

8 ПРИНЦИПИАЛЬНЫЕ СХЕМЫ РЕГУЛИРУЮЩИХ СООРУЖЕНИЙ МЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМ И ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К НИМ

Основное назначение регуляторов - пропуск расчетных расходов с поддержанием соответствующих им уровней воды в мелиоративной сети (при орошении), уровней грунтовых (подземных) вод (УГВ, УПВ) и влажностей почвы на мелиорируемых землях (при осушении), а также обеспечение возможностей пропуска транзитных расходов. Как видно, через регулирующие сооружения решается задача многофакторного управления как элементами мелиоративных систем, так и режимами гидромелиораций.

Согласно требований к мелиоративным системам (регулирование водного режима почвы, продолжительность затопления поверхности сельскохозяйственных полей, подтопления корнеобитаемого слоя и др.), можно выделить следующие задачи, относящиеся непосредственно к конструкциям регуляторов:

- поддержание заданных уровней воды в одном из бьефов канала, независимо от изменений УПВ;
- поддержание постоянного перепада уровней воды в канале, независимо от изменений УПВ;
- поддержание заданных УГВ и уровня в одном из бьефов канала;
- поддержание заданных уровней воды в верхнем бьефе и УПВ с сохранением минимального допустимого уровня воды в канале;
- открытие затвора при некотором изменении уровня воды, фиксация затвора в этом положении и закрытие затвора при понижении уровня воды на определенную величину ниже первично заданного горизонта;
- поддержание заданных уровней воды в одном из бьефов и УПВ с автоматическим изменением режима регулирования уровней в зависимости от фаз развития растений;
- поддержание заданных уровней воды в верхнем и нижнем бьефах;
- поддержание заданного перепада уровней воды с автоматическим изменением его в период вегетации растений;
- поддержание заданного перепада уровней в открытой сети с перенастройкой на иной режим работы и регулированием УПВ;
- поддержание заданного перепада уровней с автоматической перенастройкой на иной режим работы с регулированием УПВ;
- автоматическое поддержание уровней воды в бьефах и грунтовых вод на полях с программным изменением горизонтов стабилизации в период вегетации.

Анализируя данные, приведенные в табл. 8.1 и 8.2, можно установить наиболее приемлемые регулирующие сооружения для различных типов мелиоративной сети (открытой, закрытой или комбинированной). При этом, повышение требований к регулирующим сооружениям ведет к определенному усложнению их конструкций. В на-

стоящее время, применяется множество регулирующих сооружений для поддержания уровней воды в верхнем (нижнем) бьефе или для смешанного регулирования уровней воды верхнего и нижнего бьефов.

На рис.8.1 приведены схемы регулирующих сооружений с различной степенью автоматизации управления уровнями воды в открытой сети и УПВ.

Имеющиеся конструктивные схемы дают возможность представить в общих чертах конструкции перспективных регулирующих сооружений и их связь с датчиками уровней.

Основными элементами регулирующих сооружений являются: затвор, поплавков, тяги. При автоматической настройке на определенный уровень, кроме перечисленных элементов, добавляется привод поплавка, который меняет положение поплавка в зависимости от уровня воды.

