

6
А-30

АКАДЕМИЯ НАУК КИРГИЗСКОЙ ССР
Институт автоматики

На правах рукописи

В. А. РОЖНОВ

СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКОЙ АВТОМАТИКИ
НА ИРРИГАЦИОННЫХ ОБЪЕКТАХ

№ 198 — автоматизация производственных процессов

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Фрунзе 1969

АКАДЕМИЯ НАУК КИРГИЗСКОЙ ССР
Институт автоматки

На правах рукописи

В. А. РОЖНОВ

СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКОЙ АВТОМАТИКИ
НА ИРРИГАЦИОННЫХ ОБЪЕКТАХ

№ 198 — автоматизация производственных процессов

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Фрунзе 1969

10
A 30

Взаимосвязанная работа гидротехнических сооружений позволяет реализовать основные преимущества автоматизации, эффективность которой определяется сокращением непроизводительного использования оросительной воды.

Известные из литературных источников и проектных разработок методы расчета систем прерывистого регулирования уровней воды в каналах с электрической обратной связью не обеспечивают в достаточной степени качественное проектирование систем стабилизации уровней воды отдельных узлов вододеления и взаимосвязанных гидротехнических сооружений. Физическое моделирование систем автоматизации и изучение свойств объектов экспериментальным путем трудноосуществимо из-за сложности создания моделируемых участков систем.

Автоматизация существующих гидротехнических сооружений требует также большого объема экспериментальных работ для определения коэффициентов усиления и постоянных времени объектов регулирования, необходимых при выборе и настройке аппаратуры автоматики.

С целью преодоления указанных трудностей автором были выдвинуты основные задачи исследований:

1. Разработка математических моделей импульсных систем стабилизации уровней воды с электрической обратной связью, учитывающих распределенность процессов в объектах регулирования, волновые явления и транспортные запаздывания.

2. Создание методики инженерного расчета систем прерывистого регулирования уровней воды.

3. Изучение качества процессов регулирования расходов и уровней воды с учетом специфики водораспределения на каналах с большими уклонами.

4. Обоснование задач улучшения качества водораспреде-

ления в случаях, когда процессы не удовлетворяют требованиям эксплуатации.

5. Разработка и обоснование рациональных структурных схем систем автоматического регулирования с учетом существующей аппаратуры электроавтоматики, которая показала достаточную степень надежности и удовлетворяет условиям эксплуатации водохозяйственных объектов.

6. Модернизация регулирующей аппаратуры и повышение надежности ее с учетом специфических условий эксплуатации объектов регулирования ирригационных систем.

I. Особенности объектов ирригационных систем, включающих каналы с большими уклонами

Каналы с большими уклонами характеризуются незначительной зоной распространения кривой подпора от перегораживающих сооружений и отсутствием ее при уклонах, более критических. Наличие больших скоростей в каналах обеспечивает пропуск необходимых расходов при относительно малых площадях живого сечения, что определяет повышенные требования к чувствительности датчиков регулирующих устройств электрической системы автоматики.

В обратной связи систем регулирования ирригационных объектов обычно применяются регуляторы прерывистого действия (импульсные, пропорционально-импульсные и др.), так как объекты характеризуются значительными временами запаздывания и инерционностью процессов.

Системы регулирования с электрической обратной связью, осуществляющие стабилизацию уровня воды в нижних бьефах сооружений, с целью обеспечения необходимыми расходами воды потребителей, расположенных вне зоны распространения кривой подпора, должны быть оборудованы датчиками в каналах с транзитными расходами воды.

Разработанные импульсные и пропорционально-импульсные регуляторы (Гипроводхоз, Росгипроводхоз, Средазгипроводхоз и др.) позволяют практически осуществить автоматизацию как отдельных ирригационных объектов, так и нескольких сооружений с учетом взаимосвязанной их работы.

Однако эффективное использование регуляторов прерывистого действия для автоматизации оросительных систем может быть осуществлено лишь в случае правильного согласо-

вания гидравлических параметров с характеристиками аппаратуры автоматики.

