

СОЗДАНИЕ ТЕХНИЧЕСКИ СОВЕРШЕННЫХ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ
ПРИ ОРОШЕНИИ ЗЕМЕЛЬ В АРИДНОЙ ЗОНЕ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ
УПРАВЛЕНИЕ ПРИРОДНЫМИ ПРОЦЕССАМИ

Оросительная система в аридной зоне может быть представлена как совокупность сооружений и объектов, предназначенных для водозабора, распределения между водопотребителями и подачи воды нужного качества на поля растениям с помощью разветвляющейся оросительной сети, управления уровнями грунтовых вод по сходящейся коллекторно-дренажной сети; вспомогательных сооружений, штата и персонала, управляющих и обеспечивающих нормальную работу сооружений; приборов и средств, регистрирующих изменения в работе по природной обстановке; необходимых материальных ресурсов, включая материалы, механизмы и транспорт, соответствующее административное и финансовое обеспечение.

Это определение, как видно, детализирует положение А.Н.Костякова [4] и позволяет подробно рассмотреть построение системы и их соответствие предъявленным требованиям по соответствующим элементам.

Требования к совершенным оросительным системам

Совершенные оросительные системы должны удовлетворять следующим требованиям:

- Управление воздушным и водно-солевым режимом почвогрунтов с целью создания оптимальных условий для получения высоких урожаев сельскохозяйственных культур при минимуме затрат воды на орошение означает необходимость с помощью регулирования уровня грунтовых вод и подачи оросительной воды обеспечить оптимальный мелиоратив-

ный режим на орошаемом массиве, соблюдая достаточную равномерность распределения воды на поле и однородность воздействия на соли в почвогрунтах. Это означает, что совершенная оросительная система должна включать в себя не только оросительные каналы и сооружения, как это было ранее, но и дренаж как средство управления уровнем грунтовых вод и отточностью от массива, и технику полива, как средство, позволяющее выполнить задачу равномерного взаимодействия оросительной воды и дренажа. Естественно, чтобы все управление водой и необходимыми режимами почвогрунтов осуществлялось в нужном направлении, все элементы сети должны быть оборудованы приборами учета и средствами наблюдений. Одновременно с целью снижения удельных затрат воды оросительная система должна выполняться с максимальным повышением КПД путем создания антифильтрационных покрытий и специальных антифильтрационных конструкций.

- Приспособленность системы к изменениям природных условий, происходящих и направляемых в процессе освоения новых орошаемых земель в соответствии с нашими проработками [27]. Здесь имеются в виду не только конструктивные меры по обеспечению устойчивости сооружений при этих изменениях, как, например, замочка при просадочных грунтах и т.д., но и возможность удовлетворения изменения параметров системы в этот период. Это касается, в основном, изменения в процессе освоения водопотребления и дренажных расходов, что приводит к увеличению на начальном этапе работ системы расчетных параметров оросительной и дренажной сети по сравнению с эксплуатационными, а также возможным изменениям высотного положения отдельных сооружений, уровня грунтовых вод, отметок оросительной воды, что должно учитываться в проектных проработках, строительстве и эксплуатации.

- Обеспечение надежности и долговечности взаимодействия воды с землей исходит из того, что орошаемые земли являются основополагающим элементом огромного капиталоемкого комплекса, впоследствии составляющего базу экономического потенциала массивов, а иногда и целых регионов. Поэтому любые нарушения в оптимальном характере взаимодействия двух основных изменяемых природных составляющих - земли и воды - могут привести к снижению продуктивности орошаемых земель, что неминуемо повлечет огромные экономические и социальные ущербы для большой зоны с вовлечением в

сферу населения. Поэтому важно не только обеспечить долговечность конструкций сооружений и надежность их работы в течение длительного времени, но и создать такую систему эксплуатационных мероприятий, которые бы поддерживали постоянную работоспособность сооружений и на будущее, выходящее за срок службы самих сооружений, путем периодического возобновления основных фондов и их замены. При этом эксплуатационные и сельскохозяйственные органы должны с помощью систематического контроля за всеми элементами орошаемых земель (уровнем и минерализацией грунтовых вод, минерализацией почвогрунтов, содержанием питательных элементов) обеспечивать принятие необходимых мер, гарантирующих прогрессирующее плодородие земель.