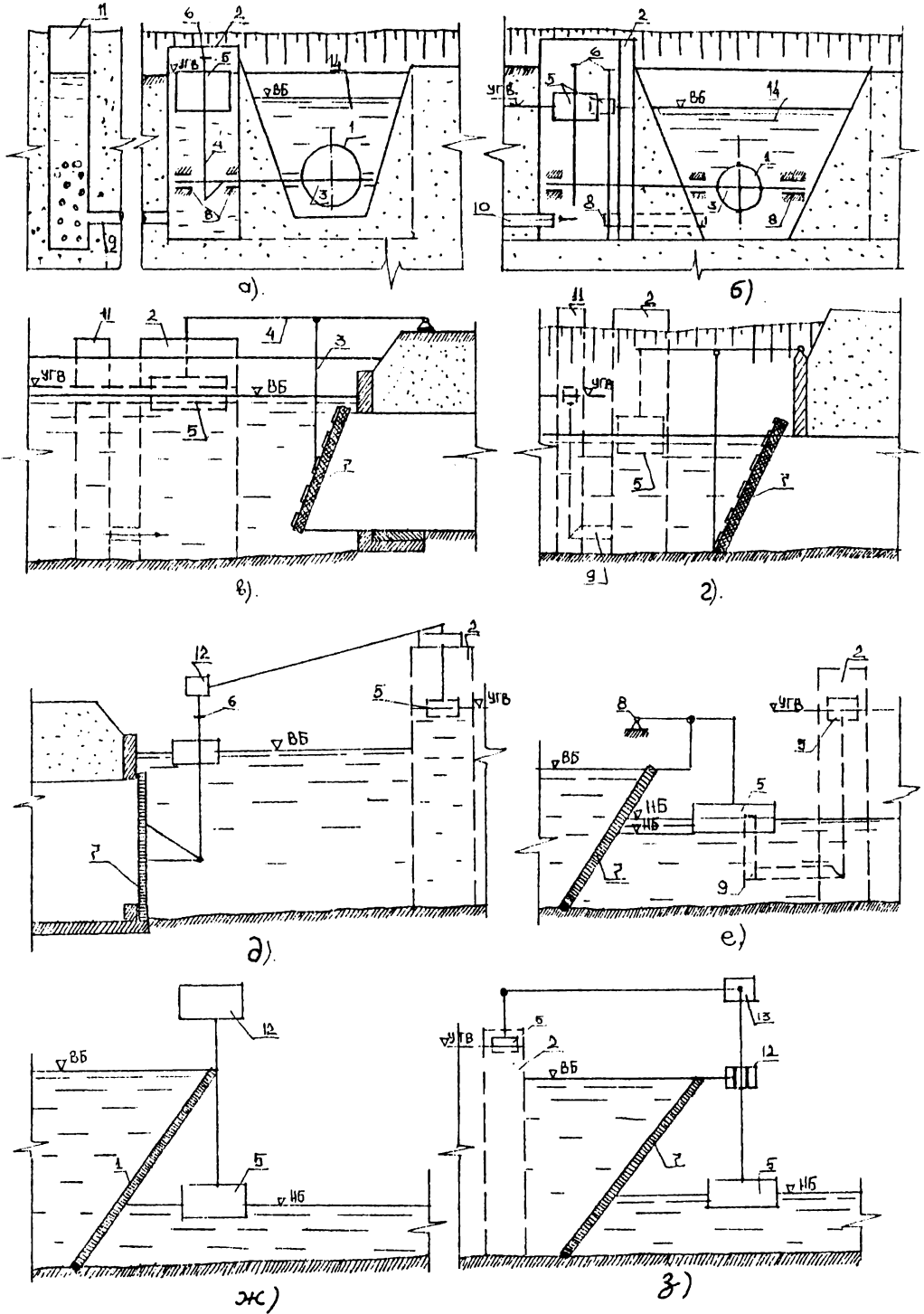
Таблица 8.1 Возможности использования регулирующих сооружений при управлении водным режимом почв

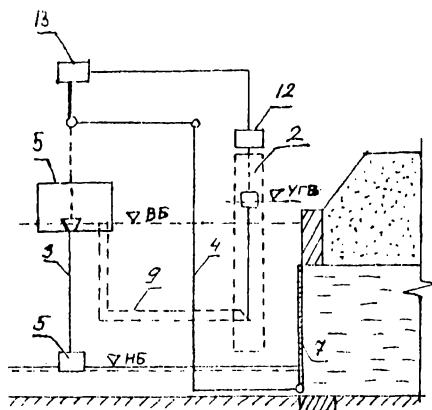
N варианта	Параметры						
	Применимость		УГВ	Возможность транзитного пуска	Автоматическая настройка	Перепад уровней	Программное управление
	в ВБ	в НБ					
1	+	-	-	+	-	-	-
2	-	-	-	+	-	+	-
3	+	-	+	+	-	-	-
4	-	+	+	-	-	-	-
5	-	+	-	-	-	-	-
6	+	-	-	+	+	-	-
7	+	-	+	+	+	-	-
8	+	+	-	+	-	-	-
9	-	-	-	+	+	+	-
10	-	-	+	+	+	+	-
11	-	-	+	+	-	+	-
12	-	+	+	-	+	-	-
13	+	+	+	+	+	-	-
14	-	-	+	+	+	+	+

Примечание: (+) - регулируемые, а (-) - нерегулируемые параметры.