Методика инженерного расчета систем автоматической стабилизации, принимающая во внимание распределенность процессов в объектах регулирования, позволяет преодолеть возникающие трудности выбора аппаратуры в процессе проектирования автоматизации гидротехнических сооружений.

II. Электрические системы стабилизации уровней воды в каналах

Гидротехнические сооружения обычно оборудуются плоскими или сегментными затворами с электрофицированными приводами мощностью от сотен ватт до нескольких киловатт. Известные системы электрической автоматики на гидротехнических сооружениях требуют трехфазной силовой линии электропередач, электропривода затворов, применения шкафов управления электродвигателями и т. п. В связи с этим возникла необходимость разработки более простых технических средств для электрической автоматики оросительных систем.

В системах стабилизации уровней воды рассматриваемых объектов предлагается использовать электрогидравлическое устройство для управления гидравлическим затвором по слаботочной линии связи с потребляемой мощностью $5 \div 15$ вт, которая зависит от принятой скорости перемещения затвора. Устройства надежны в работе и просты в обращении. Они позволяют использовать для питания аккумуляторные батареи.

Управление задатчиками может осуществляться с помощью средств телемеханики. Система предусматривает защиту от переполнения верхнего бьефа сооружений при повышении уровня выше допустимого и в случае отсутствия питания в системе управления.

Предложены способы управления датчиками гидравлических затворов по каналам телемеханики, что позволяет сократить затраты на устройство линий электропередач.

Анализ используемых уравнений динамики процессов в оросительных каналах (изложены, например, в работах С. П. Красовского, М. Д. Кучкина, М. Ю. Борухова и др.) показал, что они не учитывают всех особенностей ирригационных объектов. Процессы в каналах обычно описываются уравнениями безынерционных или одноемкостных звеньев, причем

ряд коэффициентов, постоянных времени и другие величины определяются экспериментальным путем.

Для исследований систем стабилизации уровней воды в каналах была использована математическая модель объекта (изложена в работах Э. Э. Маковского), учитывающая распределенность процессов на участке канала между двумя перегораживающими сооружениями.

Полученная математическая модель замкнутой системы регулирования позволила исследовать устойчивость и качество процессов стабилизации уровней воды в каналах с большими уклонами и разработать инженерную методику проектирования электрических систем автоматизации гидротехнических сооружений.

Система стабилизации уровней воды в нижнем бьефе гидротехнического сооружения с использованием регулятора прерывистого действия описывается уравнением

$$\begin{aligned} \zeta_1 = & \sum_{i=1}^n \left[K_1 (1 - e^{-\frac{t-t_i}{T_1}}) + \right. \\ & \left. + \frac{L_1}{T_1} e^{-\frac{t-t_i}{T_1}} \right] \frac{\gamma_1}{x_2} N_{II} \frac{V_1 K \Delta h_{1(i)}}{a_1} - \\ & - \sum_{j=1}^m \left[K_1 (1 - e^{-\frac{t-t_j}{T_1}}) + \frac{L_1}{T_1} e^{-\frac{t-t_j}{T_1}} \right] \frac{\gamma_1}{x_2} R_{II} \zeta_2(j), \end{aligned} \quad (1)$$

где $t = t_1 - \tau'_1$;

n — количество импульсов прерывистого регулятора;

m — количество возмущений;

V_1 — скорость перемещения затвора;

K — коэффициент усиления регулятора;

Δh_1 — отклонение уровня воды в створе электрического датчика в момент формирования импульса электрическим регулятором;

$t(i)$ — начало i -го импульса ($i=1, 2, \dots, n$);

$t(j)$ — начало j -го возмущения ($j=1, 2, \dots, m$); L_1 ; K_1 ; T_1 ; γ_1 ; x_2 ; N_{II} ; R_{II} ; τ'_1 определяются с учетом гидравлических параметров канала и сооружения.

Выражение (1) учитывает все основные особенности ирригационных объектов, к которым относится запаздывание и волновой расход, оно позволяет определить аналитическим путем настройку регулирующей аппаратуры, обеспечивающей необходимое качество процесса регулирования в системе стабилизации уровней воды.