- Индустриальность конструкций необходима с целью возможности обеспечения высоких темпов строительства и ввода орошаемых земель. В последние годы на орошаемых землях темпы ввода орошаемых земель на отдельных массивах достигли 10-20 - до 25 тыс. га в год. Чтобы выполнить строительство необходимых оросительно-дренажных сооружений и обеспечить их подготовку под освоение в условиях пустынных земель, необходимы такие конструкции и решения отдельных элементов этой системы, которые бы за счет максимальной сборности, заводской готовности и механизации строительства позволили обеспечить надежные темпы работ при минимальных затратах труда в тяжелейших условиях строительства. Важно при этом, чтобы трудоемкость отдельных видов работ была близка друг к другу для того, чтобы создать возможность выполнения однородных работ параллельными специализированными потоками.

- Экономичность системы должна определяться не только по капитальным вложениям, но и с учетом долговечности и эксплуатационных затрат. Наилучшим методом при этом, очевидно, будет метод приведенных затрат с учетом амортизационных отчислений (несмотря на их отсутствие для межхозяйственных сооружений).

В результате предъявляемых требований видно, что создание совершенных оросительных систем должно складываться из:

- разработки и выполнения конструкций сооружений, элементов системы, соответствующих этим требованиям;
- осуществления мероприятий, направленных на учет и целенаправленное изменение природных условий;

- организации надежной эксплуатации, обеспечивающей долговечность, работоспособность и управляемость системой и ее элементов, в целях создания оптимальных условий для сельскохозяйственного производства.

Модель оросительной системы и роль основных конструктивных элементов в ней

Целевая функция основной деятельности системы может быть представлена цепочкой задач и процессов, изображенных на рисунке, в которой показано направление ведущих связей и их увязки с обеспечивающими средствами (или подсистемами) и требованиями сельского хозяйства и прочих отраслей. Формализация этой функции по подаче воды может быть выражена через:

- суммарные требования сельского хозяйства на воду

$$\sum_{j \in J} \sum_{t \in T} \frac{[q_{ij}](t) \cdot f_{ij}}{\lambda_{ml}} = \sum_{n \in N} \sum_{t \in T} [W_n](t); \quad (1)$$

- расчетный баланс полезной водоподдачи нарастающим итогом за время T

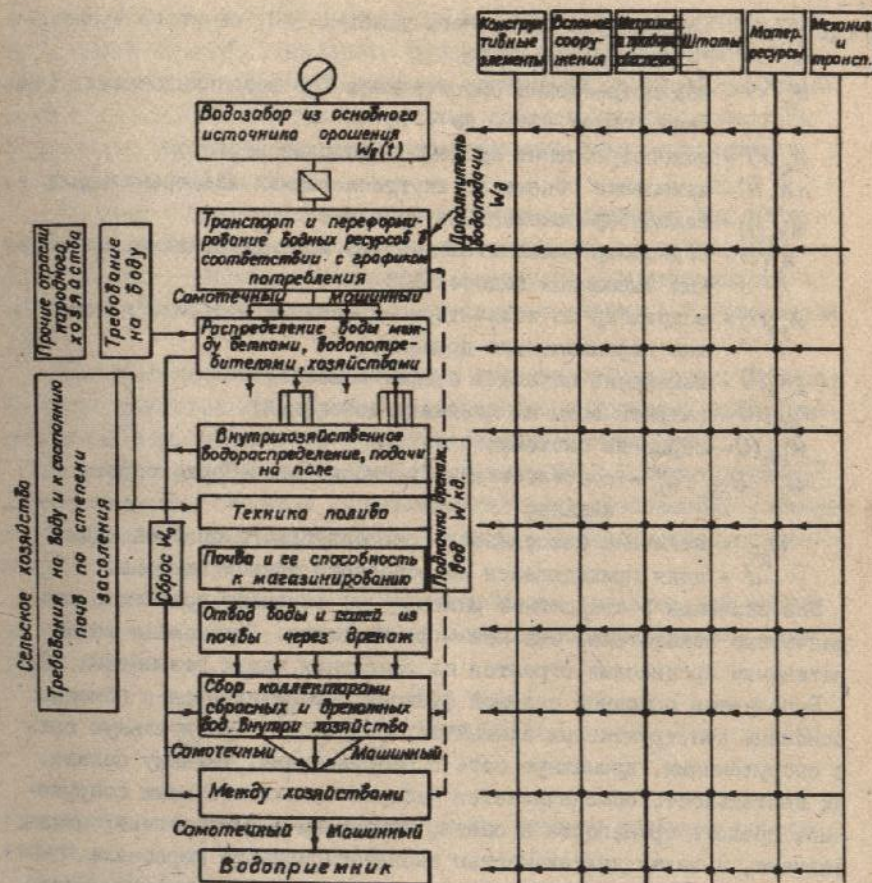
$$\sum_0^T [W_{bg}](t) + \sum_0^T [W_g](t) - \sum_0^T \sum_0^T \frac{[W_n](t) + [W_{np}](t)}{\lambda_c} \pm \sum_0^T [W_{dx}](t); \quad (2)$$