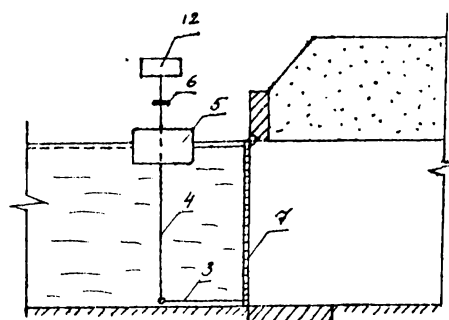
Таблица 8.2 Возможности использования регулирующих сооружений при управлении водным режимом на элементах мелиоративной системы

NN п.п.	Наименование элемента системы	N варианта сооружения
1	Магистральный (главный)	Регуляторы верхнего бьефа /1,6,5/
2	Водоподводящий	Регуляторы перепада верхнего и нижнего бьефов /2,8,9,13/
3	Коллекторная сеть	Регуляторы верхнего бьефа и перепада уровней и УПВ /1,2,3,6,7,9,13,14/
4	Осушитель	Регуляторы верхнего бьефа, уровня грунтовых вод и нижнего бьефа /3,4,5,7,12,13/
5	Совмещенные коллекторно-водоподводящие каналы	Регуляторы верхнего и нижнего бьефов /1,2,3,5,7,8,9,10,11,13,14/
6	Закрытая сеть	Регуляторы верхнего бьефа /1,3,6,7,13/

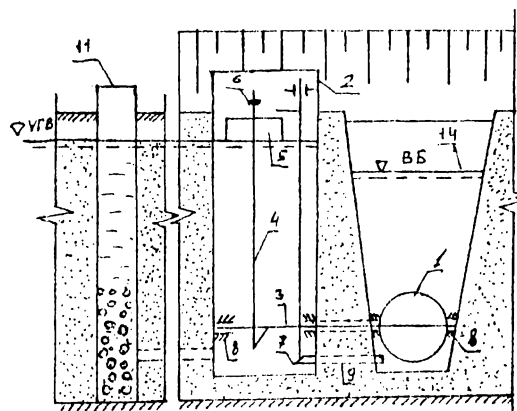




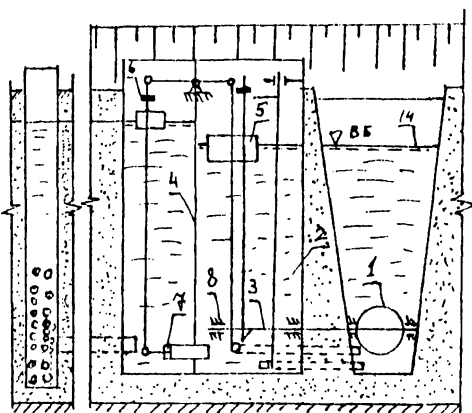
У)



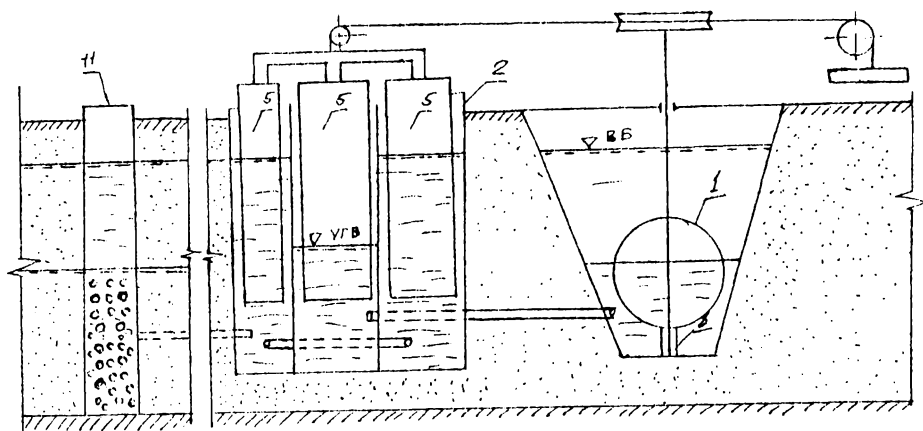
К)



Л)



М)



Н)

Рис.8.1 Принципиальные конструкции регуляторов гидравлического действия для автоматизированных мелиоративных систем: а - регулятор УГВ; б - регулятор ВБ и УГВ; в - регуляторы УГВ с гибким затвором; г - тоже, по УГВ и ВБ; д - регулятор ВБ и УГВ с автоматической настройкой; е - регулятор перепада уровней и УГВ; ж - регулятор перепада уровней с автоматической настройкой; з - тоже, но уровней и УГВ; и - регулятор ВБ, НБ и УГВ с автоматической настройкой на необходимый уровень или заданный режим работы; к - регулятор ВБ с автоматической настройкой на необходимый уровень или заданный режим работы; л - регулятор УГВ с ограничителем; м - регулятор ВБ и УГВ с ограничителем; н - регулятор уровней воды в канале; 1 - дроссельный затвор; 2 - колодец; 3 - рычаги; 4 - тяги; 5 - поплавки; 6 - стопорный механизм; 7 - затвор; 8 - опора; 9 - соединительная труба; 10 - соединительный патрубок; 11 - колодец - поглотитель; 12 - автоматический механизм настройки; 13 - программное устройство; 14 - канал.

