;  
 $P_j$  — годовая производительность машины данного вида  $j$ ,  $\frac{м^3}{м^2 \cdot год}$ ;  
 $\chi_i$  — процент сооружений данного типоразмера в рассматриваемом виде  $i$ ;  
 $q_i$  — удельный объем ремонтных работ по сооружению данного вида  $i$ ,  $\frac{м^3}{м}$ ,  $\frac{м^2}{м}$ ;  
 $n$  — периодичность выполнения ремонтно-строительных работ, годы.

Эффективность ремонтно-строительных работ в значитель-



Т а б л и ц а

| Протяженность каналов, тыс.км/% |                       |                       |                     |                      |
|---------------------------------|-----------------------|-----------------------|---------------------|----------------------|
| общая                           | коллекторно-дренажных |                       |                     |                      |
|                                 | по типоразмерам       |                       |                     |                      |
|                                 | 1                     | II                    | III                 | общая                |
| $\frac{148,52}{100}$            | $\frac{53,7}{89,0}$   | $\frac{5,49}{9,1}$    | $\frac{1,15}{1,9}$  | $\frac{60,34}{100}$  |
| $\frac{59,47}{100}$             | $\frac{4,76}{83,0}$   | $\frac{0,98}{17,0}$   | $\frac{0,0}{0,0}$   | $\frac{5,74}{100}$   |
| $\frac{46,52}{100}$             | $\frac{7,82}{56,0}$   | $\frac{6,15}{44,0}$   | $\frac{0,0}{0,0}$   | $\frac{13,97}{100}$  |
| $\frac{26,0}{100}$              | $\frac{2,02}{58,0}$   | $\frac{1,45}{42,0}$   | $\frac{0,0}{0,0}$   | $\frac{3,47}{100}$   |
| $\frac{24,87}{100}$             | $\frac{7,8}{48,0}$    | $\frac{6,75}{41,4}$   | $\frac{1,72}{10,6}$ | $\frac{16,27}{100}$  |
| $\frac{26,31}{100}$             | $\frac{2,07}{36,8}$   | $\frac{3,01}{53,5}$   | $\frac{0,54}{9,7}$  | $\frac{5,62}{100}$   |
| $\frac{331,69}{100}$            | $\frac{78,17}{74,1}$  | $\frac{23,83}{22,60}$ | $\frac{3,41}{3,30}$ | $\frac{105,41}{100}$ |

ной степени зависит от правильного установления периодичности ремонтов ( $n$ ) по каждому виду и типоразмеру сооружений оросительных систем данного региона. Утвержденное в 1973 г. "Временное положение о проведении планово-предупредительного ремонта водохозяйственных систем и сооружений" /5/ по содержанию не отвечает запросам сегодняшнего дня и требует коренного пересмотра.

Техническое обслуживание и ремонт сооружений могут выполняться в плановом порядке или с целью устранения уже свершившихся отказов (неисправностей). В водном хозяйстве принята плановая система /5/, предусматривающая выполнение мероприятий через определенное, заранее установленное нормативами, время, т.е. не после возникновения отказов, а в порядке



их предупреждения.

В то же время система планово-предупредительного технического обслуживания и ремонта (ППТОР), широко применяемая для поддержания в работоспособном состоянии продукции машиностроительной промышленности, в которой износ узлов и деталей является результатом быстротечных процессов, скрытых от визуальных наблюдений, в ряде случаев малоэффективна при технической эксплуатации оросительных систем, где износ или заиливание сооружений легко наблюдаемы, а периодичность отказов имеет большой разброс по времени.

Следовательно, в водном хозяйстве можно использовать обе системы технического обслуживания и ремонта сооружений; задача состоит в выявлении и установлении границ эффективности их применения. При этом не исключена возможность широкого внедрения смешанных систем, предусматривающих, например, планово-предупредительное техническое обслуживание и заявочные текущие и капитальные ремонты.

До настоящего времени в отрасли отсутствуют методические указания по определению экономической эффективности результатов НИР, посвященные разработке нормативных документов. Подобное положение серьезно затрудняет объективную оценку деятельности НИИ и определение эффективности новых разработок относительно тех инструктивно-нормативных материалов, взамен которых они рекомендуются.

Автором сделана попытка разрешить эту задачу в привязке к нормативам потребности в машинах для выполнения ремонтно-строительных работ на системах, разработанным под методическим руководством САНИИРИ впервые в 1974 г. /6/ и вторично в 1979 г. /3/.

Типовая методика определения эффективности научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ /7/ рекомендует определение народнохозяйственного экономического эффекта от разработок стандартов, нормалей и других нормативных документов, предусматривающих изменение затрат материальных, трудовых и финансовых ресурсов, производить сопоставлением показателей, ранее предусматриваемых в проектах и планах, с показателями, которые могут быть достигнуты при учете новых нормативных требований.

Исходя из этого положения для расчёта экономического



эффекта от разработки нормативов принят рекомендуемый метод сопоставления показателей нового документа — "Нормативов-79" — с ранее действовавшим — "Нормативами-74". При этом исходными условиями расчёта показателей для обоих случаев приняты постоянные объёмы и виды ремонтно-строительных работ на единице мелиорированной площади.

Экономическая эффективность по каждому типоразмеру вида машины в этом случае находится как алгебраическая разность потребности техники на 1000 га по нормативам 1974 и 1979 гг., умноженная на годовую плановую производительность машины и сметную стоимость единицы объёма выполняемой работы

$$\mathcal{E}_{ij} = (N'_{ij} - N''_{ij}) \cdot P_{ij} \cdot C_{ij}, \quad (2)$$

где  $\mathcal{E}_{ij}$  — экономическая эффективность от применения машин типоразмера  $j$  вида  $i$ , руб.;

$N'_{ij}, N''_{ij}$  — потребность в технике типоразмера  $j$  вида  $i$ , соответственно, по нормативам старым и новым, шт.;

$C_{ij}$  — сметная стоимость единицы объёма выработки машины типоразмера  $j$  вида  $i$ , руб.

Алгебраическая сумма экономических эффектов по каждому типоразмеру вида машины дает общий экономический эффект по нормативам в целом  $\mathcal{E}$ :

$$\mathcal{E} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \mathcal{E}_{ij} \quad (3)$$

При отрицательном знаке перед суммой эффективен ранее действовавший норматив, при положительном — новый.

Научно-исследовательские и проектно-конструкторские организации выполняют широкий круг вопросов по разработке технологических процессов, перспективной системы машин для комплексной механизации работ, нормативов потребности в материалах и технике, рациональных конструкций рабочих органов машин, новой мелиоративной техники и др. Эти результаты НИР во многих случаях не продвигаются далее проектных разработок и опытных образцов, особенно, когда дело касается новых машин и технологий. Назрела необходимость созда-



нии в системе Минводхоза СССР специального подразделения, с соответствующей материально-технической базой, занимающегося доведением рекомендаций институтов до потребителя.

### Л и т е р а т у р а

1. Пулатов У.Ю. Основы механизации гидромелиоративных работ в зоне орошения. М., "Колос", 1977.
2. Рекомендации Всесоюзной научно-технической конференции "Организация и механизация ремонтно-эксплуатационных работ на оросительных системах", Ташкент, 1979.
3. Нормативы годовых загрузок и потребности в машинах для выполнения ремонтно-строительных работ на гидромелиоративных системах, Ташкент, 1979.
4. Методика разработки нормативов годовых загрузок и потребности в машинах для выполнения ремонтно-строительных работ на гидромелиоративных системах. М., 1976.
5. Временное положение о проведении планово-предупредительного ремонта водохозяйственных систем и сооружений. М., 1973.
6. Нормативы потребности в машинах для выполнения ремонтно-строительных работ на гидромелиоративных системах, Ташкент, 1974.
7. Типовая методика определения эффективности научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ. М., Госкомитет СМ СССР по науке и технике, 1976.



Н.Л.ГАРШЕНИНА, инженер  
ЦНИИЭП

Ю.П.БЕЛИЧЕНКО, канд.техн.наук  
(Минводхоз)

## К ВОПРОСУ ОБ ОПЕРАТИВНОМ УПРАВЛЕНИИ РЕЖИМОМ ПОПУСКОВ ВОДОХРАНИЛИЩ

Выбор метода оперативного управления режимом попусков — один из основных вопросов, определяющих эффективность использования водных ресурсов при эксплуатации ирригационных водохранилищ.

В настоящее время в практике оперативного управления режимом водохранилищ преимущественно используются два подхода. В первом применяется управление по диспетчерскому графику, обеспечивающему с определенной надежностью (например, 75%) гарантийный режим водоотдачи. Для построения диспетчерского графика выбирается такая величина годового стока  $A$ , которая обеспечивает  $P\{Q > A\} = 0,75$ , где  $Q$  — величина стока для любого будущего года. По диспетчерскому графику из рабочей емкости водохранилища выделяется зона (переменная во времени года), запасы воды которой необходимы и достаточны для поддержания гарантийного режима. В случае заполнения водохранилища сверх гарантийного запаса назначается дополнительная отдача, которая колеблется в соответствии с фактическим притоком.

Такой подход базируется на использовании среднесноголетних данных по режиму источника орошения /1/.

По мере увеличения степени изменчивости стока ориентация на среднесноголетние данные становится менее надежной. Так, для реки Зарафшан, например, по данным расчетов за многосноголетний период (1914—1965 гг.) общая сумма отклонений стока относительно расчетной 75%-ной обеспеченности составила 13%, а с учетом отклонения от внутригодового распределения типичного года с 75%-ной обеспеченностью — 20%, что соответствует 41 млрд.м<sup>3</sup> воды, непланируемых за расчетный период.

С середины 60-х гг. появились публикации Р.Е.Ларсона, В.Ж.Кеклера, В.И.Обрезкова, посвященные применению оптимиза-



ционных математических методов для оперативного управления режимом водохранилищ. При этом предполагается использование условного прогноза стока, учитывающего конкретную гидрологическую обстановку предстоящего периода управления. Однако такой подход предъявляет повышенные требования к представительности долгосрочного прогноза стока, которые могут оказаться невыполнимыми, поскольку для горных рек, например, длина рядов гидрологических наблюдений невелика (редко более 30).