- фактический баланс водозабора для любого промежутка времени

$$\sum_0^T W_{bg}(t) + \sum_0^T W_g(t) + \sum W_{kg}(t) = \sum_0^T \sum_0^T \frac{W_n(t) + W_{np}(t)}{\lambda_c} \pm \sum_0^T \Delta W_{dx}(t) \pm \sum_0^T \Delta W_o(t) \pm W_{год}(t) + \sum_0^T W_{сдр}(t). \quad (3)$$

Ограничения по пропускной способности и мощности

$$\begin{aligned} 0 &\leq \Delta W_g \leq [W_g]; \\ 0 &\leq Q_{bg} \leq [Q_{bg}]; \\ 0 &\leq Q_{сдр} \leq [Q_{сдр}]; \\ 0 &\leq \Delta W_{dx} \leq [W_{dx}]. \end{aligned}$$



Связь основной целевой функции оросительной системы

Ограничения по водозабору

$$W_{bg}(t) \leq W_{зд} \cdot d(t).$$

Критерий оптимизации целевой функции:

1) минимизация организационных потерь [2, 5]

$$W_{сдр}(t) \rightarrow \min; \quad (4)$$

2) максимальное приближение к проектному водопотреблению расчетного одинарного элемента

$$[q_{ji}](t) - q_{ji}(t) \rightarrow \min, \quad (5)$$

где $q_{ji}(t)$ - гидромодуль единичного участка "i", занятого культурой "j" на площади "f";

$W_n(t)$ - водопотребление оросительное "n" водопользователя (бригады, поля) (от 0 до N);

$W_{np}(t)$ - водопотребление прочего водопользователя;

$\Delta W_{bx}(t)$ - изменение объема во внутрисистемных водохранилищах;

$W_{bg}(t)$ - водозабор основной из бассейна;

$W_g(t)$ - водозабор дополнительный (из местных скважин, из местных имеющихся водотоков);

$W_{kg}(t)$ - водозабор из коллекторно-дренажных вод (или из скважин вертикального дренажа);

$\Delta W_g(t)$ - изменение объема в бьефах каналов;

$W_{год}(t)$ - затраты воды на динамику добегания;

$W_{сбр}(t)$ - сброс из системы;

$Q_{bg}; Q_{сбр}; Q_k$ - соответственно расходы водозабора, сброса, канала;

$W_{y\delta}$ - величина бассейнового располагаемого ресурса воды;

d - доля приходящейся на водозабор данной системы.

Все значения в квадратной рамке $\square$ означают проектные или расчетные показатели, без нее - фактические. Управление мелиоративными процессами строится на основании наших разработок [9].

Выполнение основной целевой функции осуществляется с помощью основных конструктивных элементов, включающих оросительную сеть с сооружениями, дренажную сеть с сооружениями, технику полива. Их деятельность обеспечивается набором вспомогательных сооружений, средств транспорта и связи, приборами и метрологией, механизмами, а также деятельностью эксплуатационного персонала.

При правильно запроектированной системе и эксплуатации, четко соблюдающей все правила, при достаточной внешней водообеспеченности и нормальном состоянии всех сооружений должны соблюдаться два условия:

- режим влажности в течение всей вегетации для любой точки участка, орошаемого системой

$$[\theta]_{н.п.в.} \leq \theta_{ji}(t) \leq [\theta]_{п.п.в.};$$

- степень засоления почв в течение сезона для любого участка, орошаемого системой

$$[S] > S_y(t) < S_y(t-1) \quad \left| \begin{array}{l} z=S \\ z=0 \end{array} \right.,$$

где S - степень засоления почвогрунтов.

В зависимости от правильности проектных решений основные конструктивные элементы определяют проектную работоспособность системы, как характеристику возможных отклонений от проектных параметров расчетного участка при полном соблюдении всех проектных параметров системы в процессе строительства. Эти отклонения складываются вследствие:

- природной неоднородности почвогрунтов, грунтовых вод и других естественных субстанций орошаемого массива, а также недоучета полного диапазона изменений вследствие недостаточности объема изысканий, что прекрасно отражено в работе А.И.Голованова [17];

- недостаточно полного охвата при проектировании всего процесса взаимодействия конструктивных элементов в процессе эксплуатации вследствие условности представления расчетных схем.

Здесь понятие работоспособности системы по Ц.Е.Мирпулава [6] характеризуется степенью выполнения системой требований, установленных для основных параметров (в данном случае водообеспеченности и степени рассоления).