В уравнении (1) принято, что управляющее воздействие носит характер единичного скачка, так как время перемещения затвора значительно меньше постоянной времени объекта регулирования. Когда же скорости перемещения затворов перегораживающих сооружений малы и время подъема или опускания становится соизмеримым с длительностью паузы импульсного регулятора, то при расчете необходимо учитывать закон движения затвора. Для этого случая также даны методы исследования переходных процессов в системах импульсного регулирования, учитывающие время перемещения затворов.

Анализ динамики процессов в замкнутых системах импульсного и пропорционально-импульсного регулирования показал, что расхождение аналитических и экспериментальных кривых составляет менее 10%. Это вполне допустимо при инженерных расчетах переходных процессов в ирригационных каналах, причем кривые, полученные аналитическим путем, отражают характер динамики реального процесса.

Предложенная методика позволяет произвести выбор параметров регулирующей аппаратуры систем электрической автоматики, причем у отдельных автоматизированных объектов можно добиться такого качества переходных процессов, что стабилизация уровня воды будет происходить без переуправления.

III. Системы каскадного регулирования с электрической обратной связью

Автоматизация отдельных гидротехнических сооружений полностью не реализует рациональное водораспределение на ирригационных объектах. Эту задачу можно решить лишь посредством системы взаимосвязанного регулирования, объе-

длинающей ряд сооружений или участков оросительных систем. Разновидностью таких систем является каскадное регулирование расходов воды.

Системы каскадного регулирования делятся на системы с гидравлической и электрической обратной связью. Применение тех или других систем зависит от технико-экономических показателей, причем не исключены комбинированные — с гидравлической и электрической обратной связью.

Системы с гидравлической обратной связью применяются обычно при распространении подпора между перегораживающими сооружениями.

На каналах с большими уклонами, когда кривая подпора выклинивается на большие расстояния от вышерасположенных перегораживающих сооружений, как показано на рисунке, применяются системы каскадного регулирования с электрической обратной связью, причем датчики электрических регуляторов находятся в значительном удалении от перегораживающих сооружений, в зоне влияния кривой подпора. Такие системы обычно называются системами каскадного регулирования по нижнему бьефу.