При значительной изменчивости стока, характерной для горных рек, оперативное управление режимом водохранилищ имеет важнейшее значение и вместе с тем представляет наибольшие трудности. Роль водохранилища как инструмента стока в этом случае очень высока, поэтому алгоритмы оперативного управления его режимом должны привлекать самое пристальное внимание.

Результаты исследований в области управления запасами со случайным пополнением, проведенные в лаборатории АСУ водохозяйственных комплексов Института электронных управляющих машин, позволяют предложить новый метод управления применительно к условиям невысокой надежности гидрологической информации. Этот метод базируется на использовании фундаментального положения теории оптимального управления, называемого принципом разделения.

Для задачи управления запасами со случайным пополнением свойство разделения получено при следующей постановке. Динамика запасов описывается соотношением

$$\dot{z}(t) = -x(t) + y(t),$$

где  $x(t)$  — динамический дефицит (положительный или отрицательный), который определяется как разность между

плановой потребностью и поступлением ресурсов  $x(t) = U_{пл}(t) - \xi(t)$ ;

$y(t)$  — текущая ошибка удовлетворения потребности, которая определяется как разность между плановой потребностью и ее фактическим удовлетворением

$$y(t) = U_{пл}(t) - U(t).$$

Принимается критерий оптимальности управления, учитывающий ущерб в сфере использования ресурсов, являющийся следствием



ем ошибок удовлетворения потребности, а также издержки хранения запасов, связанные с их естественной убылью. Критериальная функция имеет вид

$$L = \langle y^2(t) \rangle + \gamma \langle v^*(t) \rangle,$$

где угловые скобки обозначают операцию осреднения;

$\gamma$  — коэффициент, характеризующий интенсивность потерь.

Структурная схема оптимального управления запасами со случайным пополнением по принципу разделения показана на рис.1.

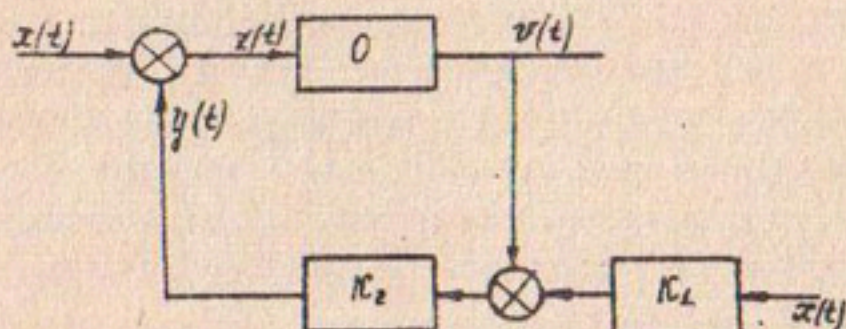


Рис.1. Структурная схема управления запасами со случайным пополнением по принципу разделения.

Склад  $O$  представлен в виде интегратора, вход которого  $z(t)$  отражает динамику запасов. Сигнал ошибки  $y(t)$  формируется управляющим устройством, которое разделено на два автономных звена: цепь прогноза динамического дефицита —  $K_1$  и пропорциональный детерминированный регулятор по уровню запасов —  $K_2$ .

Доказано, что с точки зрения всей задачи управления, оптимальной является взвешенная интегральная форма прогноза, которая при дискретном по времени описании может быть представлена в виде

$$K_1[x(t)] = \sum_{m=1}^M g_m^{(i)} \hat{x}_m,$$

где  $i$  — текущий номер интервала регулирования;

$$i = 1, \dots, n;$$

$M$  — число координат, используемых при дискретном описании прогноза динамического дефицита. Варь-



ируя  $M$  в пределах  $1 \leq M \leq n$ , можно осуществлять регулирование точности модели расчёта;

$g_m$  – весовая функция прогноза, зависящая от параметров объекта и критерия управления. Функция имеет затухающий характер и определяет горизонт прогноза, т.е. интервал, начиная с которого будущие значения динамического дефицита практически не оказывают влияния на формирование текущего управляющего воздействия;

$\hat{x}_m$  – ожидаемый по прогнозу объём динамического дефицита на  $m$ -м отрезке разбиения.

Установлено, что оптимальная система управления запасами со случайным пополнением обладает характерными особенностями следящей системы. Отмечается сравнение состояния запасов с ожидаемым динамическим дефицитом. Управление динамикой запасов производится таким образом, чтобы уменьшить разность между ними.

Полученные результаты определили следующие основные положения построения управляющих алгоритмов:

– структура решения задачи в виде  $U_i = U_{пл i} - y_i$ , где  $y_i$  рассчитывается в соответствии со схемой на рис.1;

– правило принятия решения – расход ресурсов в единицу времени – определяется как функция избытка или недостатка запасов по отношению к динамическому дефициту на горизонте планирования;

– взаимосвязь задач прогнозирования и управления, в основу которой положено представление о конечной памяти системы управления, определяющей прогностический горизонт.

Разработанные алгоритмы оперативного управления режимом ирригационных водохранилищ предназначены для ежедневных расчётов объёма попусков. В отличие от известных методов оптимизации в расчёты закладываются данные долгосрочного прогноза в форме, обеспечивающей условия его надёжности.

Для сопоставительного анализа управляющих алгоритмов предложен показатель эффективности

$$\mathcal{J} = 1 - \frac{\sigma_y^2}{\sigma_{y_n}^2},$$



где  $\sigma_y^2$  — дисперсия ошибок удовлетворения плановой потребности, характеризующая рассогласование во времени оптимального и фактического режима потребления ресурсов;

$\sigma_{y_0}^2$  — значение дисперсии для неуправляемой системы.

Как известно, система стремится к беспорядку, т.е. все возможные варианты распределения ресурсов становятся равновероятными, в результате чего дисперсия ошибки стремится к своему предельному значению  $\sigma_y^2 \rightarrow \sigma_{y_0}^2$ , при этом  $\mathcal{J} \rightarrow 0$ . Чем выше качество управления, тем ближе  $\mathcal{J}$  к 1. Таким образом, эффективность процесса управления характеризуется степенью упорядоченности, связанной с уменьшением возможного многообразия состояний системы.

На рис. 2 показаны полученные методом статистических испытаний зависимости показателя эффективности управления от степени коррелированности случайного процесса поступления ресурсов для различных методов управления. Видно, что метод динамического программирования (кривая  $\alpha_1$ ) достаточно эффективен при высокой степени коррелированности процесса поступления ресурсов. По мере ослабления тесноты корреляционной связи (и следовательно, снижения точности прогноза) проявляются преимущества предлагаемого метода (кривая  $\alpha_2$ ), которые обусловлены возможностями регулирования точности модели расчёта, а также оптимального использования исходной статистической информации о поступлении ресурсов в систему путем выбора формы представления прогноза исходя из условия его практической эффективности.

Применение разработанных алгоритмов управления запасами со случайным пополнением для оперативного управления режимом ирригационных водохранилищ аридной зоны, приток которых характеризуется значительной изменчивостью, позволит свести к минимуму случайные колебания водообеспеченности и тем самым предотвратить неоправданные перебои водопользования, снижающие эффективность орошения.



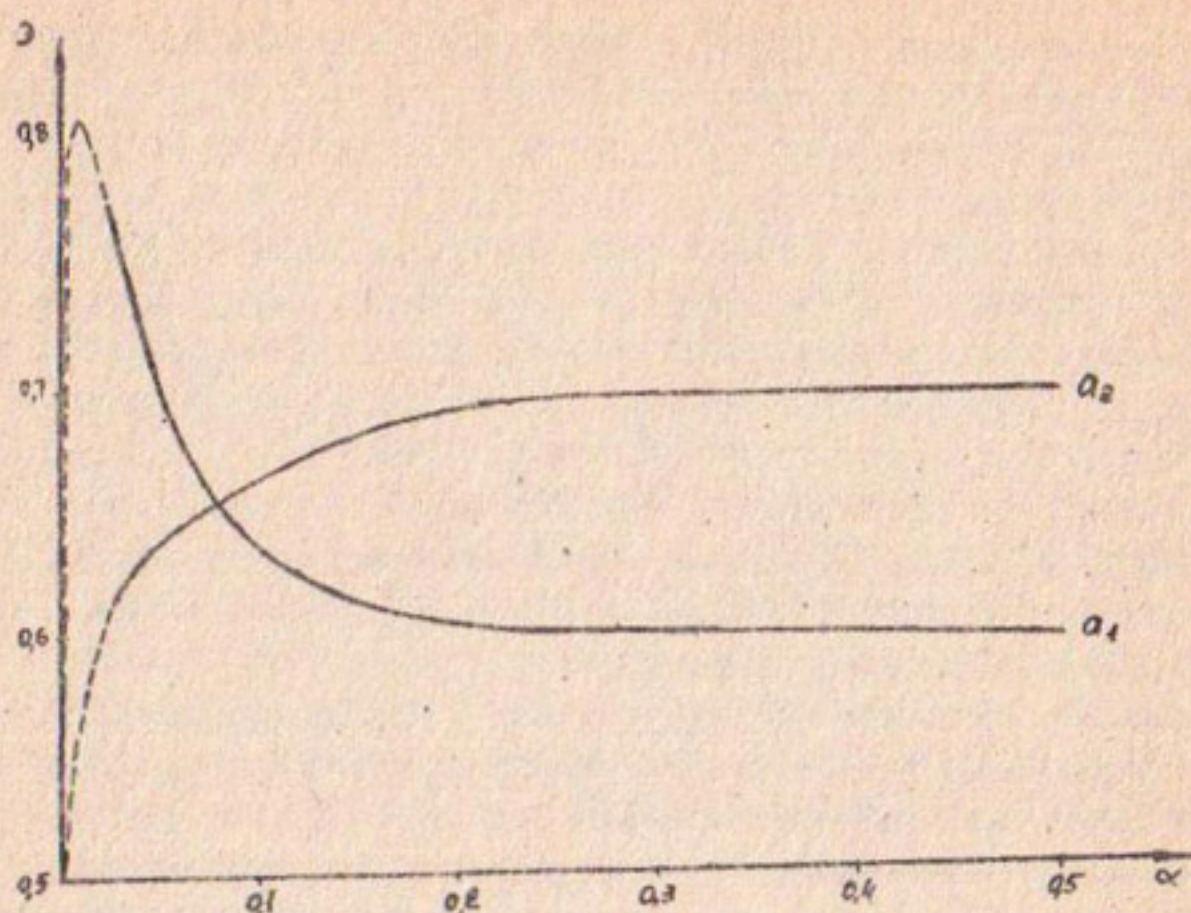


Рис.2. Кривые зависимости эффективности управления от степени коррелированности прогнозируемого процесса поступления ресурсов для различных управляющих алгоритмов:

$\alpha_1$  — кривая, соответствующая методу динамического программирования;  $\alpha_2$  — кривая, соответствующая разработанным алгоритмам согласованного управления.