Обозначим эту проектную работоспособность оросительной системы через возможность проектных отказов водообеспеченности (или рассоления):

$$1 - \sum_0^T \sum_0^T \frac{[\theta_{ji}(t)] - [\theta_{ji}(t)]}{[\theta_{ji}(t)]} = \bar{\Delta}(t), \quad (6)$$

где черточка (-) означает возможные по проекту величины показателей;

$\bar{\Delta}(t)$ - обеспеченность проектной водоподачи (или рассоления).

Например, при поливе по бороздам без регулировки одинаковой струей при идеальной проектной планировке под наклонную плоскость, неравномерность увлажнения по данным Н.Т.Лактаева колеблется от 20 до 30% для разных типов водопроницаемости [5]. При регулировке струи эта неравномерность снижается в идеале до 5-8%. Здесь $\bar{\Delta}(t)$ соответственно равно 70-80% или 92-95%.

Другой вид проектной водонеобеспеченности может возникнуть при недостаточных запасах в оросительных каналах для удовлетворения пиковой потребности в воде.

Далее должна быть оценена работоспособность по результатам строительства $\Delta_c(t)$ (аналогично влиянию отклонений в качестве строительства на неравномерность водообеспеченности или расселения земель).

Наконец, основные отклонения могут возникнуть при эксплуатации по целому ряду причин $\Delta_3(t)$:

- при нарушении режима работы системы вследствие недостатка против нормативов людей λ_i , вспомогательных сооружений S_t , транспорта и механизмов (подвижных средств) μ_f , запасов материалов (z_i), при недостатке информативности $\mathcal{I}_{ni}$;
- при недостаточной квалификации персонала;
- при ухудшении качества работы сооружений, вследствие износа и потери части управляемости и работоспособности.

Первое условие отклонений может быть сформулировано как степень отклонений водоподачи в зависимости от обеспеченности и нормативной потребности вспомогательных подсистем и средств

$$\sum_0^F \sum_0^T \frac{[\theta_{ji}(t)] - \theta(t)}{[\theta_{ji}(t)]} = f\left(\frac{\lambda}{[\lambda]}, \frac{S_t}{[S_t]}, \frac{\mu_f}{[\mu_f]}, \frac{z_i}{[z_i]}, \frac{\mathcal{I}_{ni}}{[\mathcal{I}_{ni}]}\right) \quad (7)$$

выражается через α, β, c, d, g - соответствующие матричные коэффициенты.

Аналогично второе условие - отклонения в водоподаче в схеме задается как функция количества кадров по степени комплектованности

$$\sum_0^F \sum_0^T \frac{[\theta_{ji}(t)] - \theta_{ji}(t)}{[\theta_{ji}(t)]} = f(K_{st}), \quad (8)$$

где K_{st} - вальность уровня кадров от I до 0,3 по экспертной оценке.

Наконец, третье условие - снижение работоспособности и выход из строя отдельных сооружений и их частей в зависимости от осуществления плана ремонтных работ и технического обслуживания системы.

Без осуществления ремонтных работ отказы нарастают, работоспособность понижается, отклонения в водоподаче и водоотводе, а стало быть, соленакопление увеличивается. При выполнении работ по аварийной схеме работоспособность на определенном пери-

оде времени понижается и в целом также остается меньше единицы. При профилактическом проведении системы технического обслуживания работоспособность поддерживается на 100% уровне или близком к нему. Поэтому третье условие может быть сформулировано:

$$\sum_0^F \sum_0^T \frac{[\theta_{ji}(t)] - \theta_{ji}(t)}{[\theta_{ji}(t)]} = f(Md; \varphi_p), \quad (9)$$

где Md - объем профилактических или ремонтных работ;

φ_p - частота отказов в зависимости от характера конструкции и их ремонтпригодности.

Учитывая, что работоспособность системы вследствие эксплуатации и строительства является регулируемой в соответствующих процессах в зависимости от их осуществления, ясно, что определяющей работу технически совершенных оросительных систем является правильное решение основных конструктивных элементов и их увязки в целях стабильной водообеспеченности и управления уровнем грунтовых вод.

Идеальная увязка всех ранжированных вниз звеньев оросительной сети осуществлялась бы, если бы требования на изменение водопотребления немедленно передавались по всем конструктивным элементам до водозабора и также мгновенно удовлетворялись бы до самого поля. Ясно, что здесь вступает в действие фактор информативности и инертности системы - первый может быть решен существующими средствами связи и информации, особо с переходом на АСУ, а второй - в зависимости от длины всех магистралей и каналов будет иметь определенную величину запаздывания. Эта величина запаздывания должна быть учтена объемом резервирования. В любой момент времени

$$\Sigma q_{ni} = Q \pm \frac{W_{доп}}{t_g + t_3},$$

где t_g и t_3 - соответственно время добега и запаздывания.