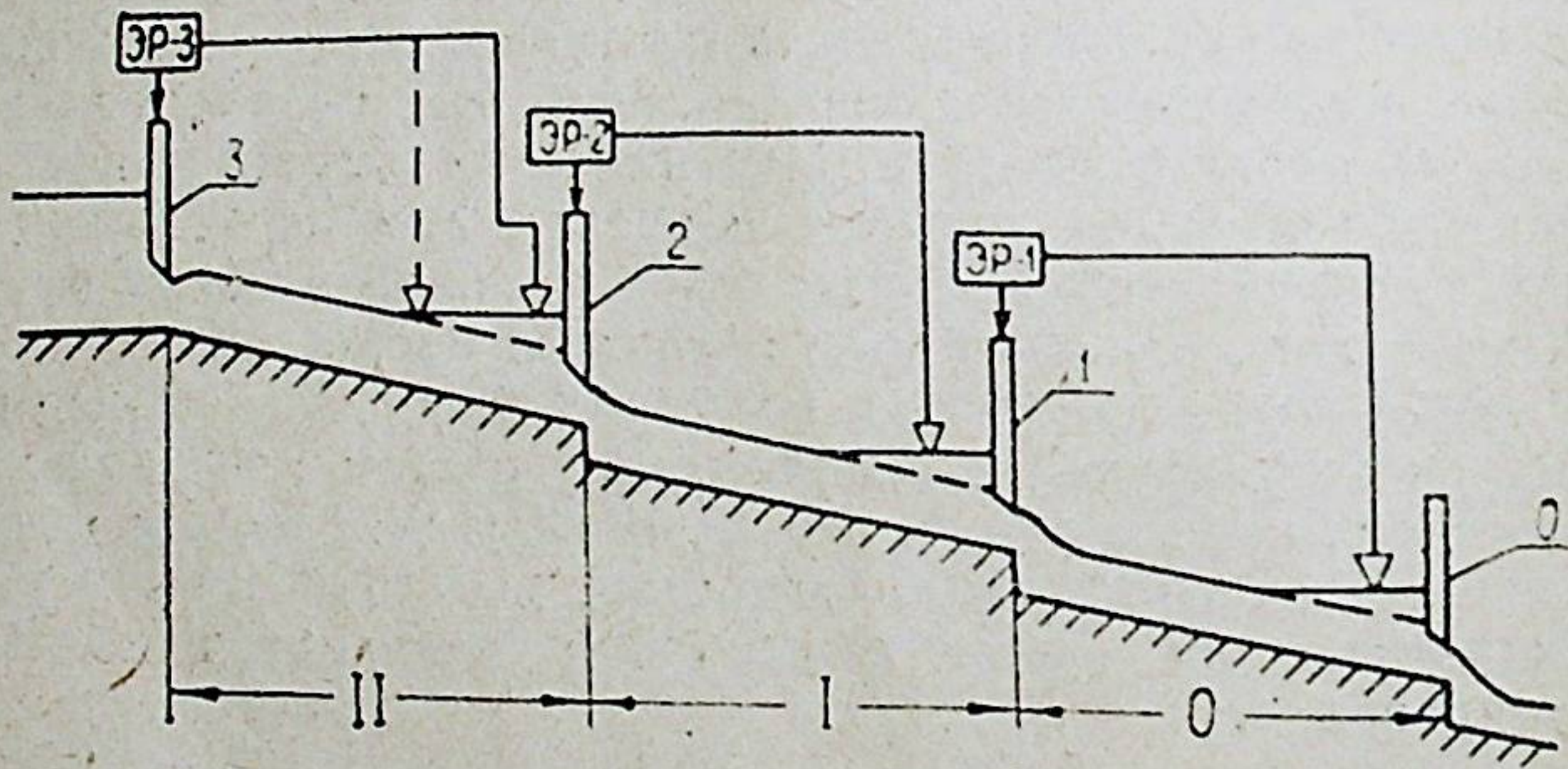


Рис.

Системы каскадного регулирования с электрической обратной связью до сих пор проектируются по опыту эксплуатации автономной системы прерывистого регулирования уровней воды в нижнем бьефе гидротехнического сооруже-

ния, которая имеет значительную степень устойчивости и требуемое качество процесса стабилизации уровней. Однако простое объединение отдельных автономных систем для взаимосвязанной их работы приводит к резкому снижению степени устойчивости и автоколебательным процессам в звеньях каскада. С целью исследования качества работы систем каскадного регулирования была создана ее математическая модель.

Анализ коэффициентов общего уравнения объекта регулирования позволил для каналов с большими уклонами при условии отсутствия распространения подпора до вышерасположенного перегораживающего сооружения пренебречь некоторыми коэффициентами и членами уравнения вследствие их незначительного влияния.

Предложенный графо-аналитический метод позволяет производить расчет переходных процессов в звеньях систем каскадного регулирования с электрической обратной связью.

Обычно решение уравнений динамики процессов в рассматриваемых системах имеет вид:

$$\begin{aligned}
 \varepsilon_{ok} = & - \sum_{j=1}^k \left[K_{(o)4} - (K_{(o)4} - \right. \\
 & \left. - \frac{L_{(o)4}}{T_{(o)4}} \right) e^{-\frac{t-t_j}{T_{(o)4}}} \left] \frac{1}{x_{(o)1}} N_{(o)k} x_{(o)j} - \\
 & - \sum_{m=1}^r \left[(1 - K_{(o)3} + \right. \\
 & \left. + \frac{(L_{(o)3} - T_{(o)3}) + (1 - K_{(o)3}) T_{(o)1}}{T_{(o)3} - T_{(o)1}} e^{-\frac{t-t_{(o)10}-t_m}{T_{(o)1}}} + \right. \\
 & \left. + \frac{(L_{(o)3} - T_{(o)3}) + (1 - K_{(o)3}) T_{(o)3}}{T_{(o)1} - T_{(o)3}} \right]
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& e^{-\frac{t-\tau'(0)10^{-t_m}}{T(0)3}} \left] \frac{K(0)1 \gamma(0)10}{x(0)2} N_{(1)н} z_{(1)m} - \right. \\
& - \sum_{n=1}^l \left[(1-K(0)3) + \frac{(L(0)3 - T(0)3) + (1-K(0)3)T(0)1}{T(0)3 - T(0)1} \right. \\
& e^{-\frac{t-\tau'(0)10^{-t_n}}{T(0)1}} + \frac{(L(0)3 - T(0)3) + (1-K(0)3)T(0)3}{T(0)1 - T(0)3} \\
& e^{-\frac{t-\tau'(0)10^{-t_n}}{T(0)3}} \left] \frac{K(0)1 \gamma(0)10}{x(0)2} R_{(1)н} \zeta_{1к(c)} ; \quad (2)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\zeta_{1к} = & - \sum_{m=1}^r \left[K_{(1)4} - \left(K_{(1)4} - \frac{L_{(1)4}}{T_{(1)4}} \right) e^{-\frac{t-t_m}{T_{(1)4}}} \right] \frac{1}{x_{(1)1}} N_{(1)к} z_{(1)m} - \\
& - \sum_{i=1}^q \left[(1-K_{(1)3}) + \frac{(L_{(1)3} - T_{(1)3}) + (1-K_{(1)3})T_{(1)1}}{T_{(1)3} - T_{(1)1}} \right. \\
& e^{-\frac{t-\tau'(1)10^{-t(i)}}{T_{(1)1}}} + \frac{(L_{(1)3} - T_{(1)3}) + (1-K_{(1)3})T_{(1)3}}{T_{(1)1} - T_{(1)3}} \\
& e^{-\frac{t-\tau'(1)10^{-t_i}}{T_{(1)3}}} \left] \frac{K_{(1)1} \gamma_{(1)10}}{x_{(1)2}} N_{(2)н} z_{(2)i} , \quad (3)
\end{aligned}$$

t_j — начало j -го возмущения, наносимого нулевым затвором (см. рисунок);

t_m — начало m -го открытия 1-го затвора (регулятор ЭР-1);
 t_i — начало i -го открытия 2-го затвора (ЭР-2);
 t_n — начало n -го отклонения уровня $\zeta_{1к}$ до $\zeta_{1к(c)}$,

$$\zeta_{1к(const)} = \zeta_{1к(n)} - \zeta_{1к(n-1)} = \frac{0,01}{h_{1к}};$$

$L_i; K_i; T_i; \gamma_i; \tau'_i; x_i; R_i; N_i$ определяются с учетом гидравлических параметров канала и сооружений.

Математическая модель замкнутой системы прерывистого регулирования учитывает все основные особенности ирригационных объектов, к которым относится чистое запаздывание и волновые явления.

Аналитический расчет динамики процессов в звеньях каскада с регуляторами пропорционально-импульсного действия показал, что рассредоточение датчиков и регулирующих сооружений вызывает автоколебательные режимы в системе взаимосвязанного регулирования или длительные переходные процессы, которые иногда имеют продолжительность более суток. Такой характер работы нежелателен из-за частого включения электроприводов затворов и размыва дамб каналов при большой амплитуде отклонений уровней. Практически в системе будут наблюдаться автоколебания. Указанные режимы могут быть допустимы в некоторых случаях, когда амплитуда колебаний незначительна и не нарушает водопотребления и эксплуатации электропривода. В целом же такие системы не могут обеспечить необходимые требования эксплуатации ирригационных каналов.

Анализ структурных схем каскадного регулирования с целью улучшения качества переходных процессов позволил выявить системы, обеспечивающие потребителей необходимыми расходами воды с минимальными потерями на холостые сбросы при использовании существующих регуляторов пропорционально-импульсного действия, разработанных для гидротехнических сооружений.

Значительный интерес представляют системы с бассейнами регулирования для достижения требуемого качества переходных процессов в звеньях каскада. В работе предложена методика расчета динамики процессов с целью выбора типа и настройки регулирующей аппаратуры и определения необходи-

мой емкости, обеспечивающей устойчивый процесс работы систем.