### Л и т е р а т у р а

1. К р и ц к и й С.Н., М е н к е л ь М.Ф. Об основах теории регулирования речного стока. Труды Гос.Гидрологического ин-та, вып.160, Л., 1968.
2. О б р е з к о в В.И. Некоторые возможные методы оптимизации режимов работы каскада ГЭС при длительном регулировании. Труды Московского Энергетического ин-та, вып.62, М., 1965.



3. *Larson R.E., Kechler W.O. Applications of Dynamic Programming to the Control of Water Resource Systems, Automatica, 1969, vol 5, n1.*
4. В л а с ю к Б.А., М о р о с а н о в И.С. Свойства разделения в оптимальных линейных стохастических системах. "Автоматика и телемеханика", 1977, № 5.

М.П.САЛЬНИКОВ, канд.тех.наук  
И.В.ТИМОШЕНКО, инженер

(САНИИРИ им.В.Д.ЖУРИНА)

#### ДИСТАНЦИОННЫЙ УРОВНЕМЕР

Наблюдения за расходами воды в дренажных системах водохранилища обычно осуществляют с помощью тонкостенных водосливов, установленных в смотровых колодцах дренажа /1/. Для производства измерений наблюдатель должен опуститься в колодец на глубину до 0 м и произвести отсчёт по рейке водослива в условиях плохого освещения, недостаточного места и неудобного положения наблюдателя при производстве отсчёта. Все это существенно усложняет работу наблюдателя, снижает производительность его труда и точность измерений расходов воды в дренажах водохранилища. Для устранения этих недостатков предлагается пьезометрический уровнемер, не требующий электропитания. Он позволяет производить измерение уровня воды над порогом водослива с поверхности земли, не опускаясь на дно колодца. Водосливы могут быть расположены значительно ниже поверхности земли. Принцип действия устройства основан на измерении давления, создаваемого столбом воды над порогом водослива.

Уровнемеры подобного рода /2/, используемые на промышленных объектах, включают источник сжатого воздуха в виде баллона высокого давления (массой более 50 кг), редуктор давления, трубный манометр, соединительные трубопроводы и запорную арматуру. Такие устройства предназначены для стационарных объектов и не могут быть применены для дре-



нажных систем водохранилищ.

Устройство специально разработанного уровнемера для дистанционного измерения уровня воды над порогом водослива, расположенного в дренажном колодце, показано на рисунке.

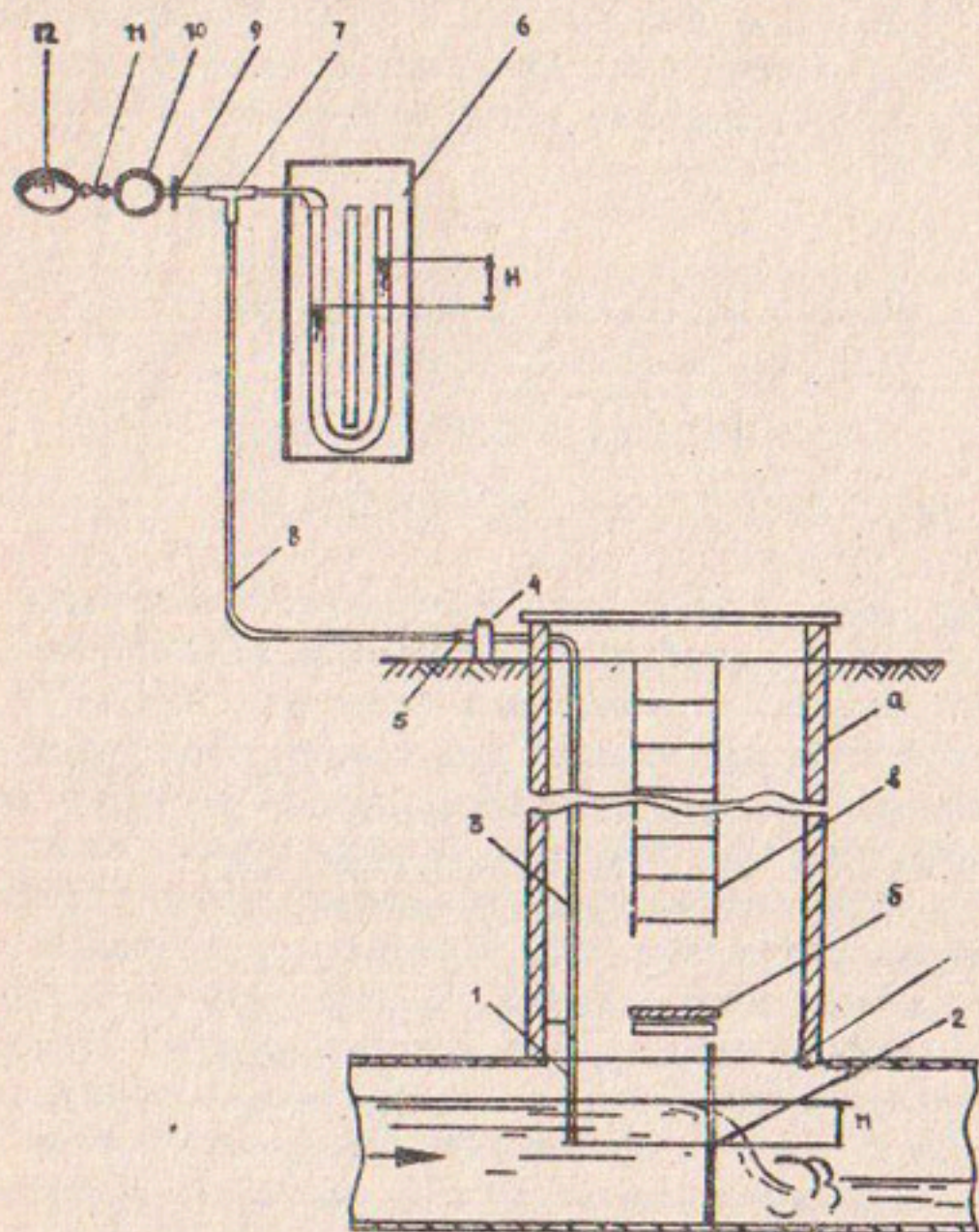


Схема устройства для дистанционного измерения уровня воды на водосливах:

а — дренажный колодец, б — мостик, в — лестница.

Здесь источник питания — насос с фильтром выполнен в виде "груши" от бытового пульверизатора и емкости, сглаживающей пульсацию давления насоса. Это позволило выполнить уровнемер в виде двух полукомплектов: первого — устанавливаемого стационарно в каждом колодце и состоящего из пьезометричес-



кой и импульсной трубок; второго — переносного измерительного блока, состоящего из источника питания и  $\cup$ -образного манометра.

Стационарный полукомплект устанавливается в каждом колодце и состоит из укрепленной в ВБ водослива пьезометрической трубки 1, нижний конец которой опущен до отметки порога водослива 2, соединительной линии 3 с разъемом 5 и анкером 4.

Переносный полукомплект состоит из  $\cup$ -образного манометра 6, тройника 7, соединительной трубки 8, дросселя 9, емкости 10, крана 11 и насоса 12.

Манометр 6 устанавливают или подвешивают в вертикальном положении и присоединяют трубку 8 к разъему 5. Затем открывают кран 11 и насосом 12 нагнетают воздух в емкость 10. Пройдя дроссель 9, воздух создает давление в линии 3. Под действием этого давления, которое указывает манометр 6, вода вытесняется из пьезометрической трубки 1 и уровень в ней снижается. Давление в линии 3 будет повышаться до тех пор, пока уровень в пьезометрической трубке не достигнет ее нижнего конца. После этого воздух будет выходить в воду, а давление в линии перестанет повышаться. Показание манометра (разность уровней в его трубках) будет соответствовать уровню воды над порогом водослива.

Затем прекращают подачу воздуха и перекрывают кран 11. Если показание манометра не изменяется в течение не менее 5 секунд, производят отсчет по его шкале.

Используя таблицу или график зависимости расхода от уровня, определяют расход через водослив.

Пьезометрическая трубка 1 изготавливается из стальной, латунной или пластмассовой трубки диаметром 5–10 мм. Трубка крепится в вертикальном положении к боковой стенке или мостику в створе измерения уровня. Соединительная линия 3 выполняется из резиновой, пластмассовой или металлической трубки с внутренним диаметром не менее 4–6 мм. Соединительная линия крепится к стенке колодца или лестницы.

Манометр выполнен в виде основания размером 100x500 мм с укрепленной на нем  $\cup$ -образной стеклянной трубкой диаметром 10 мм (или двух, соединенных у основания трубок,



диаметром 8-12 мм). Шкала манометра выполнена из миллиметровой бумаги и приклеена к основанию.<sup>х</sup> Трубки манометра заполняются водой приблизительно до середины их высоты.

Емкость 10 в виде металлической банки с объемом 500 см<sup>3</sup> крепится с тыльной стороны основания манометра. Дроссель 9 — медная трубка диаметром 6 мм, длиной 50 мм, сплюснутая в средней части. Величина прохода в сплюснутой части устанавливается экспериментально. При нормальном проходе в сплюснутой части работа насоса не раскачивает уровни в манометре. Тройник 7 выполнен из медной трубки диаметром 6 мм, край 11 — в виде стального зажима соединительного шланга.

В лаборатории Эксплуатационной гидрометрии и метрологии САНИИРИ был изготовлен опытно-производственный образец уровнемера для измерения уровня воды, достигающего 25 см над порогом водослива.

