

624

с-75

50093

ТРУДЫ ИНСТИТУТА

СРЕДАЗГИПРО- ВОДХЛОПОК

2

ТАШКЕНТ
1971

551.6
527
-75

Министерство мелиорации и водного хозяйства СССР
ГЛАВСРЕДАЗИРСОВХОЗСТРОЙ
Ордена Трудового Красного Знамени институт
«СРЕДАЗГИПРОВОДХЛОПОК» им. А.А.САРКИСОВА

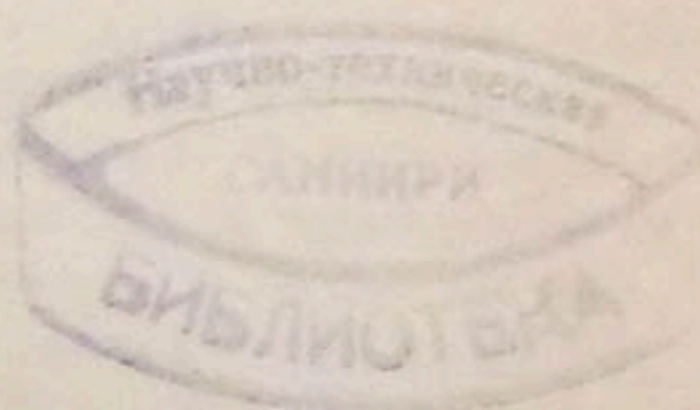
ТРУДЫ ИНСТИТУТА

«СРЕДАЗГИПРОВОДХЛОПОК»

580009

ВЫПУСК II

Гидротехнические сооружения, автоматизация
и телемеханизация.



ТАШКЕНТ 1971 г.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

В.И.Анточов, Э.М.Бенъяминович, А.П.Воронов, Л.С.Литвак, А.Р.Мансуров, А.А.Махров, Ф.Ш.Мухамеджанов, Б.Я.Нейман, Е.М.Николаев, Э.Л.Окулич-Козарин, Г.Н.Павлов, А.В.Петров (ответственный за выпуск), А.П.Прудников, Д.Ф.Солдатов (ответственный секретарь), Л.А.Фридерман, В.Р.Шредер.

УДК 626.822

Л.А. ФРИМЕРМАН

АБСОЛЮТНОЕ ГИДРАВЛИЧЕСКИ НАИВЫГОДНЕЙШЕЕ СЕЧЕНИЕ ТРАПЕЦЕИДАЛЬНЫХ ЛОТКОВ

В настоящее время широко распространено строительство лотковых каналов параболического сечения. Однако условия изготовления лотков, их транспортирование и монтаж ограничивают размеры этих каналов.

Лотковые каналы с большим поперечным сечением на расходы межхозяйственных распределителей можно возводить трапецеидального сечения из сборных плоских плит.

Главгидротехстрой уже осуществил строительство опытного участка трапецеидального лотка из вибропрокатных плит, изготовленных на стане Козлова.

При проектировании лотков трапецеидального сечения сразу же встает вопрос о выборе величины заложения откоса и отношении ширины по дну к глубине наполнения. Лотки с гидравлически наилучшим сечением при различных заложениях откоса не в равной степени выгодны, так как площади живого сечения и смоченные периметры их различны по величине. Как оказалось, имеется сечение с минимально возможным значением смоченного периметра. Это сечение с вполне определенным заложением откоса m_α и связанным с ним вполне определенным отношением ширины лотка по дну к высоте наполнения — β_α . Такое сечение можно назвать абсолютно гидравлически наилучшим.

Кроме того, любое обычное и гидравлически наилучшее сечение с заданным откосом можно запроектировать

более экономично, меняя заложение откоса до m_0 при неизменной ширине лотка по дну.

Ниже излагается метод определения гидравлически наиболее выгодных заложений откосов для сечений с заданной шириной по дну и абсолютно гидравлически наиболее выгодного сечения для трапецеидальных лотков.

Известно, что площадь поперечного сечения трапецеидального лотка равна

$$\omega = h(b + mh).$$

Если в этом выражении h и m заменить значениями

$$h = l \sin \varphi, \quad m = \frac{\cos \varphi}{\sin \varphi},$$

то получим

$$\omega = bl \sin \varphi + \frac{l^2 \cos \varphi \sin^2 \varphi}{\sin \varphi} = bl \sin \varphi + \frac{1}{2} l^2 \sin 2\varphi. \quad (1)$$

Все обозначения видны из рис. 1.

Из уравнения $Q = \omega C \sqrt{R i}$ следует, что наибольший расход Q для заданных i , χ и n будет при максимальном значении поперечного сечения ω . (Для вывода формулы гидравлически наиболее выгодного заложения откоса принимаем $\chi = \text{const.}$)

Максимальное значение ω можно найти, приравняв к нулю первую производную функции $\omega = f(\varphi)$, представленную уравнением (1)

$$\frac{d\omega}{d\varphi} = b \cos \varphi + \frac{2}{2} l^2 \cos 2\varphi_0 = 0.$$

После преобразований получим

$$2l \cos^2 \varphi_0 + b \cos \varphi_0 - l = 0. \quad (2)$$

Решая квадратное уравнение, найдем

$$\cos \varphi_0 = \frac{-b + \sqrt{b^2 + 8l^2}}{4l}. \quad (3)$$

Выразим $\cos \varphi$ через m .

$$\cos \varphi_0 = \frac{m_0}{\sqrt{1 + m_0^2}}.$$

Так как левые части уравнений равны, то равны и их правые части

$$\frac{-b + \sqrt{b^2 + 8l^2}}{4l} = \frac{m_0}{\sqrt{1+m_0^2}}$$

После преобразований

$$m_0 = \frac{1,41l}{\sqrt{2l^2 + b^2 + \sqrt{b^4 + 8b^2l^2}}} \quad (4)$$

График $m_0 = f(\frac{b}{l})$ изображен на рис.2.