Конструкция привода может быть выполнена с использованием гидравлической или электрической энергии.

Для регулирующих сооружений с программным управлением к конструкции добавляется привод, который соединен с автоматическим механизмом исполнения, обеспеченным программой по изменению положения поплавка в зависимости от фазы развития растений и осадков.

Таким образом, все предложенные регуляторы являются сооружениями, которые используют энергию потока при управлении затвором.

По сложности исполнения конструкций можно выделить три типа сооружений:

- использующие только гидравлическую энергию для открытия затвора. К этому типу относятся варианты 1,2,3,5,8,11 (рис.8.1 а, б, в, г) - простая конструкция;
- использующие гидравлическую энергию для открытия затвора и механическую (или другую) - для настройки на фиксированные уровни. К ним относятся варианты 6,7,9,10 (рис.8.1 д, е, ж, з, и, к) - средней сложности конструкции;
- использующие гидравлическую энергию для открытия затвора и механическую или электрическую для выполнения программы по управлению положением поплавка в зависимости от фаз развития различных растений и фактически выпавших осадков. К ним относятся варианты 13,14 (рис.8.1 к, л, м, н) - очень сложная конструкция.

Применение той или иной конструкции регулятора зависит от точности поддержания заданных уровней и степени автоматизации процесса регулирования, поэтому, выбор конструктивных решений сооружений, в целом, должен экономически обосновываться.

Следует отметить, что из имеющихся в теории десятков автоматических регулирующих сооружений только несколько типов нашли более-менее широкое применение

на практике. Такое положение можно объяснить следующим: неадекватность состояния сети требованиям армирования ее сооружениями с автоматическим управлением; отсутствие определенного перепада горизонтов воды бьефов; техническая ограниченность условий применения большинства конструкций регуляторов; отсутствие достаточных экспериментально-теоретических проработок по этим сооружениям; низкое качество изготовления; сложность и ограниченная работоспособность отдельных механизмов и частей; недостаточная изученность оптимальных взаимосвязей и взаимозависимостей средств автоматики, использующих электрическую и гидравлическую энергию; отсутствие надежных средств защиты конструкций от естественных и антропогенных воздействий.

На рис.8.2 представлены конструктивные схемы регулирующих сооружений, применяемых в мелиоративной практике, а в табл.8.3 - основные технико - экономические характеристики некоторых из них.

Следует отметить, что многие из сооружений, особенно наиболее распространенные в Беларуси, - коробчатые с фиксированной пассивной водосливной кромкой, - не отвечают возросшим требованиям по управлению водно-воздушным режимом на мелиорированных землях. Причинами этого являются:

- недостаточный диапазон автоматического управления уровнями воды в сети;
- неоперативное управление уровнями воды в почве и сети из-за ручного маневрирования затворами;
- неэкономное использование водных ресурсов из-за несовершенства регулирующих сооружений;

На основании многолетней эксплуатации сооружений установлено, каким требованиям должен отвечать затвор:

- затвор автоматического действия должен иметь диапазон управления, равный $(0,8...0,9) H$, где H - глубина канала;
- расход металла на один метр кубический в секунду пропускаемого расхода не должен превышать 200...220 кг;
- конструкция должна обладать легкостью в настройке (управлении), иметь минимальное число трущихся деталей;
- настройка регулятора на новый горизонт управления должна быть простой и динамичной (2...3 минуты);
- регуляторы должны обладать высоким коэффициентом расхода, т.е. $h_0 \gg 0,7$;
- конструкция затвора должна быть универсальной и легко перенастраиваться на другой вид регулирования, при незначительных конструктивных изменениях;
- необходимо, чтобы конструкция затвора имела достаточно надежное уплотнение (потери воды $< 1...3$ л/с).