Испытания уровнемера на дренажных системах Каркиданского водохранилища дали положительный результат. Уровнемеры переданы эксплуатирующей организации для использования.

### Л и т е р а т у р а

1. Дерлятка Т.И., Сальников М.П. "Гидротехника и мелиорация", 1978, № 3.
2. Цикерман Л.Я., Ефремов Е.А. Измерение уровней в системах водоснабжения. М., изд-во М-ва коммунального хозяйства РСФСР, 1954.

---

<sup>х</sup> Размеры манометра должны соответствовать измеряемому уровню.



Х.И.ЗАИРОВ, канд.техн.наук  
 М.П.САЛЬНИКОВ, канд.техн.наук  
 М.В.БУТЫРИН, канд.техн.наук

(САНИИРИ им.В.Д.ЖУРИНА)

# ПОСТРОЕНИЕ ГРАДУИРОВОЧНОЙ ЗАВИСИМОСТИ РАСХОДОМЕРОВ ГИДРОМЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМ МЕТОДОМ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Измерение расхода воды на каналах гидромелиоративных систем (ГМС) осуществляется косвенным методом с использованием зависимости между расходом воды и какими-либо параметрами гидрометрического сооружения и потока. Эта зависимость строится методом "скорость  $\times$  площадь", причём скорость измеряют гидрометрической вертушкой. Процесс построения градуированной зависимости трудоемок, а вместе с тем достижимая точность градуировки ограничена сложными условиями измерений расхода воды. Поэтому была поставлена цель разработать методику градуировки крупных расходомеров на каналах ГМС методом гидравлического моделирования.

Проведение градуировки методом физического моделирования может осуществляться в гидравлических лабораториях, оснащенных оборудованием соответствующего класса точности.

Применение метода моделирования для градуировки расходомеров ограничивается следующими диапазонами контролируемых параметров открытого потока:

расход воды — до 200,0 м<sup>3</sup>/с;

глубина или напор над порогом сооружения — до 5,0 м;

перепад уровней воды — до 2,0 м.

Определяющими критериями при моделировании гидротехнических сооружений являются числа Фруда и Рейнольдса.

Числа Фруда потока натурального сооружения ( $F_{v_n}$ ) и его модели ( $F_{v_m}$ ) должны быть одинаковыми:

$$F_{v_n} = F_{v_m} = \frac{v_n^2}{g H_n} = \frac{v_m^2}{g H_m} = idem, \quad (1)$$



где  $V$  — скорость потока;  
 $H$  — глубина потока;  
 индекс  $N$  обозначает натуру,  $M$  — модель.

Для обеспечения подобия гидравлических явлений на модели и в натуре по числу Рейнольдса

$$Re = \frac{VR}{\nu},$$

где  $R$  — гидравлический радиус живого сечения потока;  
 $\nu$  — кинематический коэффициент вязкости воды.

Масштаб модели должен обуславливать закон сопротивления, отвечающий квадратичной области сопротивления [1].

При моделировании истечения жидкости через гидротехнические сооружения, в частности, истечения воды из-под затвора, автомодельность наступает при числах Рейнольдса

$$Re_g \geq (5 \div 10) 10^3.$$

Поэтому минимальный масштаб модели должен быть

$$\lambda_{min} = \frac{l_m}{l} \geq \left( \frac{Re_g}{Re_N} \right)^{2/3}, \quad (2)$$

где  $l$  — длина сходственных элементов.

Максимальный масштаб модели ограничен максимальным расходом  $Q_{л\max}$  лабораторного стенда

$$\lambda_{max} = \left( \frac{Q_{л\max}}{Q_{N\max}} \right)^{2/5}. \quad (3)$$

Для обеспечения идентичной шероховатости на модели масштаб модели нужно принимать не менее  $1/50$  натурной величины. Модель в этом случае делают гладкой с цементной штукатуркой. Границы модели сооружения назначаются с учетом соблюдения натуральных условий протекания потока и распределения скоростей. Перед и после модели должны быть устроены прямые участки канала длиной не менее  $10b$  или  $20R$ , где  $b$  — ширина канала по дну. На модели перед подводящим и после отводящего участков канала устраиваются жалюзные затворы, с помощью которых устанавливаются необходимые глубины потока.



Модель расходомера исследуется на стенде, состоящем из насосной станции, стабилизатора уровня, регулирующей арматуры, средств измерений уровня и расхода воды.

В качестве измерителей уровня воды на модели водомерного сооружения применяют игольчатые и крючковые рейки, пьезометры.

Средствами измерений расходов воды на модели могут служить образцовые расходомеры, в частности, используются треугольные ( $< 90^\circ$ ), прямоугольные и трапецеидальные водосливы, выполненные согласно РДП 99-77 /2/.

При исследовании расходомерных сооружений необходимо соблюдать следующий порядок:

- а) устанавливается и измеряется (трижды) глубина  $H_m$  на пороге модели расходомерного сооружения;
- б) измеряется (трижды) расход по расходомеру;
- в) определяются средние значения  $(Q_m)_{cp}$  и  $(H_m)_{cp}$  для каждого опыта

$$(Q_m)_{cp} = \frac{\sum Q_m}{3}; \quad (H_m)_{cp} = \frac{\sum H_m}{3}; \quad (4)$$

По данным лабораторных исследований градуировочная характеристика составляется двумя способами.

**П е р в ы й** (основной) способ. Вычисляют коэффициент расхода модели сооружения по формуле

$$C = \frac{Q_m}{\omega_m \sqrt{2gH_m}}, \quad (5)$$

где  $\omega_m$  — рабочая площадь истечения.

Определяют в графической и аналитической форме зависимость коэффициента расхода  $C$  от действующих факторов, как правило, методом наименьших квадратов.

Находят градуировочную характеристику модели расходомерного сооружения в виде уравнения

$$Q_m = C \omega_m \sqrt{2gH_m}. \quad (6)$$



Второй способ применяется, если коэффициент расхода окажется функцией большого числа факторов. Градуировочную характеристику натурального сооружения строят в табличной форме путем пересчёта градуировочной таблицы для модели, используя для этого зависимости

$$\left. \begin{aligned} H_M &= \alpha H_N, & Q_M &= \alpha^{5/2} Q_N \\ & & v_M &= \alpha^{1/2} v_N \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

Полученную характеристику проверяют в натуральных условиях по отдельным замерам, соответствующим режиму работы гидросооружения.

Погрешности измерения расхода воды градуированным сооружением вычисляются с учётом предельной абсолютной погрешности измерения расхода воды<sup>х</sup> при доверительной вероятности  $P = 95\%$ , равной

$$\delta = 2\sigma_Q, \quad (8)$$

где  $\sigma_Q$  — средняя квадратичная погрешность измерения расхода воды, определяемая по формуле

$$\sigma_Q = \sqrt{\sigma_c^2 + \sigma_\omega^2 + \sigma_H^2}; \quad (9)$$

$\sigma_c$  — средняя квадратичная погрешность коэффициента расхода;

$\sigma_\omega$  — средняя квадратичная погрешность измерения площади истечения сооружения;

$\sigma_H$  — средняя квадратичная погрешность измерения действующего напора на пороге водомерного сооружения.

Приведем примеры построения градуировочной характеристики расходомерного сооружения.

Первый способ. В результате лабораторных исследований трех моделей расходомеры порога САНИИРИ (РПС)

<sup>х</sup> Согласно ГОСТ 8.145-75 относительная погрешность измерения объемного расхода не должна превышать 5%.



|     |                |                |           |           |
|-----|----------------|----------------|-----------|-----------|
| № 1 | $b = 42$ см;   | $P = 4,6$ см;  | $n = 4$ ; | $m = 1,5$ |
| № 2 | $b = 44,7$ см; | $P = 5,3$ см;  | $n = 3$ ; | $m = 1,5$ |
| № 3 | $b = 115$ см;  | $P = 10,4$ см; | $n = 3$ ; | $m = 1,0$ |

получили градуировочную зависимость (рис.1). Зависимость коэффициента расхода РПС в аналитической форме выражается уравнением

$$C = 0,37 + 0,04 \frac{H}{P}, \quad (10)$$

где  $H$  — напор над гребнем порога;

$P$  — высота порога над дном канала.

Оценка относительного среднего квадратичного отклонения наблюдений от этого уравнения выразилась величиной  $S_c = 2,5\%$ . При этом оказалось, что коэффициент  $C$  не зависит от параметров  $b, n, m$  (здесь  $b$  — ширина гребня порога,  $n$  — коэффициент напорного откоса порога,  $m$  — коэффициент откоса канала).

Градуировочное уравнение РПС имеет вид

$$Q = c(b + mH) H \sqrt{2gH}. \quad (11)$$

Таким образом, по уравнению (11) можно построить градуировочную характеристику  $Q = f(H)$  для любого натурального РПС.

Например, на канале "Чимкент" построен РПС с  $b = 4,5$  м;  
 $P = 0,4$  м;  $m = 1,0$ ;  $n = 3$ .