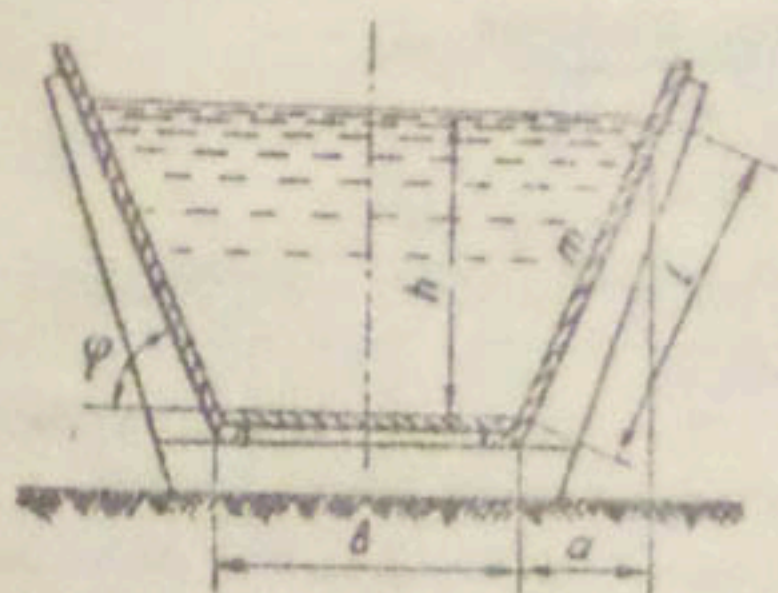


Рис.1. Поперечное сечение лотка.

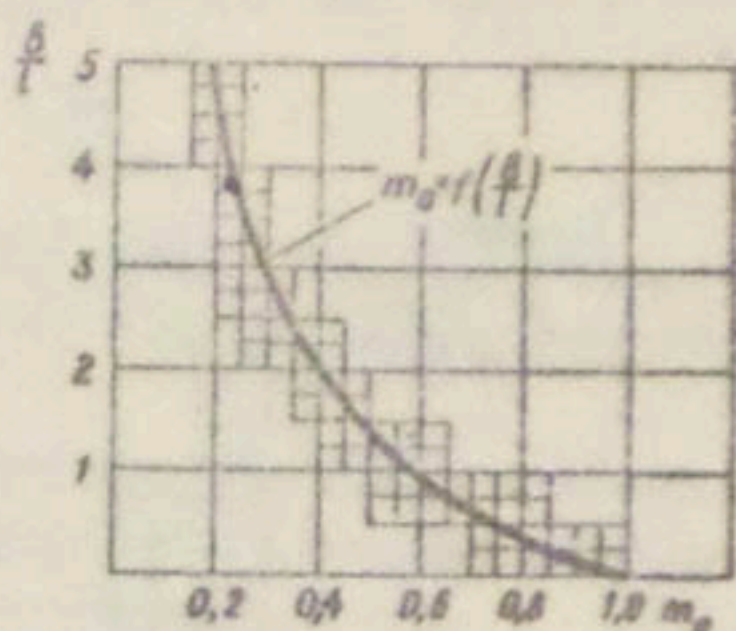


Рис.2. Кривая $m_0 = f(\frac{b}{l})$.

Гидравлически наивыгоднейшее заложение откоса можно также выразить через β .

Обозначим $m = \frac{a}{h}$, $h = \frac{b}{\beta}$, $a = l \cos \varphi$,

тогда $\frac{l \cos \varphi}{b} = \frac{m}{\beta}$ и $\frac{l}{b} = \frac{m}{\beta \cos \varphi}$. (5)

Делим уравнение (2) на b

$$\frac{2l \cos^2 \varphi_0}{b} + \cos \varphi_0 - \frac{l}{b} = 0 .$$

Подставляем значения $\frac{l}{b}$ и $\frac{l \cos \varphi}{b}$ из формулы (5) и после преобразований получаем

$$\cos^2 \varphi_0 = \frac{m_0}{2m_0 + \beta}$$

Выразим $\cos^2 \varphi$ через m

$$\cos^2 \varphi_0 = \frac{m_0^2}{1 + m_0^2}$$

Так как левые части уравнений равны, то равны и их правые части

$$\frac{m_0}{2m_0 + \beta} = \frac{m_0^2}{1 + m_0^2}$$

Решая квадратное уравнение, найдем

$$m_0 = \frac{-\beta}{2} + \sqrt{\frac{\beta^2}{4} + 1} \quad (6)$$

График $m_0 = f(\beta)$ показан на рис. 3.