Таблица 8.3 Техничко-экономические характеристики применяемых на практике регулирующих сооружений (при диапазоне управления 0,5...0,7 м)

NN п.п.	Шифр сооружения	Масса, кг		Материалоемкость		Расход пропуска, м ³ /с
		затвора	общая	металла, кг/м ³	бетона, м ³ /м ³	
1	Коробчатый, РТК-100-0-200	149,5	394,3	219,6	0,29	1,65
2	Плоский сифонный, РОУНБ-2,1	63,0	351,2	2507,3	--	0,14
3	Секторный непрямого действия, ГПР-80	270,0	270,0	361,1	3,38	1,03
4	Диафрагмовый низконапорный, ГДН-80	564,0	564,0	380,1	0,64	1,73
5	Сегментный	139,0	139,0	231,7	3,38	0,6
6	Сифонный для сбросных сооружений	96,0	96,0	480,1	0,054	0,2
7	Секторный непрямого действия	400,0	400,0	388,3	0,495	1,03
8	Диафрагмовый высоконапорный	657,5	657,5	380,1	0,421	1,73

Выдвинутые требования не являются полными, т.к. не оговорена точность поддержания заданного уровня воды в канале. Если в сети, служащей для водоподдачи, требуется одна точность, то в регулирующей и сбросной сети - другая, а в почве - третья. При этом, если в сбросном и водоподводящем каналах можно задаться определенной величиной точности, которая не допускает в режиме автоматического управления перелива воды через бровку канала и содействует пропуску максимального расхода полным сечением канала, то определение точности в регулирующей сети несколько затруднено. Если количеством влаги в почве управлять только через датчики УГВ, то возможно неэкономное использование воды, что приведет к перерасходу электроэнергии оросительными насосными станциями. Поэтому, актуальными являются научно - практические разработки о точности поддержания уровней воды в почве и в сети. В связи с этим, возникает необходимость анализа точности регулирования почвенных влагозапасов в зависимости от ее связи с конструкцией применяемого регулятора. Вообще, точность поддержания УПВ может определяться по зависимости

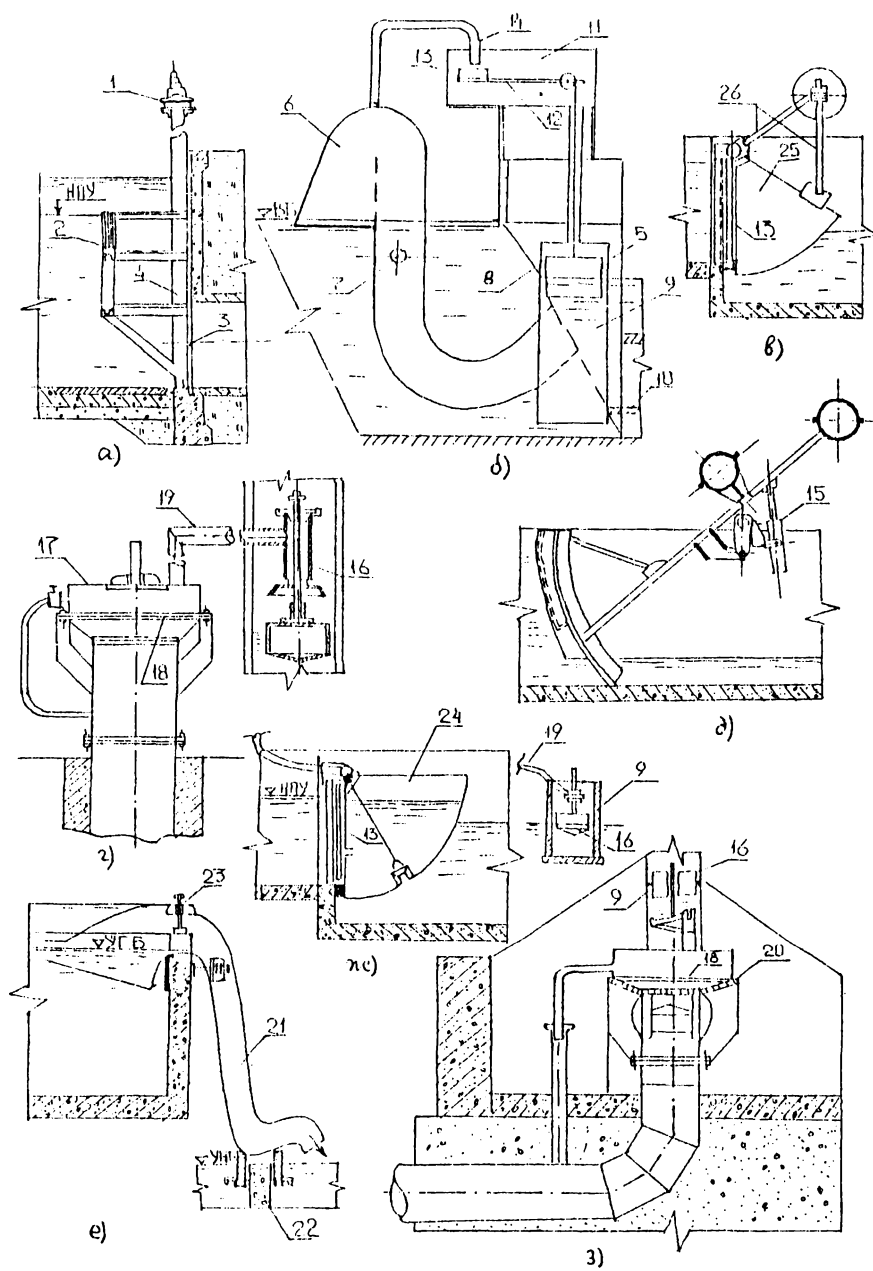
$$\varepsilon = \frac{\tau \cdot q}{2 \cdot \delta}, \quad (8.1)$$