Кроме того, рассматривается так называемая система с датчиком холостого сброса, когда регуляторы гидравлического или пневмо-гидравлического действия на канале работают по верхнему бьефу и обеспечивают постоянный уровень воды перед перегораживающими сооружениями. При этом датчик холостого сброса или транзитного расхода промежуточного звена каскада связан с головным сооружением канала электрической обратной связью через регулятор пропорционально-импульсного действия. Предложенная система обладает большой надежностью и обеспечивает в ряде случаев необходимое качество процесса регулирования в автоматизируемых ирригационных объектах.

Иногда возникает необходимость использования систем каскадного регулирования по нижнему бьефу с электрической обратной связью. С целью улучшения качества переходных процессов проведен анализ замкнутых систем прерывистого действия с регуляторами более сложной структуры. Представляет интерес применение регуляторов пропорционально-дифференциального действия (разрабатываются в институте «Росгипрпроводхоз» и других организациях), которые формируют закон управления не только по отклонению, но и по скорости изменения уровня.

Аналитические расчеты замкнутых систем каскадного регулирования по нижнему бьефу при применении в обратной связи регуляторов пропорционально-дифференциального действия показали, что качество процесса заметно улучшилось, перерегулирование в системе незначительное, автоколебания отсутствуют. Время переходного процесса в звене каскада зависит от коэффициента пропорционально-импульсного и дифференцирующего звеньев.

Были исследованы также системы с регуляторами, коэффициент усиления которых изменяется скачкообразно в зависимости от знаков и соотношения двух координат — регулируемого параметра и производной. Этот метод ранее применялся только к системам непрерывного действия (Г. М. Островский). Использование указанного закона регулирования в системах с регуляторами пропорционально-импульсного действия показало положительные результаты. Предложенный метод в применении к системам каскадного регулирования по

нижнему бьефу позволил получить устойчивую работу звеньев, причем техническая реализация регуляторов с корректирующим звеном не представляет большой трудности и может быть осуществлена из серийных элементов промышленной автоматики.

Таким образом, результаты исследований различных структурных схем с корректирующими звеньями позволили получить устойчивые системы электрогидравлической автоматики, отвечающие эксплуатационным требованиям ирригационных объектов.

Необходимо отметить, что аналитический расчет нескольких звеньев систем каскадного регулирования с целью определения параметров настройки регулирующей аппаратуры становится в ряде случаев сложным и длительным. Полученные математические модели систем стабилизации уровней воды с регуляторами прерывистого действия позволили проводить выбор типа и настройки регулирующей аппаратуры на аналоговых вычислительных машинах (АВМ). Применение АВМ намного сокращает время, необходимое для выбора параметров настройки регулирующей аппаратуры с целью получения требуемого качества переходных процессов в системе автоматической стабилизации уровней воды в каналах.

IV. Экспериментальные исследования электрических систем стабилизации уровней воды в каналах

Изучение систем стабилизации уровней воды в каналах с электрической обратной связью проведено в основном на действующем оросителе Р-8-а Ат-Башинского магистрального канала Киргизской ССР, а также на распределителе К-9 Кировского магистрального канала Узбекской ССР.

В процессе натурных исследований были использованы электрогидравлические регуляторы с управлением положением датчиков этих затворов посредством устройств, описанных во второй главе и электрические регуляторы пропорционально-импульсного действия, разработанные институтом «Средазгипрпроводхлопок». Запись переходных процессов производилась с помощью самописцев уровня воды СУВ-1М «Валдай».

Натурные эксперименты подтвердили результаты исследований, приведенных в реферируемой работе, и позволили ре-

комендовать использование изложенных методов расчета рассматриваемых систем автоматического регулирования для проектирования автоматизированных оросительных систем.

Заключение

В итоге проведенных исследований были получены следующие основные результаты:

1. Существующие методы расчета систем автоматического регулирования водозабора и водораспределения не обеспечивают в стадии проектирования автоматизации гидротехнических сооружений выявления показателей процессов, так как они не учитывают основных свойств объектов регулирования, требуют значительного объема экспериментальных исследований для определения постоянных времени, коэффициентов усиления и других основных характеристик систем регулирования.