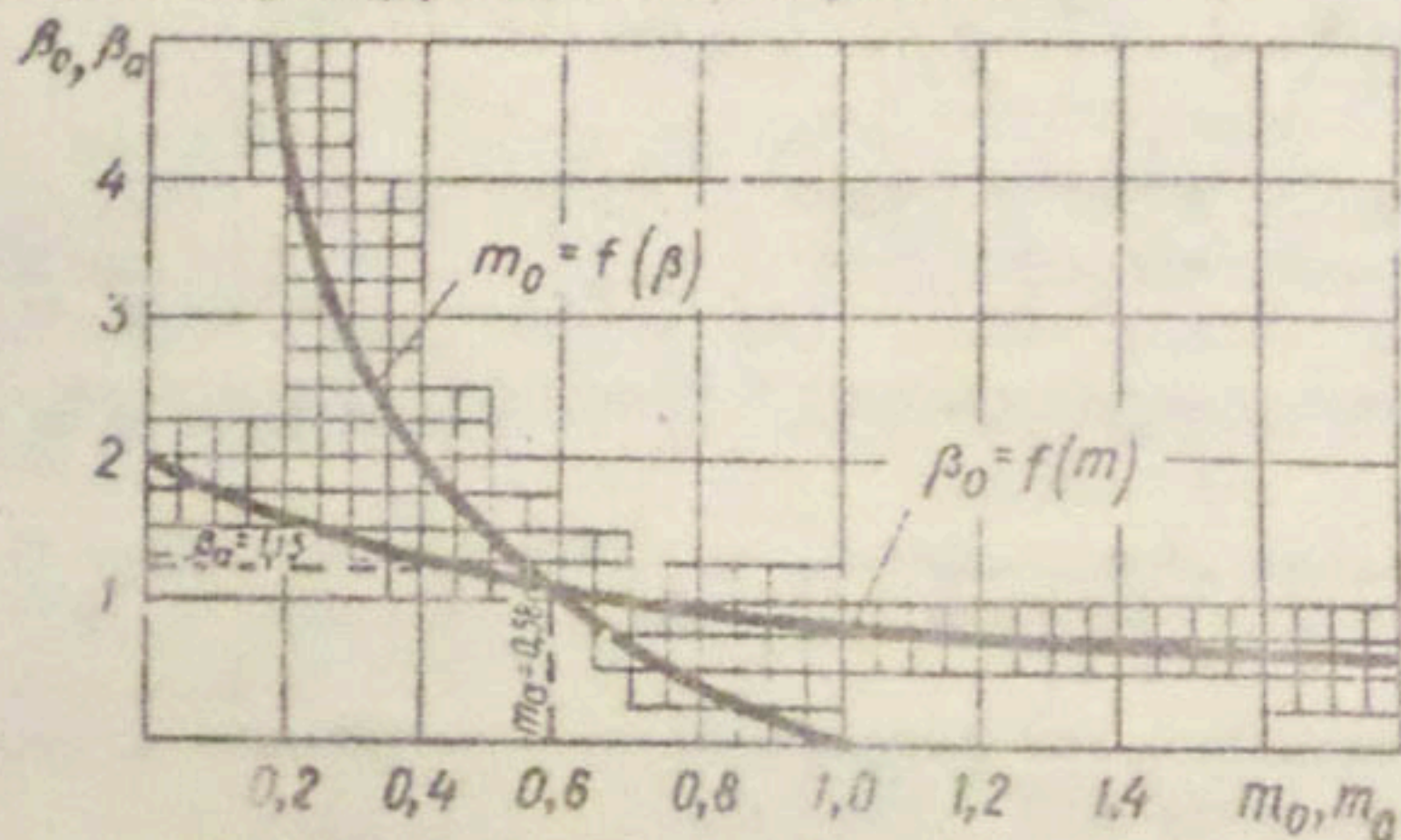


Рис. 3. Кривые $m_0 = f(\beta)$ и $\beta_0 = f(m)$.

Из изложенного выше можно сделать вывод, что для заданных значений l, β, b при $x = \text{const}$ максимальное значение поперечного сечения ω , а следовательно, и расхода будет при заложении откоса m_0 , определенного по формулам (4) и (6) или по графикам на рис. 2, 3. Это также означает, что для заданных значений Q, i, n, b при гидравлически наивыгоднейшем заложении откоса m_0 смоченный периметр будет минимальным.

Известно, что гидравлически наивыгоднейшее сечение

характеризуется отношением ширины его по дну b_0 и глубины наполнения h_0 .

$$\beta_0 = \frac{b_0}{h_0} = 2(\sqrt{1+m^2} - m). \quad (6^*)$$

Нанесем кривую $\beta_0 = f(m)$ на рис. 3. Кривые $m_0 = f(\beta)$ и $\beta_0 = f(m)$ пересекаются. Точка пересечения представляет абсолютно наивыгоднейшее сечение, так как она соответствует, с одной стороны, сечению с гидравлически наивыгоднейшим заложением скосов, а с другой — гидравлически наивыгоднейшему сечению. В этой точке

$$m_a = \frac{1}{\sqrt{3}} = \operatorname{ctg} 60^\circ = 0,577,$$

$$\beta_a = \frac{2}{\sqrt{3}} = \operatorname{csc} 60^\circ = 1,154.$$

Значения абсолютного гидравлически наивыгоднейшего откоса $m_a^{x)}$ и β_a определены из совместного решения уравнений (6) и (6*).

Приведем остальные зависимости, характеризующие абсолютное гидравлически наивыгоднейшее трапециевидальное сечение.

Площадь живого сечения

$$\omega_a = (\beta_a h_a + m_a h_a) h_a = \sqrt{3} h_a^2.$$

Смоченный периметр

$$\chi_a = \beta_a h_a + 2\sqrt{m_a^2 + 1} h_a = 2\sqrt{3} h_a.$$

Гидравлический радиус

$$R_a = \frac{\omega_a}{\chi_a} = \frac{1}{2} h_a.$$

х) Индексом "а" будем обозначать все гидравлические элементы канала, соответствующие абсолютному гидравлически наивыгоднейшему сечению.

Расход

$$Q = \sqrt{3} \cdot 0,5^{\frac{1}{2}+y} \frac{i^{\frac{1}{2}}}{n} h_a^{\frac{5}{2}+y}$$

при $y = -\frac{1}{6}$,

$$Q = 1,091 \frac{i^{\frac{1}{2}}}{n} h_a^{\frac{8}{3}}.$$

Анализируя приведенные выше формулы, можно отметить следующие основные свойства гидравлически наивыгоднейших сечений.