Однако главной в увязке всех звеньев системы является возможность восприятия в перетрансформации ее конструктивными элементами не только изменяющихся требований на воду, но и технологических изменений в графиках полива, суммируемых по всей площади и при всей дискретности обслуживаемых подкомандных площадей.

М.Ф.Натаљчук [8], впервые оценивая суммарную надежность работы системы в зависимости от звеньев и определив ее соответственно в пределах хорошо работающей системы в 0,85-0,95, получил суммарную надежность как произведение надежности всех составляющих - 0,66 и отсюда сделал вывод о необходимости дополнительного резервирования в 36%.

Естественно, что максимальная работоспособность системы была бы в том случае, если бы расходы каждой старшей ступени каналов равнялись бы сумме возможных максимальных расходов подчиненной сети, но тогда это привело бы к огромному завышению их пропускной способности. Поэтому задача состоит в том, чтобы при проектировании выбрать элементы техники полива с максимальной равномерностью водопотребления и оценить необходимость резервирования на каждой ступени восходящих конструктивных элементов в зависимости от вероятности совпадения типовых максимумов водопотребления в различных звеньях.

Суммарные несовпадения технологических перерывов и пиковых потреблений техники полива с водоподачей приводят к большим отклонениям от водопотребления или к сбросам.

Так, по данным Г.Д.Шейнкина [9], на инженерных системах Таджикистана величина организационных сбросов из-за таких несовпадений составляет от 11 до 29%, в среднем около 20%. Наши наблюдения на совершенной системе ЮГК дали величину 11,8% без учета сброса с полей орошения, по данным М.Ф.Натаљчука [7] - около 20%.

Выполнение требований оптимизации (4 и 5) требует определенных сочетаний конструктивных элементов с учетом их резервирования.

Объем резервирования излишков воды в процессе отказов от нее и рассогласования системы определяется исходя из выражения (3), рассчитанного для различных уровней возможного рассогласования - "магистраль-межхозяйственный уровень-хозяйственный уровень-поле". Он покрывается за счет создания емкости бьефов и резервных емкостей суточного регулирования на каналах

$$W_{рез} = \sum_0^{f_1} Q(t) - [Q(t)] \cdot t.$$

Объем необходимого резервирования для восприятия сниженной работоспособности и возможных отключений в водоподаче определяется как следствие работоспособности системы и способности почв к магазинированию, выступающих уже как огромный естественный резерв почв во влагообеспеченности:

$$W_{рез} = \left[1 - \bar{\Delta}(t) \cdot \Delta_c(t) \cdot \Delta_s(t) \right] W_c - W_s, \quad (10)$$

где $W_{рез}$ - объем резервирования;

W_c - объем суточного водопотребления;

W_s - резерв магазинирования.

В освоенных почвах, таких как в Голодной степи, резервирование и магазинирование превышает зачастую отклонения по воде до 78-80%, как это имело место в течение ряда лет по системе ЮГК и ЮМК без ущерба урожаю и растениям. В то же время, как правильно отмечает Н.Т.Лактаев [5], несинхронность в водоподаче всех звеньев в других условиях приводит к использованию каналов в течение всей вегетации на форсированных режимах.

Л и т е р а т у р а

1. Голованов А.И. - Прогноз водосолевого режима и расчет дренажа на орошаемых землях. Автореф. докт. диссерт., МГМИ, М., 1975.
2. Духовный В.А. - Орошение и освоение Голодной степи. Изд-во "Колос", М., 1973.
3. Духовный В.А., Баклушин М.Б. и др. - Горизонтальный дренаж орошаемых земель. Изд-во "Колос", М., 1979.
4. Костяков А.Н. - Основы мелиорации. Сельхозгиз, М., 1960.
5. Лактаев Н.Т. - Полив хлопчатника. Изд-во "Колос", М., 1978.
6. Мирцхулава Ц.Е. - Надежность гидромелиоративных сооружений. Изд-во "Колос", М., 1974.
7. Натаљчук М.Ф. - Внутрихозяйственная эксплуатация для оросительных систем. Изд-во "Колос", М., 1969.
8. Натаљчук М.Ф. - Эксплуатация оросительных систем. Изд-во "Колос", М., 1971.
9. Шейнкин Г.Д. - Техника и организация орошения в Таджикистане. Изд-во "Ирфон", Душанбе, 1970.