Задаваясь  $H = 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7$  м, определим по градуировочному уравнению (11) соответствующие расходы  $Q$  при данных параметрах  $b, P, m$ . По полученным точкам построим градуировочную характеристику (рис.2). Для проверки на этот же график нанесем точки, полученные в результате натуральных измерений расхода воды вертушкой (методом "скорость  $\times$  площадь"). При этом относительная погрешность не превысила 2%. Масштаб модели к натуре составлял, соответственно

$$\lambda = \frac{42}{450} = \frac{1}{10,7}; \quad \frac{44,7}{450} = \frac{1}{10}; \quad \frac{115}{450} = \frac{1}{3,91}.$$



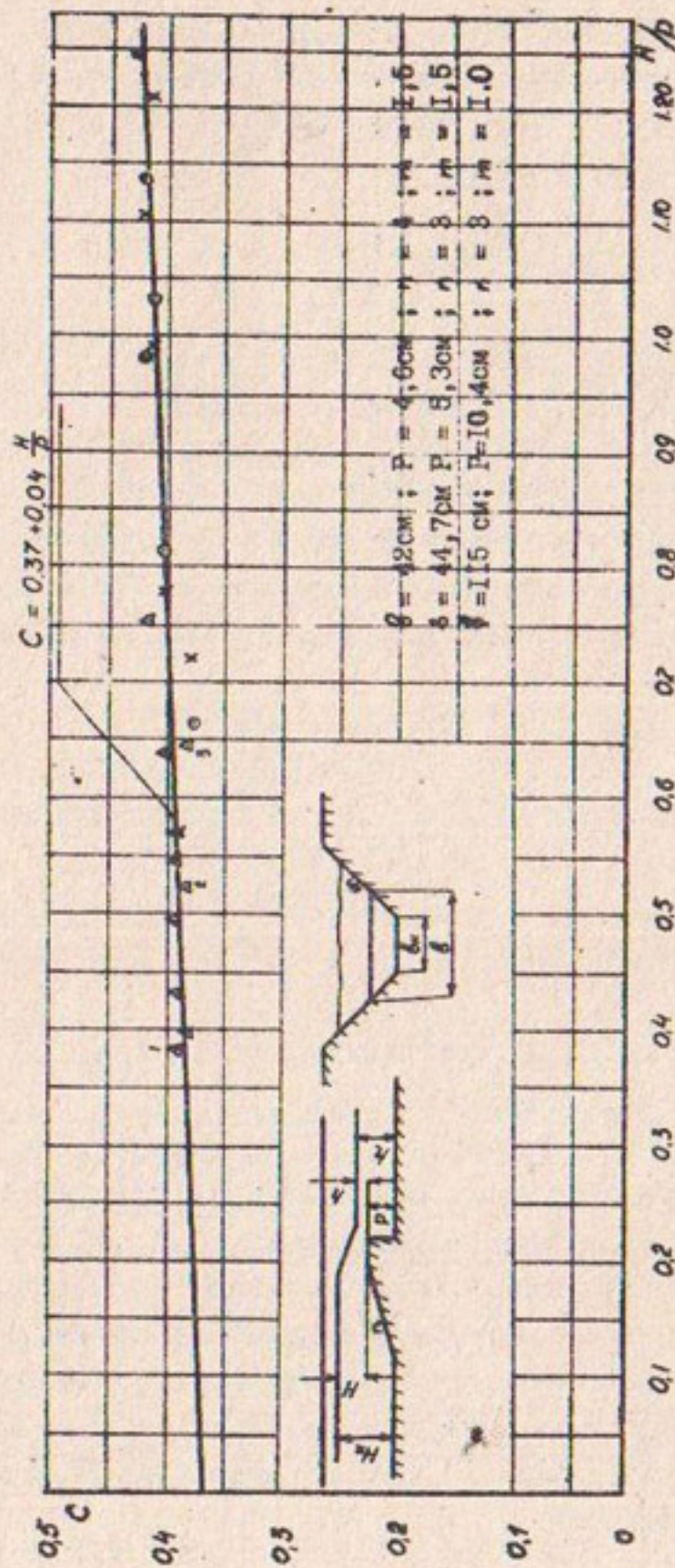


Рис.1. Зависимость коэффициента  $C = f(H/P)$ :  $\times$  — точки для порога (модель № 1),  $\bigcirc$  — точки для порога (модель № 2),  $\Delta$  — точки для порога (модель № 3).



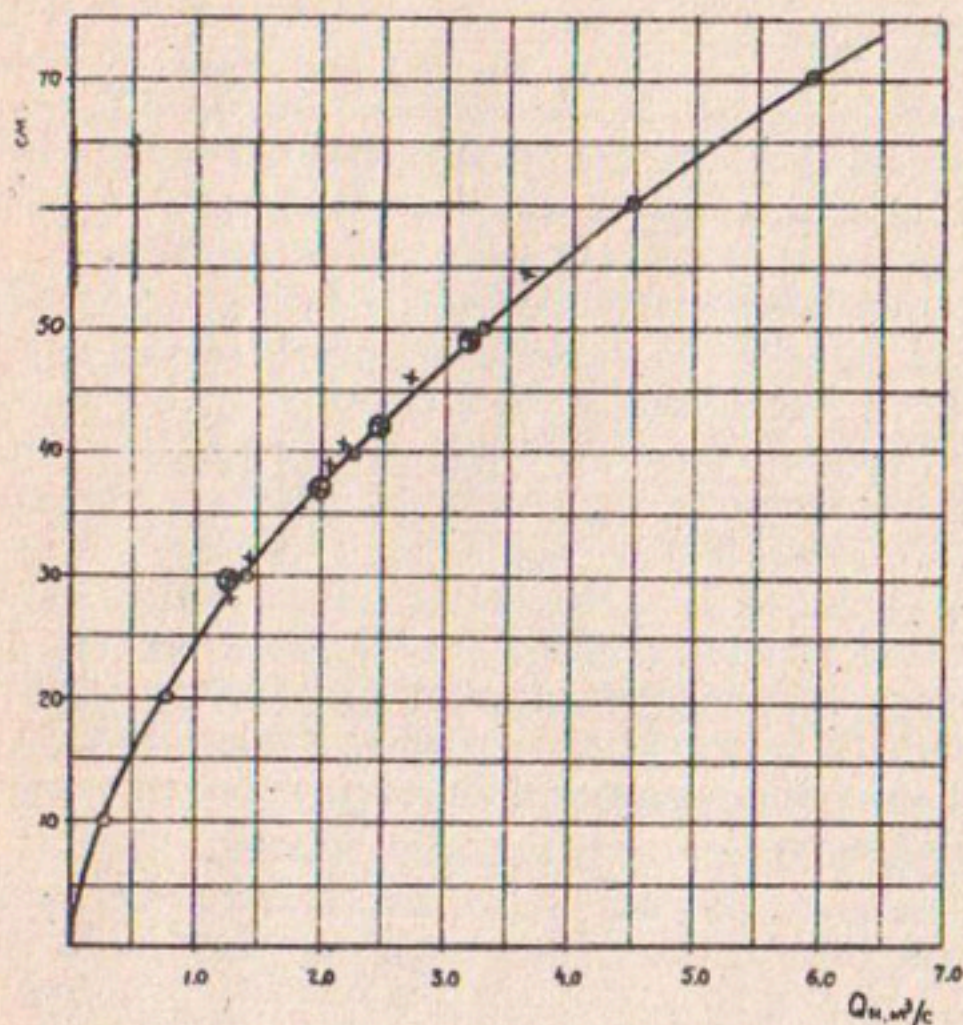


Рис.2. Градуировочная характеристика РПС на канале "Чимкент":

X — точки с модели на натуру; O — точки по градуировочному уравнению; ⊗ — точки по измерениям расходов в натуре вертушкой.

Результаты построения градуировочной характеристики вторым способом — путем переноса данных с модели на натуру приведены в таблице.

За модель принята модель № 3 ( $b = 115$  см,  $P = 10,4$  см,  $m = 1$ ), геометрически подобная натурному РПС на канале "Чимкент" ( $b = 450$ ,  $P = 40$  см,  $m = 1$ ).

Масштаб модели составил  $\alpha = \frac{115}{450} = \frac{1}{3,91}$ .



## Результаты градуировки РПС

| $H_M,$<br>см | $Q_M,$<br>л/с | $H_M,$<br>м | $Q_N,$<br>м <sup>3</sup> /с | $Q_{N.у.},$<br>м <sup>3</sup> /с | $\frac{Q_N - Q_{N.у.}}{Q_{N.у.}} \cdot 100\%$ |
|--------------|---------------|-------------|-----------------------------|----------------------------------|-----------------------------------------------|
| 7,0          | 39,2          | 0,273       | 1,94                        | 1,97                             | 2,0                                           |
| 7,9          | 47,0          | 0,308       | 1,43                        | 1,45                             | 1,5                                           |
| 9,9          | 67,2          | 0,387       | 2,05                        | 2,08                             | 2,0                                           |
| 10,4         | 72,7          | 0,406       | 2,21                        | 2,25                             | 1,7                                           |
| 11,7         | 90,2          | 0,457       | 2,74                        | 2,80                             | 2,0                                           |
| 13,8         | 125,0         | 0,540       | 3,80                        | 3,75                             | 1,5                                           |

В 1-й и 2-й графах таблицы приведены значения  $H_M$ ,  $Q_M$ , полученные на модели. Напоры измерялись игольчатой рейкой с нониусом, а расходы воды — водосливом Чиполетти. В 3-й и 4-й графах даны значения  $H_N$ ,  $Q_N$  для натуре, вычисленные из соотношений

$$H_N = \frac{1}{\alpha} H_M = 3,91 H_M, \quad Q_N = \frac{1}{\alpha^{5/2}} \cdot Q_M = 30,4 Q_M.$$

По полученным точкам строится натурная градуировочная характеристика  $Q = f(H_N)$ , которая в нашем примере с относительным отклонением не более 2% совпала с характеристикой, построенной по уравнению (11). В графе 5 даны значения расходов  $Q_{N.г.}$  по характеристике (11).

На график (рис.2) нанесены также значения натуральных измерений расхода. Во всех случаях относительные отклонения не превысили 2%.

Для модели число Рейнольдса оказалось равным  $Re = 29 \cdot 10^3$ , что больше  $Re_g$ .

## Л и т е р а т у р а

1. Л е в и И.И. Моделирование гидравлических явлений. Л., 1967.
2. Правила измерения расхода жидкости при помощи стандартных водосливов и лотков. РДП 99-77.М., 1977.



М.Д.БУСТАНОВ, ст.научн.сотр.

(САНИИРИ им.В.Д.ЖУРИНА)

## НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОЛИВА ИЗ ЛОТКОВ АВТОМАТИЧЕСКОГО ВОДОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ

В существующих условиях водопользования в Узбекистане фактические удельные затраты воды на орошение 1 га, как правило, превышают расчётные нормы /4/. Это происходит из-за больших потерь в постоянных и временных оросителях, а также крайне примитивного ручного способа полива. При ручном распределении и регулировании воды между сотнями борозд практически невозможно придерживаться заданных норм, при этом неизбежны перерасходование воды на переувлажнение почвы и холостые сбросы.

Кроме того, при ручном поливе производительность труда крайне низкая — не более 0,5–1,0 га в сутки, в то время как обработка хлопчатника механизирована.