Из формул (4) и (6) видно, что для треугольного поперечного сечения ($b=0$) гидравлически наивыгоднейшее сечение будет при заложении откоса $m_0=1,0$.

Абсолютным гидравлически наивыгоднейшим трапецидальным сечением является сечение с углом откоса, равным $\varphi_a = 60^\circ$, и шириной по дну b , равной длине смоченного откоса l .

Гидравлически наивыгоднейший откос при любых значениях β меняется в пределах $m_0 = 0,0 + 1,0$.

Пример 1

В качестве примера рассмотрим три лотковых канала со следующими гидравлическими элементами:

$Q = 5,0 \text{ м}^3/\text{сек};$	$i = 0,001;$	$n = 0,02;$
$Q = 11,3 \text{ м}^3/\text{сек};$	$i = 0,00098;$	$n = 0,016;$
$Q = 20,0 \text{ м}^3/\text{сек};$	$i = 0,001;$	$n = 0,02.$

Для каждого из каналов найдем гидравлически наивыгоднейшие сечения при различных заложениях откоса (табл. 1, 2, 3). При этом можно использовать следующие известные формулы:

$$h^{\frac{8}{3}} = \frac{1,59 n Q}{\sqrt{i} (\beta_0 + m)}, \quad \beta_0 = 2(\sqrt{1+m^2} - m),$$

$$b = \beta h, \quad \omega = h(mh + b),$$

$$\chi = b + 2h\sqrt{1+m^2}, \quad R = \frac{\omega}{\chi}.$$

Таблица 1

Гидравлически наивыгоднейшие сечения для канала при
 $Q = 5 \text{ м}^3/\text{сек}; \quad i = 0,001; \quad n = 0,02; \quad C = \frac{1}{n} R^{1/6}$

m	β_0	$h, \text{м}$	$b, \text{м}$	$\omega, \text{м}^2$	$\chi, \text{м}$	$R, \text{м}$
0,00	2,000	1,41	2,82	3,98	5,64	0,707
0,25	1,560	1,48	2,31	3,97	5,35	0,735
0,58	1,150	1,48	1,71	3,82	5,11	0,747
0,75	1,000	1,49	1,49	3,89	5,22	0,745
1,00	0,830	1,48	1,21	3,90	5,34	0,732
1,50	0,606	1,38	0,84	4,02	5,81	0,693

Таблица 2

Гидравлически наивыгоднейшие сечения для канала при
 $Q = 11,3 \text{ м}^3/\text{сек}; \quad i = 0,00098; \quad n = 0,016; \quad C = \frac{1}{n} R^{1/6}$

m	β_0	$h, \text{м}$	$b, \text{м}$	$\omega, \text{м}^2$	$\chi, \text{м}$	$R, \text{м}$
0,00	2,000	1,79	3,58	6,40	7,16	0,894
0,25	1,560	1,86	2,90	6,26	6,74	0,931
0,58	1,150	1,88	2,17	6,11	6,51	0,941
0,75	1,000	1,87	1,87	6,13	6,55	0,940
1,00	0,830	1,86	1,54	6,33	6,81	0,930
1,50	0,606	1,76	1,07	6,53	7,42	0,881

Таблица 3

Гидравлически наивыгоднейшие сечения для канала при
 $Q = 20,0 \text{ м}^3/\text{сек}; \quad i = 0,001; \quad n = 0,02; \quad C = \frac{1}{n} R^{1/6}$

m	β_0	$h, \text{м}$	$b, \text{м}$	$\omega, \text{м}^2$	$\chi, \text{м}$	$R, \text{м}$
0,00	2,000	2,37	4,74	11,23	9,48	1,186
0,25	1,560	2,46	3,84	10,95	8,81	1,230
0,58	1,150	2,50	2,88	10,85	8,66	1,255
0,75	1,000	2,50	2,50	10,93	8,76	1,249
1,00	0,830	2,46	2,05	11,10	9,00	1,235
1,50	0,606	2,33	1,41	11,44	9,81	1,167

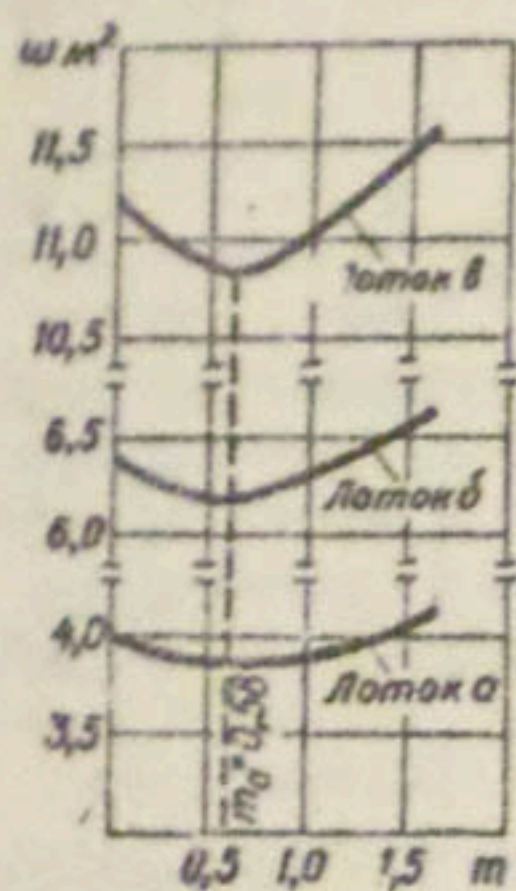


Рис.4. Кривые $\omega = f(m)$.