где q - атмосферные осадки, м/сут; τ - время стабилизации, сутки; δ - коэффициент водоотдачи.

Согласно Аверьянову С.Ф., точность определяется как

$$\varepsilon = \frac{L^2 q}{2kT\alpha}, \quad (8.2)$$

где L - половина расстояния между осушителями (дренами), м; k - коэффициент фильтрации почвогрунта, м/сут; T - средняя мощность водоносного слоя, м; α - коэффициент "висячести" канала или дрены.



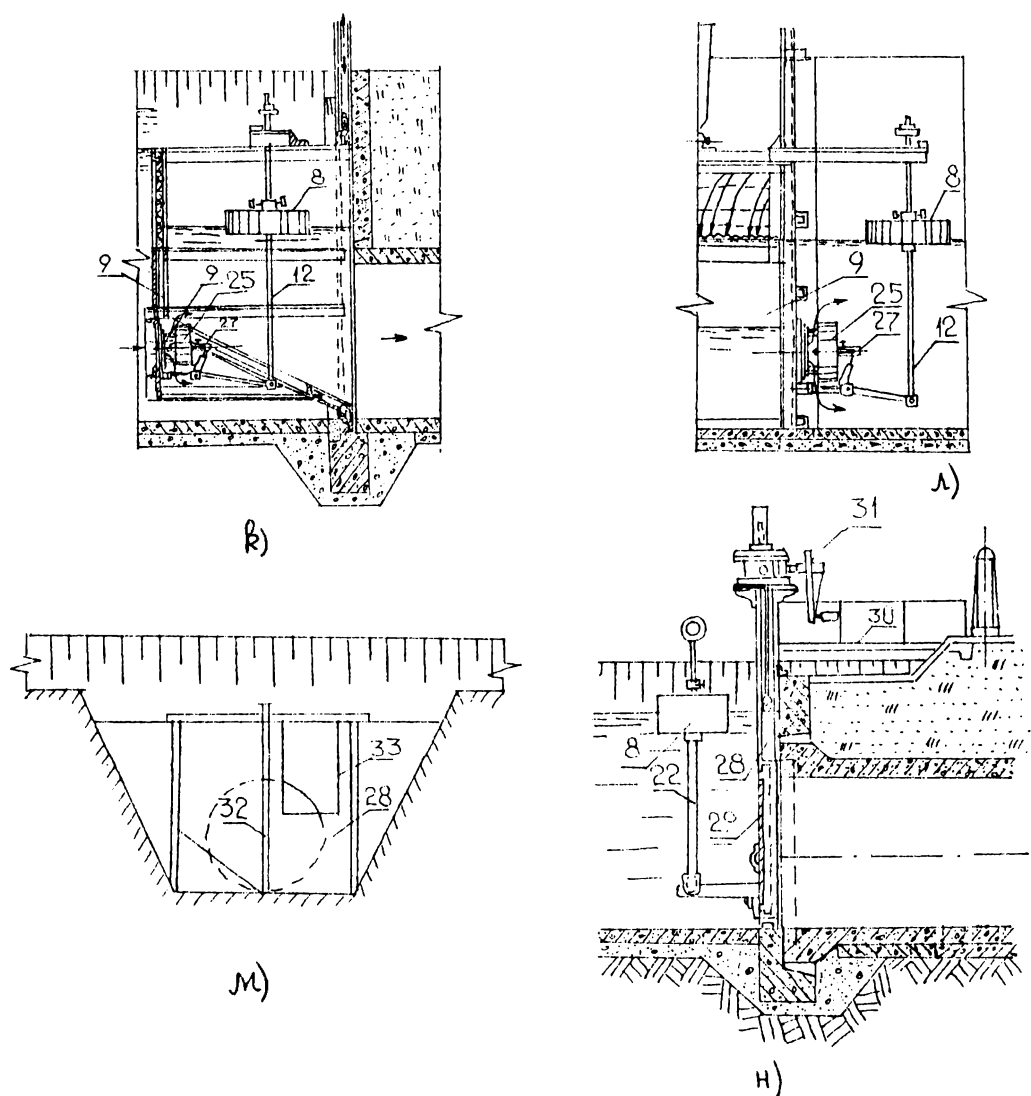


Рис.8.2 Конструктивные схемы средств гидравлической автоматизации: а - коробчатый затвор; б - сифонные регуляторы для трубчатых сооружений; в - секторный прямого действия; г - диафрагменный низконапорный; д - затворы сегментные; е - сифонный для сбросных сооружений; ж - секторные поплавковые непрямого действия; з - диафрагменные высоконапорные; к - дроссельный в верхнем бьефе, л - то же в нижнем бьефе; м - плоский регулятор; н - дроссельный поплавковый; 1 - винтовой поплавок;

2 - щитовой порог; 3 - регулирующая створка; 4 - опорная рама; 5 - коробчатый затвор; 6 - сифон; 7 - зарядные отверстия; 8 - поплавки; 9 - камера; 10 - водовод; 11 - защитная камера; 12 - поворотное коромысло; 13 - резиновое уплотнение; 14 - воздуховодная трубка; 15 - демпфер; 16 - датчик уровня; 17 - наддиафрагменная камера; 18 - диафрагма; 19 - импульсная трубка; 20 - фильтр; 21 - сифон-колено; 22 - опора; 23 - клапан срыва вакуума; 24 - емкость-затвор; 25 - затвор-поплавок; 26 - шарнирные штанги; 27 - направляющая втулка; 28 - плоский щит; 29 - дроссельный затвор; 30 - пешеходный мостик; 31 - подъемный механизм; 32 - вертикальная ось; 33 - окна.

Из формул (8.1) и (8.2) видно, что точность поддержания уровней воды зависит от интенсивности осадков, расстояния между осушителями, коэффициента фильтрации, расстояния до водоупора и др. Если рассматривать совершенную мелиоративную систему, то точность должна зависеть также от глубины воды в каналах, длины осушительной сети, типа регулирующего сооружения и др. Известно, что приток воды к осушителям будет равен

$$Q = \frac{\bar{k}(\bar{h}_1^2 - \bar{h}_2^2)}{L} \cdot \sum \ell, \quad (8.3)$$