При сравнении производительности труда поливальщика и механизатора видно, что один механизатор обрабатывает за сутки 10–15 га посевов, т.е. в 10 раз больше, чем один поливальщик.

Членом-корр. АН УзССР Р.А.Алимовым предложена оросительная система автоматизированного бороздкового полива лотками (АПЛ), в бортах которых устраиваются водовыпускные отверстия для подачи воды в борозды. В такой системе постоянный ороситель из лотков разбивается на поливные секции с обслуживаемой площадью 4–10 га и подачей воды из лотка через отверстия в стенках непосредственно в борозды.

Лотки используются и рассчитываются как для транспортирования воды при уровне ее в лотке ниже отверстий, так и для полива путем создания подпора в конце поливной секции лотка.

При разработке конструкции к ЛАП, форме отверстий и их высотному положению предъявляются следующие основные требования:

— отверстия в стенке лотка должны располагаться так,

<sup>x</sup> Работа выполнена под руководством чл.-корр. АН УзССР Р.А.Алимова.



чтобы при транзитном пуске воды они не затапливались;

— при подпоре отверстия, находясь на разных уровнях, должны обеспечивать постоянный расход воды в каждую борозду.

Для определения оптимальных параметров отверстий нами были проведены лабораторные исследования /2/. В результате установлено, что наиболее оптимальной формой водовыпускного отверстия является усеченный конус с входным диаметром 5 см, выходным 3 см, длиной 5 см.

Анализ работы ЛАП показал необходимость обеспечения равномерного распределения головного расхода воды в борозды путем расчёта кривой свободной поверхности потока, чтобы в период полива отверстия находилось под постоянным напором.

Для условия постоянного напора для всех отверстий расчёт кривой свободной поверхности производился по теоретической зависимости А.С.Кожевникова /3/. Как видно из рисунка, теоретическая кривая свободной поверхности по зависимостям /3/ оказалась близка к измеренной в натуре, что позволило использовать её в дальнейших наших опытах, разница находится в пределах 1–2 см.

Пропускная способность ЛАП определяется из условия незатопления отверстий, расположенных в начале транзитного участка лотка. При горизонтальном расположении лотка /  $i = 0$  / движение потока имеет свободную поверхность, соответствующую кривой спада.

Сопоставление кривой спада, вычисленной по уравнению Бахметьева /1/ и снятой в натуре, показывает общую сходимость их в начальном сечении. При этом, как видно на рисунке, прослеживается повышение фактической кривой над теоретической в нижней части и более пологое расположение в верхней части транзитной секции лотка.

Испытание разработанной конструкции проводилось в 1976 г. в совхозе "Социализм" старой зоны орошения Голодной степи. Под опытный участок была выбрана концевая часть оросителя П-11<sup>а</sup>, питающегося из правой ветки канала им Кирова. В русло оросителя уложены лотки ЛР-60 на протяжении 1700 м. Подкомандная площадь 58 га засеяна хлопчатником с междурядьями 90 см, при длине борозд 350 м.

Для производства полива лотковый ороситель разбит



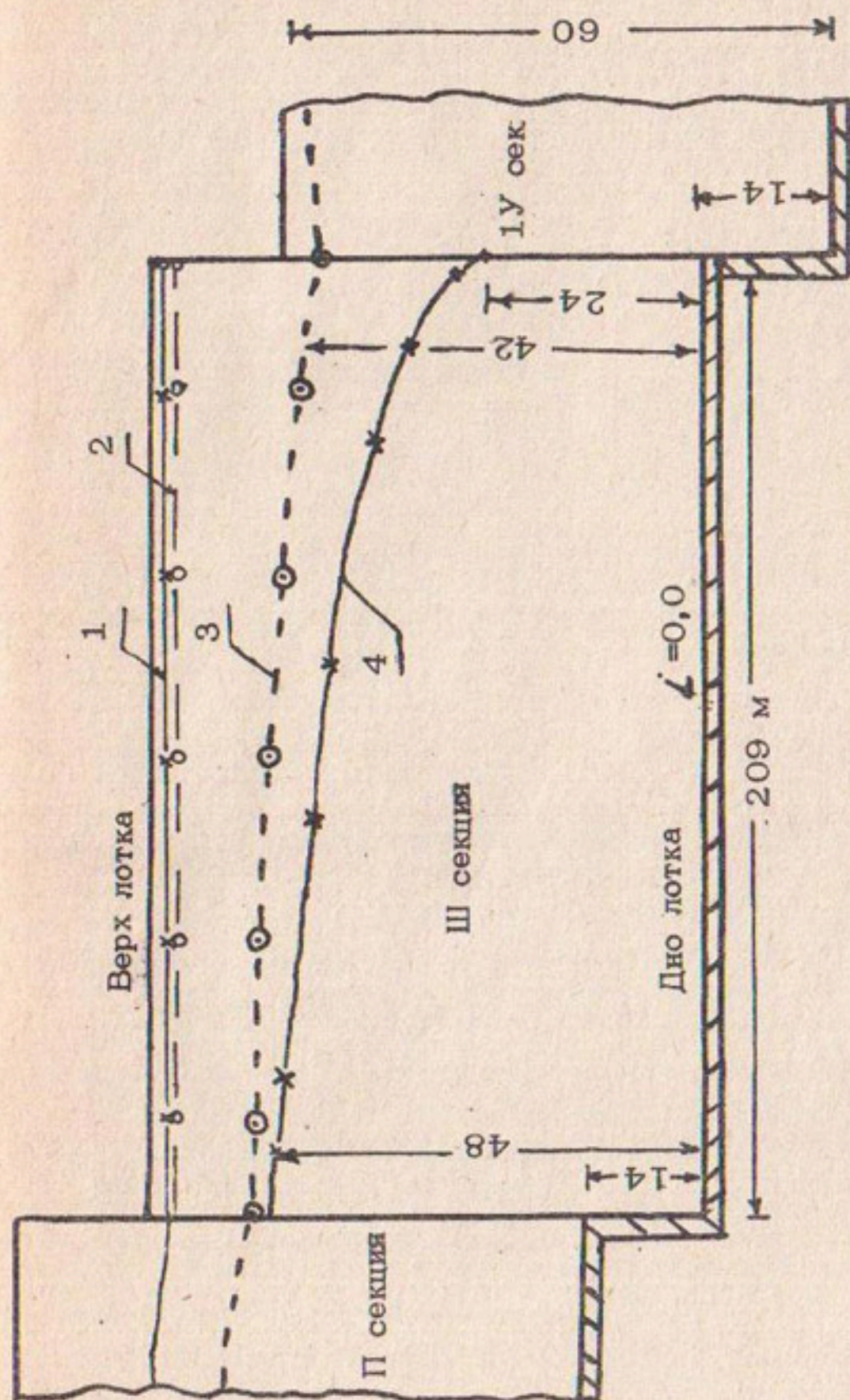


Схема автоматического лоткового оросителя. 1 — фактический уровень при подпорном режиме,  $Q = 120$  л/с; 2 — теоретический уровень при подпорном режиме,  $Q = 120$  л/с; 3 — фактический уровень при транзитном режиме,  $Q = 120$  л/с; 4 — теоретический уровень при транзитном режиме,  $Q = 120$  л/с.



на восемь секций. Длина каждой секции в зависимости от уклона местности изменялась от 200 до 216 м (табл.1). В каждой секции в стенке лотка проделано от 220 до 240 отверстий, имеющих форму усеченного конуса, с диаметром 5 см на входе и 3 см при выходе. При длине отверстия, равной толщине стенки лотка (5 см) отверстия работают под напором как насадка.

Т а б л и ц а 1

Технические характеристики ЛАП и их  
подкомандные площади

| Показатель                | Номер секции |      |      |      |      |      |      |      |
|---------------------------|--------------|------|------|------|------|------|------|------|
|                           | 1            | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    |
| Длина секции, м           | 216          | 209  | 209  | 209  | 209  | 200  | 200  | 200  |
| Подкомандная площадь, га  | 8,16         | 7,20 | 7,20 | 7,20 | 7,20 | 7,00 | 7,00 | 7,00 |
| Количество отверстий, шт. | 240          | 232  | 232  | 232  | 232  | 220  | 220  | 220  |

Расход воды в секциях измерялся водосливом Чипполетти, а расход через отверстия определялся объемным способом. Последний изменялся от 0,50 до 0,70 л/с в зависимости от головного расхода. Результаты опытов и основные показатели полива за вегетационный период 1976 г. даны в табл.2.

Первый полив продолжался 18 суток, второй - 13. В первом поливе поливная норма по секциям ЛАП изменялась от 650 до 1680 м<sup>3</sup>/га при средней норме 1186 м<sup>3</sup>/га.