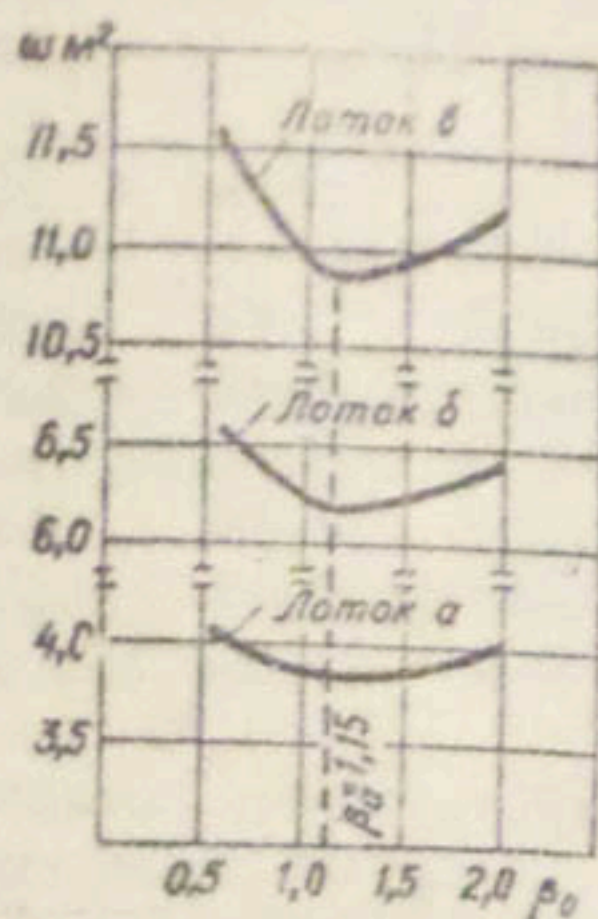


Рис.5. Кривые $\omega = f(\beta_0)$.

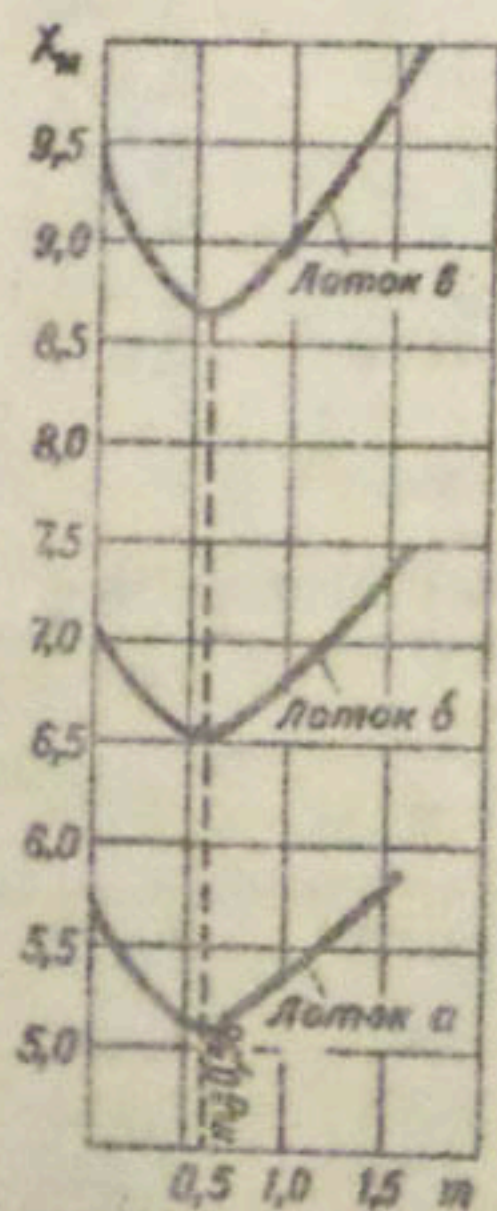


Рис.6. Кривые $\chi = f(m)$.

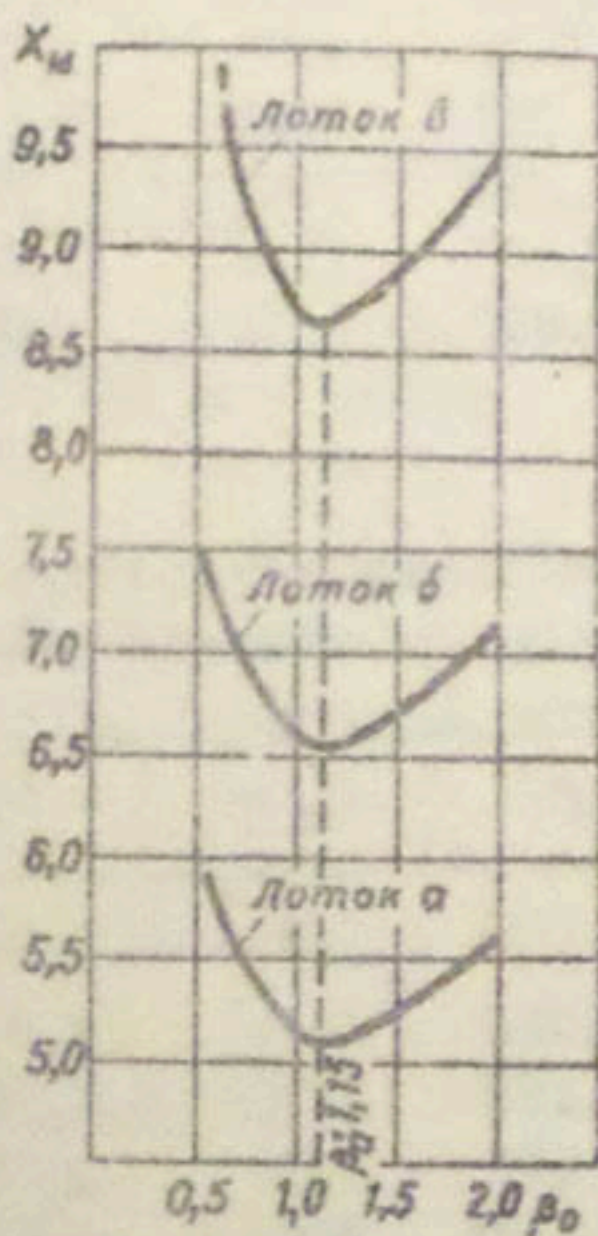


Рис.7. Кривые $\chi = f(\beta_0)$.