где $\bar{k}$ - средняя (средневзвешенная) величина коэффициента фильтрации, м/сут; $\bar{h}_1$ - средняя величина расстояния от дна канала до вершины депрессионной кривой, м; $\bar{h}_2$ - средняя величина глубины воды в канале, м; $\sum \ell$ - суммарная длина каналов на участке, обслуживаемом одним сооружением, м.

Для определения величины изменения уровня воды перед сооружением составим уравнение потока для двух сечений, расположенных одно - в средней части, другое - у сооружения. Согласно уравнению Аверьянова С.Ф. по определению расстояния между каналами с учетом приточности (8.3), глубина воды в расчетном сечении определяется как

$$h_2 = \sqrt{\bar{h}_1^2 - \frac{2.06 \cdot Q^2 \epsilon \Gamma^2 \alpha^2 t}{(\sum \ell)^2 q \cdot L^2 \delta \cdot \lg \left(\frac{\Delta - h}{\Delta - h - y} \right)}}, \quad (8.4)$$

где Q - расход воды в канале в принятом сечении, м³/с; t - время понижения до требуемого уровня, с; Δ - глубина канала, м; h - бытовая глубина, м; y - расстояние от поверхности до зеркала грунтовых вод; $\bar{h}_1$ - расстояние от дна канала до верха депрессионной кривой; q - атмосферные осадки, м.

Из дифференциального уравнения пропускной способности регулирующего сооружения вида -

$$dQ = \mu \sqrt{2q} \int_{Z=Z+\Delta h}^{Z=0} \int_{\alpha=0}^{\alpha=1} Z^{0.5} dZ \cdot d\omega ; Z=Z_{нач.} + \Delta h, \quad (8.5)$$

определим пропускную способность, зависящую от величины изменения уровня воды в верхнем бьефе, путем интегрирования -

$$Q_c = \frac{\mu \cdot \pi \cdot r}{\ell} \{ r \cdot [\Delta h - (r - c) \cdot (1 - \cos \alpha)] - \ell t \} \sqrt{2gZ}. \quad (8.6)$$

Приток воды к сооружению будет составлять

$$Q_{пр.} = Q_c + Q_{ак}. \quad (8.7)$$

В зависимостях (8.5)...(8.7), Q_c - расход воды через сооружение, м³/с; $Q_{ак}$ - расход, формируемый за счет аккумулярованной воды в канале, м³/с; μ - коэффициент расхода; r - радиус затвора, м; ℓ - длина рычага, м; Δh - величина изменения уровня воды в верхнем бьефе; c - величина смещения рычага относительно нижней кромки затвора; α - угол поворота затвора; t - толщина затвора, м; Z - перепад уровней, м; $Z_{нач.}$ - начальный перепад уровней, м; ω - площадь живого сечения потока, м².