При ручном поливе поливная норма соответственно колебалась от 810 до 2150 м<sup>3</sup>/га при средней норме 1470 м<sup>3</sup>/га, т.е. почти в 1,20 раза больше, чем норма ЛАП. Низкая норма полива из ЛАП по сравнению с ручным была достигнута за счёт одновременной подачи воды на поливной участок и поддержания постоянного расхода ее по секции. Необходимо отметить, что некоторые колебания расхода оросителя по отдельным секциям объясняется неспланированностью поверхности



Результаты сравнения ЛАП с обычным способом полива на опытном участке совхоза "Социализм", 1976 г.

| №№ секций        | Полив из лотка |                   |                        |                                    | :           | Ручной полив      |                        |                                    |  |
|------------------|----------------|-------------------|------------------------|------------------------------------|-------------|-------------------|------------------------|------------------------------------|--|
|                  | площадь, га    | :расход воды, л/с | :поливная норма, м³/га | :производительность труда, га/сут. | площадь, га | :расход воды, л/с | :поливная норма, м³/га | :производительность труда, га/сут. |  |
| 1                | 2              | 3                 | 4                      | 5                                  | 6           | 7                 | 8                      | 9                                  |  |
| Первый полив     |                |                   |                        |                                    |             |                   |                        |                                    |  |
| 1                | 3,76           | 50                | 780                    | 5,65                               | 4,40        | 39                | 1220                   | 1,44                               |  |
| П                | 3,60           | 62                | 685                    | 7,85                               | 3,54        | 39                | 1300                   | 1,41                               |  |
| Ш                | 3,60           | 50                | 650                    | 6,60                               | 3,50        | 44                | 1600                   | 1,20                               |  |
| У                | 4,07           | 88                | 1430                   | 4,55                               | 3,02        | 35                | 1000                   | 1,5                                |  |
| У1               | 4,66           | 77                | 1420                   | 4,66                               | 2,50        | 70                | 810                    | 3,75                               |  |
| УП               | 4,68           | 106               | 1220                   | 7,50                               | 2,28        | 60                | 1800                   | 1,59                               |  |
| УШ               | 4,69           | 110               | 1680                   | 4,90                               | 2,38        | 41                | 1870                   | 0,9                                |  |
| УШ               | 4,48           | 46                | 1520                   | 3,10                               | 2,32        | 41                | 2150                   | 0,9                                |  |
| Среднее за полив | 34,1           | 71                | 1186                   | 5,6                                | 23,9        | 43                | 1470                   | 1,6                                |  |



| 1                | 2    | 3   | 4    | 5    | 6    | 7   | 8    | 19  |
|------------------|------|-----|------|------|------|-----|------|-----|
| Второй полив     |      |     |      |      |      |     |      |     |
| 1                | 3,76 | 101 | 1600 | 5,63 | 4,40 | 125 | 1600 | 3,6 |
| П                | 3,60 | 76  | 2120 | 2,77 | 3,54 | 125 | 1650 | 3,3 |
| Ш                | 3,60 | 30  | 1070 | 2,40 | 3,50 | 125 | 1680 | 3,3 |
| У                | 4,07 | 68  | 1680 | 3,74 | 3,02 | 79  | 1400 | 2,4 |
| У1               | 4,66 | 79  | 1040 | 6,60 | 2,5  | 70  | 1520 | 2,1 |
|                  | 4,68 | 83  | 1530 | 4,68 | 2,28 | 85  | 2000 | 1,8 |
| УП               | 4,69 | 79  | 1460 | 4,69 | 2,38 | 85  | 1920 | 1,8 |
| УШ               | 4,48 | 100 | 1920 | 4,48 | 2,32 | 97  | 2250 | 1,8 |
| Среднее за полив | 34,1 | 77  | 1550 | 4,4  | 23,9 | 100 | 1750 | 2,5 |



опытного участка.

При сравнении труда поливальщика по двум рассматриваемым способам установлено, что производительность труда одного поливальщика при работе с ЛАП по секциям колебалась от 3,10 до 7,85 га/сутки, а в контроле она была существенно ниже и составила соответственно 0,9–3,7 га/сутки.

Таким образом, высокие технико-экономические показатели разработанной конструкции, т.е. низкая норма полива и высокая производительность труда поливальщика по сравнению с обычным способом позволяют рекомендовать ЛАП в хозяйствах с аналогичными условиями.

### Л и т е р а т у р а

1. Б о г о м о л о в А.И., М и х а й л о в К.А. Гидравлика. М., Стройиздат, 1972.
2. Б у с т а н о в М.Д. Исследования по автоматизации полива по бороздам. Тезисы докладов республиканской научно-технической конференции молодых ученых и специалистов водного хозяйства. Ташкент, 1973.
3. К о ж е в н и к о в А.С. Решение общего уравнения движения потока с отсоединяющимся расходом в параболическом русле. "Известия АН УзССР", 1975, № 2.
4. Л а к т а е в Н.Т. Полив хлопчатника. М., "Колос", 1978.



## С о д е р ж а н и е

|                                                                                                                                                                               |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. Д у х о в н ы й В.А. Оптимизация путей развития сельского хозяйства среднеазиатских республик в связи с осуществлением переустройства оросительных систем, . . . . .       | 3  |
| 2. Т я н В.К. К вопросу оценки дополнительных водных ресурсов при осуществлении противофильтрационных мероприятий на оросительной сети . . . . .                              | 24 |
| 3. Б о ч а р и н А.В., М и р з а е в М.И., М и р з а е в Н.Н. Методы решения задачи оптимальной корректировки планов водопользования при дефиците оросительной воды . . . . . | 35 |
| 4. М и р з а е в Н.Н. К вопросу о зависимости урожайности хлопчатника от снижения оросительной нормы . . . . .                                                                | 44 |
| 5. И р м у х а м е д о в Х.А., В а л и е в Н. К определению поперечной составляющей скорости потока на участке дейгиша р.Амударья . . . . .                                   | 52 |
| 6. М а ш к о в В.Н. Изменение режимов работы насосных агрегатов, работающих параллельно на один длинный трубопровод, в период включения насосного агрегата . . . . .          | 61 |
| 7. И р м у х а м е д о в Х.А., М и р з и я т о в М. Опыт эксплуатации креплений земляных регуляционных дамб от размыва в условиях предгорных рек Узбекистана . . . . .        | 71 |
| 8. Д ж у р а е в Р. Водохозяйственная эффективность Южносурханского водохранилища в бассейне р.Сурхандарьи . . . . .                                                          | 77 |
| 9. З а и р о в Х.И. С а в и н В.А., А з и м о в А.А. Разработка ультразвукового измерителя скорости воды для ирригационных каналов . . . . .                                  | 88 |
| 10. Б о ч а р и н А.В., Г о л у б е в а Т.И. Методика корректировки водного баланса оросительной сети в условиях неустойчивости расходов . . . . .                            | 97 |
| 11. А д ы л о в К.А. Об организационных формах технического обслуживания хозяйственных гидро-                                                                                 |    |



|     |                                                                                                                                                                     |     |
|-----|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|     | мелиоративных систем в условиях Узбекистана                                                                                                                         | 103 |
| 12. | Кожеевникова М.С., Осадчая И.В.<br>Вопросы эксплуатации ирригационных водохрани-<br>лищ Средней Азии . . . . .                                                      | 106 |
| 13. | Пулатов У.Ю. Резервы повышения эффектив-<br>ности механизации ремонтно-эксплуатационных<br>работ на оросительных системах . . . . .                                 | 114 |
| 14. | Гаршенина Н.Л., Беличенко Ю.П.<br>К вопросу об оперативном управлении режимом<br>попусков водохранилищ . . . . .                                                    | 125 |
| 15. | Сальников М.П., Тимошенко И.В.<br>Дистанционный уровнемер . . . . .                                                                                                 | 131 |
| 16. | Зайров Х.И., Сальников М.П., Бу-<br>тырин М.В. Построение градуировочной за-<br>висимости расходомеров гидромелиоративных<br>систем методом моделирования . . . . . | 135 |
| 17. | Бустанов Д. Некоторые результаты исследо-<br>вания полива из лотков автоматического водо-<br>распределения . . . . .                                                | 143 |



## РЕФЕРАТЫ

к сборнику научных трудов, вып.161  
(Повышение эффективности гидромелиоративных  
систем в зоне орошения)

УДК 626.8:658.012.2

ОПТИМИЗАЦИЯ ПУТЕЙ РАЗВИТИЯ СЕЛЬСКОГО  
ХОЗЯЙСТВА СРЕДНЕАЗИАТСКИХ РЕСПУБЛИК В  
СВЯЗИ С ОСУЩЕСТВЛЕНИЕМ ПЕРЕУСТРОЙСТВА  
ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

В.А.Духовный

Сборник научных трудов, вып.161, Ташкент, САНИИРИ, 1980.

В статье дан подробный анализ водопотребления в Среднеазиатском регионе, а также состояния водных ресурсов бассейна Аральского моря. Перечислены зоны, где комплексная реконструкция оросительных систем должна быть проведена в первую очередь. Перечислены возможные альтернативы, способствующие сохранению необходимых темпов переустройства сельскохозяйственного производства. Разработана программа расчёта приведенных затрат с учётом народнохозяйственного и социального эффектов.

Табл. 3, библи. 4, иллюстр. 4.

УДК 626.01:626.013

К ВОПРОСУ ОЦЕНКИ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ВОДНЫХ  
РЕСУРСОВ ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ ПРОТИВОФИЛЬТРАЦИОННЫХ  
МЕРОПРИЯТИЙ НА ОРОСИТЕЛЬНОЙ  
СЕТИ

В.К.Тян

Сборник научных трудов, вып.161, Ташкент, САНИИРИ, 1980.

В статье предлагается методика оценки дополнительных водных ресурсов при осуществлении противофильтрационных ме-



роприятий и изложены ее основные положения. Дается пример расчета резервов дополнительных водных ресурсов по бассейнам рек Сырдарьи и Амударьи.

Табл. 3, библи. 2.

УДК 626.810

# МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ОПТИМАЛЬНОЙ КОРРЕКТИРОВКИ ПЛАНОВ ВОДОПОЛЬЗОВАНИЯ ПРИ ДЕФИЦИТЕ ОРОСИТЕЛЬНОЙ ВОДЫ

А.В.Бочарин, М.И.Мирзаев, Н.Н.Мирзаев

Сборник научных трудов, вып.161. Ташкент, САНИИРИ, 1980.

В статье освещены вопросы оптимального распределения водных ресурсов в условиях дефицита воды. Обоснована необходимость ограничений в водопотреблении хозяйствами, а также зависимость урожайности сельскохозяйственных культур от выполнения этих ограничений. Приведены значения постоянных коэффициентов в зависимости от вида культуры, гидрогеологических условий, климатических зон орошения, а также алгоритм решения, полученный на основе математических преобразований.

Библи. 10.

УДК 626.810

# К ВОПРОСУ О ЗАВИСИМОСТИ УРОЖАЙНОСТИ ХЛОПЧАТНИКА ОТ СНИЖЕНИЯ ОРОСИТЕЛЬНОЙ НОРМЫ

Н.Н.Мирзаев

Сборник научных трудов, вып.161. Ташкент, САНИИРИ, 1980.

В статье изложены результаты мелкоделяночного опыта, проведенного на НИСТО САНИИРИ для оценки влияния на урожайность хлопчатника сокращенных оросительных норм. На основе полученных данных установлена корреляционная зависимость между урожайностью хлопчатника и оросительной нормой —



$Y = f(M)$  Эта зависимость далее использована для совершенствования расчётного способа построения связей  $Y = f(M)$  различных сельхозкультур, гидрогеологических районов и климатических зон.