Построим для каждого лоткового канала кривые

$$\omega = f(m), \quad \omega = f(\beta_0),$$

$$\chi = f(m), \quad \chi = f(\beta_0).$$

Из анализа этих кривых видно:

наименьшую площадь поперечного сечения имеют все сечения лотков с гидравлически наивыгоднейшим заложением откоса $m_a = 0,58$ и с отношением ширины канала по дну к наполнению $\beta_a = 1,15$ (рис. 4,5).

Минимально возможное значение смоченного периметра имеют также все сечения с $m_a = 0,58$ и $\beta_a = 1,15$ (рис. 6,7).

Пример 2

Рассмотрим лоток головного участка Дальварзинского машинного канала. Поперечное сечение его приведено на рис. 1, а гидравлические элементы даны ниже:

$$Q = 11,3 \text{ м}^3/\text{сек}; \quad b = 2,5 \text{ м}; \quad m = 0,312; \quad n = 0,018;$$

$$i = 0,00092; \quad h = 2,0 \text{ м}; \quad \beta = 1,25; \quad \chi = 6,7 \text{ м};$$

$$l = 2,1 \text{ м}.$$

Требуется найти сечение лотка с гидравлически наивыгоднейшими откосами при $b = 2,5 \text{ м} = \text{const}$.

Расчет ведется методом последовательного приближения.

Найдем гидравлически наивыгоднейший откос для данного лотка по формулам (4) или (6):

$$m_0 = \frac{1,41 l}{\sqrt{2l^2 + b^2 + \sqrt{b^4 + 8b^2 l^2}}} = \frac{1,41 \cdot 2,1}{\sqrt{2 \cdot 2,1^2 + 2,5^2 + \sqrt{2,5^4 + 8 \cdot 2,5^2 \cdot 2,1^2}}} = 0,555,$$

или

$$m_0 = \frac{-\beta}{2} + \sqrt{\frac{\beta^2}{4} + 1} = -\frac{1,25}{2} + \sqrt{\frac{1,25^2}{4} + 1} = 0,555.$$

Далее определяем глубину наполнения в лотке при $m_0 = 0,555$ по формуле

$$h^{\frac{4}{3}} = \frac{Q m_0 n (2 m_0 \sqrt{1 + m_0^2} - m_0^2 + 1)^{\frac{2}{3}}}{\sqrt{i} \sqrt{1 + 0,555^2 - 0,555^2 + 1}^{2/3}} = \frac{11,3 \cdot 0,555 \cdot 0,016 (2 \cdot 0,555 \sqrt{1 + 0,555^2} - 0,555^2 + 1)^{2/3}}{\sqrt{0,00092}} = 5,17, \quad (7)$$

$$h = \sqrt[3]{5,17} = 1,86 \text{ м.}$$

Находим $\beta = \frac{b}{h} = \frac{2,5}{1,86} = 1,344.$

Вычислим m_0 при $\beta = 1,344$ по формуле (6):

$$m_0 = -\frac{1,344}{2} + \sqrt{\frac{1,344^2}{4} + 1} = 0,535.$$

Первоначальное значение $m_0 = 0,555$ не равно полученному значению $m_0 = 0,535$, следовательно, необходимо выполнить второй тур расчетов.

Глубина наполнения в лотке при $m_0 = 0,535$ по формуле (7)

$$h^{\frac{4}{3}} = \frac{11,3 \cdot 0,535 \cdot 0,016 (2 \cdot 0,535 \sqrt{1 + 0,535^2} - 0,535^2 + 1)^{2/3}}{\sqrt{0,00092}} = 4,82;$$

$$h = 1,82 \text{ м.}$$

$$\beta = \frac{b}{h} = \frac{2,5}{1,82} = 1,375.$$

Определяем m_0 при $\beta = 1,375$ по формуле (6):

$$m_0 = -\frac{1,375}{2} + \sqrt{\frac{1,375^2}{4} + 1} = 0,523.$$

Первоначальное значение $m_0 = 0,535$ опять не равно полученному $m_0 = 0,523$.

Выполняем третий тур расчетов.

Глубина наполнения в лотке при $m_0 = 0,523$

$$h^{\frac{4}{3}} = \frac{11,3 \cdot 0,523 \cdot 0,016 (2 \cdot 0,523 \sqrt{1 + 0,523^2} - 0,523^2 + 1)^{2/3}}{\sqrt{0,00092}} = 4,79;$$

$$h = 1,80 \text{ м.}$$

Находим

$$\beta = \frac{b}{h} = \frac{2,5}{1,80} = 1,39.$$

Определяем m_0 при $\beta = 1,39$:

$$m_0 = -\frac{1,39}{2} + \sqrt{\frac{1,39^2}{4} + 1} = 0,525.$$

Первоначальное значение $m_0 = 0,523$ почти равно полученному $m_0 = 0,525$.

Следовательно, для условий лотка Дальварзинского канала при $Q = 11,3 \text{ м}^3/\text{сек}$, $b = 2,5 \text{ м}$ гидравлически наивыгоднейший откос $m_0 = 0,525$ и глубина наполнения $h = 1,80 \text{ м}$.