2. В реферируемой работе предложен метод анализа динамики систем импульсного регулирования уровней воды ирригационных каналов с учетом распределенности процессов.

3. Предложена методика инженерного расчета отдельных звеньев и систем каскадного регулирования с электрической обратной связью, которая позволяет выбрать тип и настройку аппаратуры электроавтоматики в зависимости от основных гидравлических параметров объекта регулирования.

4. Произведен анализ качества переходных процессов различных систем каскадного регулирования и выделены основные структурные схемы, которые позволяют обеспечить водораспределение с минимальными непроизводительными потерями воды в каналах с большими уклонами.

5. Разработаны математические модели систем каскадного регулирования с электрической обратной связью для каналов с большими уклонами, которые позволяют эффективно использовать методы моделирования на аналоговых вычислительных машинах с целью расчета и проектирования автоматизированных оросительных систем.

6. Разработаны электрогидравлические устройства для управления гидравлическими затворами по слаботочным линиям связи или по линиям телемеханики с использованием местных источников питания.

7. Разработано устройство защиты от переполнения кана-

лов при увеличении расходов выше нормы и исчезновении электроэнергии на исполнительных пунктах.

8. Показано, что использование отдельных корректирующих элементов позволяет в ряде систем стабилизации уровней воды значительно улучшить качество процесса водораспределения. Это указывает на эффективность дальнейших разработок регуляторов с более сложными законами регулирования, чем пропорционально-импульсный, который применен в существующей аппаратуре для ирригационных систем.

9. Полученные результаты исследований используются при проектировании автоматизации процесса водозабора и водораспределения на каналах с большими уклонами институтами «Киргизгипроводхоз», «Южгипроводхоз», «Средазгипроводхоз» и др.

Материалы диссертации были доложены на Конференции молодых ученых АН Киргизской ССР в 1965 г., на Всесоюзном семинаре по автоматизации и телемеханизации ирригационных систем в 1967 г. в Москве и на Всесоюзной научно-технической конференции молодых ученых по автоматизации водохозяйственных систем в 1968 г. во Фрунзе.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах

1. Маковский Э. Э., Рожнов В. А. Каскадное регулирование воды в каналах с большими уклонами. Сб. «Каскадное регулирование на ирригационных системах», Фрунзе, изд-во «Илим», 1966.

2. Рожнов В. А. Электрогидравлическое регулирование расходов воды на ирригационных объектах. Сб. «Системы каскадного регулирования ирригационных объектов», Фрунзе, изд-во «Илим», 1967.

3. Рожнов В. А. Электрические системы автоматического регулирования расхода воды в ирригационных каналах. Известия АН Киргизской ССР, Фрунзе, «Илим», № 6, 1967.

4. Рожнов В. А. Системы каскадного регулирования расходов воды с электрической обратной связью. Всесоюзный семинар по автоматизации и телемеханизации ирригационных систем. Тезисы докл. и сообщ., Москва, 1967.

5. Рожнов В. А. Электрогидравлический регулятор расхода воды для систем каскадного регулирования. Всесоюзный семинар по автоматизации и телемеханизации ирригационных систем. Тезисы докл. и сообщ., М., 1967.

6. Рожнов В. А. Устройство для регулирования уровня воды в оросительном канале. Авт. свидет. № 192426, Бюлл. № 5, 1967.

7. Рожнов В. А. Устройство для регулирования уровня воды в оросительных каналах и подобных сооружениях. Авт. свид. № 192427, Бюлл. № 5, 1967.

8. Рожнов В. А. Устройство для забора воздуха. Авт. свид. № 210322, Бюлл. № 6, 1968.

9. Рожнов В. А. Устройство для регулирования уровней воды в оросительном канале. Авт. свид. № 211114, Бюлл. № 7, 1968.

Центральная научная
БИБЛИОТЕКА
Академии наук Киргизской ССР