Результаты опыта представляют определенный интерес для локальных условий. При использовании же их в вышеупомянутом расчётном способе полученное уравнение приобретает обобщенный характер и дает существенный эффект в том смысле, что позволяет достигнуть лучшей аппроксимации опытных данных расчётными кривыми, особенно в лимитированной области. Об этом свидетельствуют приведенные в работе графики и таблицы.

Табл. 2, иллюстр. 5, библи. 2.

УДК 627.01

## К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ПОПЕРЕЧНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ СКОРОСТИ ПОТОКА НА УЧАСТКЕ ДЕЙГИША Р.АМУДАРЬЯ

Х.А.Ирмухамедов, Н.Валиев

Сборник научных трудов, вып.161. Ташкент, САНИИРИ, 1980.

Предлагаются результаты теоретических исследований по количественной оценке поперечной составляющей скорости потока. Выведены расчётные зависимости для определения поперечной скорости потока на участке дейгиша.

Табл. 4, библи. 8.

УДК 626.83

## ИЗМЕНЕНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ НАСОСНЫХ АГРЕГАТОВ, РАБОТАЮЩИХ ПАРАЛЛЕЛЬНО НА ОДИН ДЛИННЫЙ ТРУБОПРОВОД, В ПЕРИОД ВКЛЮЧЕНИЯ НАСОСНОГО АГРЕГАТА

В.Н.Машков

Сборник научных трудов, вып.161. Ташкент, САНИИРИ, 1980.

Изложена методика определения графо-аналитическим спо-



собою изменения режимов работающих центробежных насосных агрегатов при включении насосного агрегата, работающего на этот же трубопровод. Предлагаемый способ позволяет определять необходимую скорость открытия дисковых затворов без длительных расчётов методом подбора, особенно при работе насосов разных марок на один трубопровод.

Иллюстр. 2.

УДК 627.142.1

### ОПЫТ ЭКСПЛУАТАЦИИ КРЕПЛЕНИЙ ЗЕМЛЯНЫХ РЕГУЛЯЦИОННЫХ ДАМБ ОТ РАЗМЫВА В УСЛОВИЯХ ПРЕДГОРНЫХ РЕК УЗБЕКИСТАНА

Х.А.Ирмухамедов, М.Мирзиятов

Сборник научных трудов, вып.161. Ташкент, САНИИРИ, 1980.

Рекомендуются рациональные конструкции для защиты основания дамб и берегов, дана методика их гидравлического расчёта. Предлагается зависимость допустимой скорости потока от диаметра наносов:  $V_0 = 0,057 \cdot d^{0,65}$ .

Годовой экономический эффект от предложенной рекомендации по защите дамб новыми способами составляет 23 тыс. руб.

Табл. 1, библи. 5.

УДК 628.367:633.18

### ВОДОХОЗЯЙСТВЕННАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЮЖНО-СУРХАНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА В БАССЕЙНЕ Р.СУРХАНДАРЬИ

Р.Джураев

Сборник научных трудов, вып.161. Ташкент, САНИИРИ, 1980.

В статье отражаются основы развития водного хозяйства, регулирование речного стока, совершенствование водохозяйственных систем, охрана и воспроизводство водных ресурсов в процессе их рационального использования; отмечается роль и значение Южносурханского водохранилища, регулирующего сток



Сурхандарьи для освоения целинных земель Сурхан-Шерабадской долины и для развития сельского хозяйства зоны старого орошения.

Табл. 2, иллюстр. 1, библи. 2.

УДК 532.57

## РАЗРАБОТКА УЛЬТРАЗВУКОВОГО ИЗМЕРИТЕЛЯ СКОРОСТИ ВОДЫ ДЛЯ ИРРИГАЦИОННЫХ КАНАЛОВ

Х.И.Заиров, В.А.Савин, А.А.Азимов

Сборник научных трудов, вып.161. Ташкент, САНИИРИ, 1980.

В работе рассматриваются принцип построения и конструктивные особенности ультразвукового датчика скорости. Приводятся результаты аналитического исследования погрешности измерения. Показана возможность сочленения вторичной аппаратуры датчика с измерительными схемами гидрометрических вертушек типа ГР-55 и ГР-99.

Библи. 3, рис. 2.

УДК 626.810

## МЕТОДИКА КОРРЕКТИРОВКИ ВОДНОГО БАЛАНСА ОРОСИТЕЛЬНОЙ СЕТИ В УСЛОВИЯХ НЕСТАБИЛЬНОСТИ РАСХОДОВ

А.В.Бочарин, Т.И.Голубева

Сборник научных трудов, вып. 161, Ташкент, САНИИРИ, 1980.

В условиях динамичных изменений расходов на оросительной системе, вызванных потребностями эксплуатации, большое место отводится точности измерения стока и сбалансированности его по всем отводам системы. В силу специфики гидрометрических средств, обладающих различной точностью измерения расходов, возникает необходимость в введении поправки к фактическим коэффициентам полезного действия каналов в виде

$$\Delta \eta = \sqrt{\frac{1}{3} \left( \frac{Q_{\max}}{Q_{\text{ср}}} - 1 \right) \left( 1 - \frac{Q_{\min}}{Q_{\text{ср}}} \right)}$$



Введение поправки на эксплуатационные потери воды, неизбежные при существующем техническом уровне систем, позволит избавиться от невязки при подведении баланса стока по межхозяйственной системе.

Иллюстр. 1.

УДК 626.8

## ОБ ОРГАНИЗАЦИОННЫХ ФОРМАХ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ХОЗЯЙСТВЕННЫХ ГИДРОМЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМ В УСЛОВИЯХ УЗБЕКИСТАНА

К.А.Адылов

Сборник научных трудов, вып.161. Ташкент, САНИИРИ, 1980.

В статье приводятся объемы работ технического обслуживания внутрихозяйственной мелиоративной сети в зависимости от природно-хозяйственных и технических условий орошаемых земель районов Узбекистана и организационных формах проведения, а также взаимосвязи между участниками технического обслуживания.

УДК 626.8:004.1

## ВОПРОСЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ ИРРИГАЦИОННЫХ ВОДОХРАНИЛИЩ СРЕДНЕЙ АЗИИ

М.С.Кожевникова, И.В.Осадчая

Сборник научных трудов, вып.161. Ташкент, САНИИРИ, 1980.

В статье приводятся особенности среднеазиатских водохранилищ, отражающиеся на их эксплуатации; отмечаются недостатки в эксплуатации водохранилищ и намечены пути повышения эффективного использования запасов воды водохранилищ и продления их срока службы.

Библ. 8, иллюстр. 1.



УДК 626.8:002.5

РЕЗЕРВЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕХАНИЗАЦИИ  
РЕМОНТНО-ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ РАБОТ НА  
ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ

У.Ю.Пулатов

Сборник научных трудов, вып. 161. Ташкент, САНИИРИ, 1980.

На основе анализа состояния механизации ремонтно-эксплуатационных работ на оросительных системах Средней Азии вскрываются имеющиеся в этой области резервы. Дана формула определения потребного числа машин для выполнения ремонтно-строительных работ из расчета на 1000 га мелиорированной площади; приведены формулы установления сравнительной экономической эффективности нормативов.

Табл. 1, библи. 7.

УДК 631.6:333

К ВОПРОСУ ОБ ОПЕРАТИВНОМ УПРАВЛЕНИИ  
РЕЖИМОМ ПОПУСКОВ ВОДОХРАНИЛИЩ

Н.Л.Гаршенина, Ю.П.Беличенко

Сборник научных трудов, вып. 161. Ташкент, САНИИРИ, 1980.

Статья посвящена вопросу повышения эффективности использования водных ресурсов при эксплуатации ирригационных водохранилищ, расположенных на реках со значительной внутригодовой и многолетней изменчивостью стока.

Библи. 4.

УДК 532.57

## ДИСТАНЦИОННЫЙ УРОВНЕМЕР

М.П.Сальников, И.В.Тимошенко

Сборник научных трудов, вып. 161. Ташкент, САНИИРИ, 1980.

Дано описание дистанционного уровнемера, применение которого в значительной степени устранит влияние неблагоприятных



ятных условий производства наблюдений на точность измерений расходов воды и облегчит работу наблюдателя.

Конструкция уровнемера проста и он может быть изготовлен собственными силами УОС. Уровнемер может найти применение для измерения уровня воды в труднодоступных точках измерений, в том числе на водосливах в дренажных колодцах водохранилищ.

Иллюстр. 1, библи. 2.

УДК 532.57.01

### ПОСТРОЕНИЕ ГРАДУИРОВОЧНОЙ ЗАВИСИМОСТИ РАСХОДОМЕРОВ ГИДРОМЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМ МЕТОДОМ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Х.И.Заиров, М.П.Сальников, М.В.Бутырин

Сборник научных трудов, вып.161. Ташкент, САНИИРИ, 1980.

В статье изложена разработанная методика градуировки крупных расходомерных сооружений на каналах ГМС методом гидравлического моделирования. Дана методика исследований модели сооружения; предложены два способа составления градуировочной характеристики натуре по лабораторным данным с приведением примеров.

Табл. 1, иллюстр. 2, оибл. 4.

УДК 626

### НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОЛИВА ИЗ ЛОТКОВ АВТОМАТИЧЕСКОГО ВОДОРАСПРЕДЕ- ЛЕНИЯ

М.Д.Бустанов

Сборник научных трудов, вып.161. Ташкент, САНИИРИ, 1980.

Изложены результаты полевых исследований автоматизированного лоткового полива (АЛП) в совхозе "Социализм". Выявлена высокая производительность труда и низкая поливная норма при поливе АЛП по сравнению с обычными способами полива.

Иллюстр. 1, табл. 2, библи. 4.



Редакторы: Д.Х.Володина, А.Ш.Меркина,  
Р.П.Худаянц, Т.М.Шапошникова  
Корректор Р.П.Яхьяева

---

р. 05298 Подписано в печать 30/X-80 Уч.-изд.л. 6.  
Формат 60/90 1/16 Заказ 1792 Тираж 450 экз.  
Цена 75 коп.

---

Ташкент, Муками, 176. Картфабрика института "Узгипрозем"