Табл. 4 и график изменения смоченного периметра $\chi = f(m)$ (рис. 8) иллюстрируют влияние заложения откоса на сечение Дальварзинского лотка.

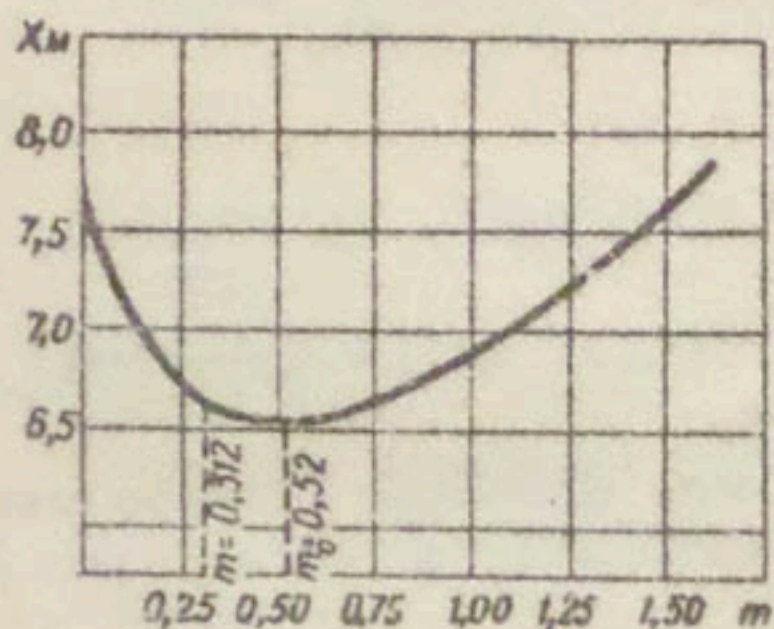


Рис. 8. Кривая $\chi = f(m)$ для Дальварзинского лотка.

Таблица 4

Гидравлически наивыгоднейшие сечения для канала при $Q = 11,3 \text{ м}^3/\text{сек}$; $i = 0,00092$; $n = 0,016$; $C = \frac{1}{n} R^{1/6}$

m	$b, \text{ м}$	β	$h, \text{ м}$	$\omega, \text{ м}^2$	$\chi, \text{ м}$	$R, \text{ м}$
0,000	2,5	0,949	2,65	6,63	7,80	0,851
0,250	2,5	1,200	2,08	6,28	6,79	0,925
0,312	2,5	1,250	2,00	6,25	6,70	0,934
0,525	2,5	1,390	1,80	6,18	6,57	0,940
0,750	2,5	1,510	1,66	6,22	6,65	0,936
1,000	2,5	1,610	1,55	6,28	6,89	0,905
1,500	2,5	1,760	1,42	6,58	7,63	0,863

Абсолютно гидравлически наивыгоднейшее сечение для условий Дальварзинского лотка при $\beta_a = 1,15$ и $m_a = 0,58$ приведено в табл.2.

В ы в о д ы

1. Абсолютно гидравлически наивыгоднейшим сечением, при котором смоченный периметр будет иметь минимально возможное значение, является сечение с $m_a = 0,577$ и $\beta_a = 1,154$.

2. Любой трапецидальный лоток, даже с гидравлически наивыгоднейшим сечением, можно запроектировать с меньшим значением смоченного периметра, если выполнить его с гидравлически наивыгоднейшим откосом m_0 .

3. Гидравлически наивыгоднейшее заложение откоса при любых значениях β колеблется в пределах 0,0-1,0.

4. Для треугольных лотков гидравлически наивыгоднейшим является сечение с заложением откоса $m_0 = 1,0$.

Л и т е р а т у р а

1. И.И.Агроскин, Г.Т.Дмитриев, Ф.И.Пикалов. Гидравлика. М., 1964.
2. А.А.Угянчус. Гидравлические и технико-экономические расчеты каналов. М., 1965.
3. А.М.Латышенков. Наивыгоднейшие размеры каналов трапецидальной формы. "Гидротехника и мелиорация", 1966, № 5.

УДК 627.81

Р.Ф.ФАЙЗУЛЛИН
А.Ф.РУСАНОВ

К ВОПРОСУ ОБ УСТОЙЧИВОСТИ ВОДОСЛИВ- НОЙ ПЛОТИНЫ ФАРХАДСКОЙ ГЭС

Фархадский плотинный узел находится в среднем течении р. Сырдарьи у Фархадских скал, в 4 км выше Бекабада. Строительство его начато в 1942 г. по проекту института "Средазгипроводхлопок".

В состав плотинного узла входят сооружения:

водосливная плотина;

глухая земляная плотина;

регулятор деривационного канала ГЭС;

регулятор канала "Дальварзин".

Фархадский узел комплексный: он имеет ирригационное, энергетическое и промышленное значение — и относится к сооружениям I класса капитальности. Плотина обеспечивает водой Фархадскую ГЭС (мощность 126 тыс.квт), Узбекский металлургический завод, орошаемые массивы Голодной и Дальварзинской степей, а в перспективе обеспечит, может быть, и земли Джизакской степи (всего, включая последнюю, — около 800 тыс.га). В настоящее время строится Сырдарьинская ГРЭС мощностью 4400 тыс.квт, которую также будет снабжать водой Фархадский гидроузел.

Таким образом, гидроузел является крупным ирригационно-энергетическим объектом.

За период его эксплуатации неоднократно поднимался вопрос о повышении НПГ в верхнем бьефе. Установлено, что можно повысить НПГ на 1 м, не наращивая сооружений. При этом обеспечивается устойчивость сооружений, кроме водосливной плотины.