Решив уравнение (8.6) относительно h (величины изменения уровня), для случая когда $Q_c = Q_{кан.}$, имеем

$$\Delta h = \frac{\ell \left(\frac{b+B}{2} \right) \cdot h_2 \cdot R^4 \cdot \sqrt{R_i} + \{ [r(r-c)(1-\cos \alpha) + \ell t] \} \mu \cdot \pi \cdot r \cdot n \sqrt{2gZ}}{\mu \cdot \pi \cdot r^2 n \sqrt{2gZ}}, \quad (8.8)$$

где n - коэффициент шероховатости русла канала; h_2 - глубина потока около сооружения, м.

Уравнение (8.8) характеризует изменение уровня воды в верхнем бьефе (перед сооружением). С другой стороны, для определения связи изменения уровней воды в почвогрунтах и в канале, решив уравнения (8.4) и (8.5), совместно с уравнением кривой спада, имеем

$$\Delta h = \frac{\ell \left(\frac{b+B}{2} \right) \cdot h_2 R^4 \left\{ R \left[h_2 - \sqrt{h_2^2 - \frac{2.06 \cdot Q_2 \epsilon T^2 \alpha^2 t}{(\sum \ell)^2 q L^2 \delta \cdot \lg \frac{4}{\pi} \left(\frac{\Delta - h}{\Delta - h - y} \right)} - (1-j)B(\eta_2) - B(\eta_1)} \right] \right\} h_0 +}{\mu \cdot n \cdot \pi \cdot r^2} + \frac{\{ [r^2 r - \ell(1 - \cos \alpha) + \ell t] \} \cdot \sqrt{2gZ} \cdot \mu \cdot n \cdot \pi \cdot r}{\sqrt{2gZ}} \quad (8.9)$$

Уравнение (8.9) описывает связь между величиной поднятия уровня около сооружения (Δh) и заданной нормой осушения, с учетом точности (ϵ) поддержания УГВ при автоматическом их регулировании.

Анализ представленных выше уравнений показывает, что, при максимальном изменении уровней воды в почвогрунтах величина отклонения Δh может изменяться в пределах 0,5...0,7 м. В этом случае, расход, пропускаемый через канал, будет максимальным

и $Q_{\text{прит.}} < Q_{\text{с}}$, поэтому, время снижения уровня воды в канале, по опытным данным, составляет при суммарной длине каналов ($\sum \ell$), равной 18,0 км, и величине сработки 0,3 м от 6 до 8 часов. Причем, перепад уровней в начальный период был 0,6 м, в конечный - 0,2 м.

Исходя из требований к водно-воздушному режиму почв, можно считать, что кратковременное (4...12 час.) изменение уровней воды в верхнем бьефе перед сооружением допускается до 0,6 м от заданного значения, при этом, выход воды из канала на посеы недопустим.

Наблюдения за влажностью почвы в условиях Брестской области показывают, что наибольшие влагозапасы характерны для начала вегетационного периода, наименьшие - для середины (фазы трубкования -цветения); к осени почвенные влагозапасы возрастают повсеместно. При подобной естественной динамике влажности почвы происходит постоянное снижение урожайности ячменя на 2,2%, овса - на 11,7%. В то же время, поддержание влажности почвы для ячменя в пределах 60% от капиллярной влагоемкости - для начала трубкования, 70% - в фазах трубкования и цветения, 60% - в конце молочной спелости приводит к увеличению урожайности на 26,1% по сравнению с поддержанием постоянной "оптимальной" влажности. Для овса при режиме увлажнения минеральных почв : 70% - в начальный период роста, 80% - в период трубкования-цветения и 70%, начиная с конца фазы молочной спелости, повышение урожайности составляет 18,1% по сравнению с постоянной "оптимальной" влажностью. Эти данные подтверждают наличие резервов повышения урожайности за счет поддержания водно-воздушного режима почвы на уровне, адекватном требованиям растений в критические фазы их развития.