Водосливная плотина при увеличении напора на 1 м имеет в основании растягивающие напряжения, не допускаемые действующими нормами СН 123-60. Расчетами установлено также, что в основании водослива растягивающие напряжения имеются и при существующих горизонтах воды.

Водосливная плотина расположена в скальных грунтах правого берега. Породы представлены сильно трещиноватыми толстослоистыми песчаниками палеозойского периода. Монолитность скального основания нарушена густой сетью трещин, дробящих породу на отдельности, плотно прилегающие друг к другу. Зазоры между трещинами весьма малы и заполнены железистой милонитизированной породой, иногда железистым и карбонатным цементом.

Слоистость хорошо выражена, мощность пластов 0,7+1,0+1,3 м. При буровых и каротажных работах отмечено, что трещиноватая зона доходит до глубины около 20 м от подошвы плотины.

Водопроницаемость пород очень низкая. Наибольшее количество трещин и с большей проводящей способностью располагается в пятиметровой толще ниже основания плотины, которые характеризуются удельными расходами 0,00017+0,0006 л/сек. Коэффициент фильтрации установлен в среднем 0,06 м/сутки.

Общая длина плотины между устоями 101 м. Плотина имеет 8 десятиметровых пролетов, перекрываемых плоскими колесными затворами. Толщина быков 9 м. Водосливы криволинейного очертания по координатам Кригера с носком для отброса струи. Плотина рассчитана на пропуск паводкового расхода 5200 м³/сек. Водосливы отделены от быков сквозными швами. На рис. 1 и 2 приведен план плотины и продольный разрез по ее оси.

При проектировании плотины были использованы нормы ВОДГЕО, 1934 г. №1. Этими нормами вводился понижающий коэффициент к ординатам фильтрационного давления в зависимости от качества скального основания, принятый в проекте $k=0,5$.

50093

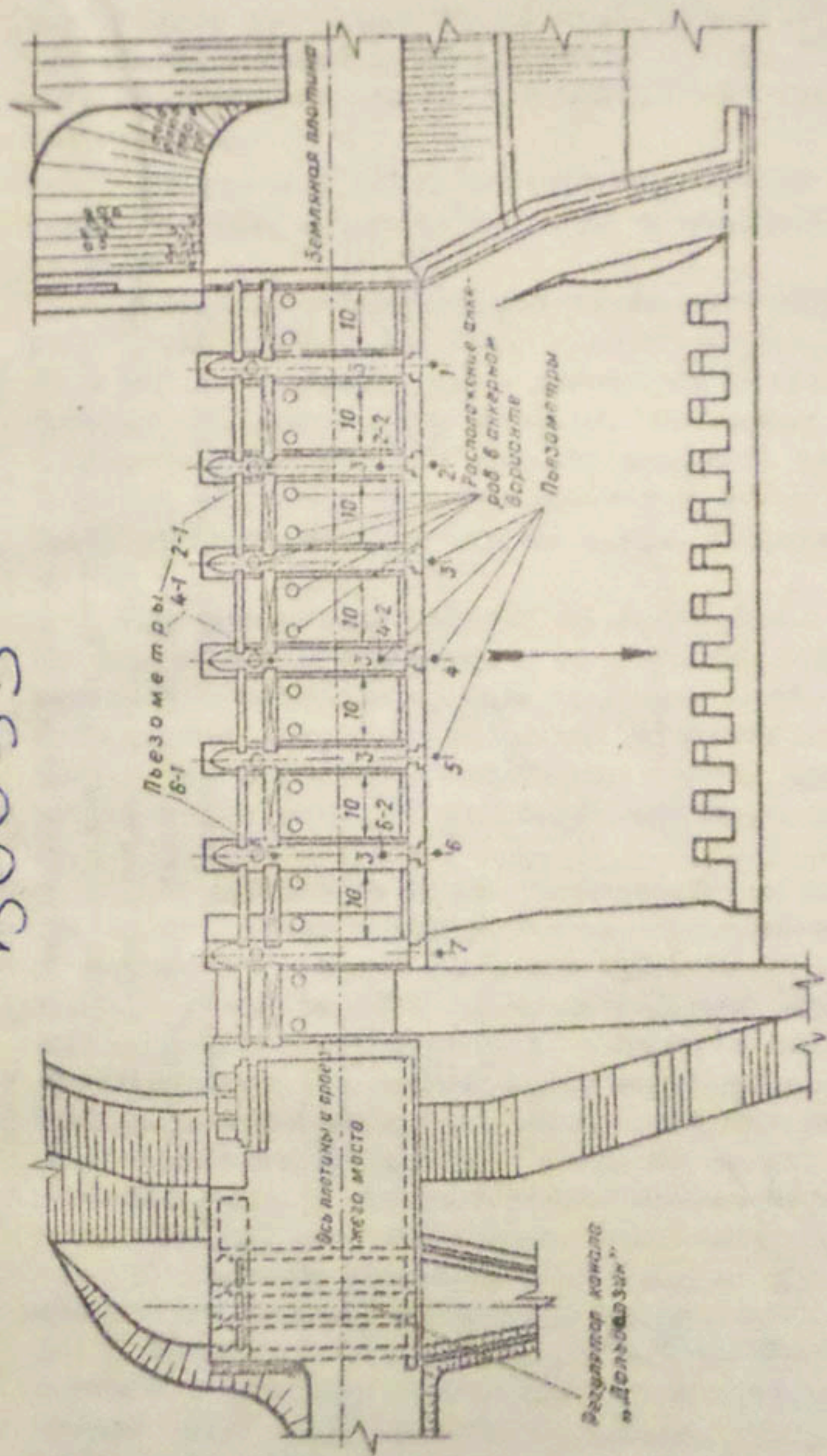


Рис. 1. План водосливной плотины.

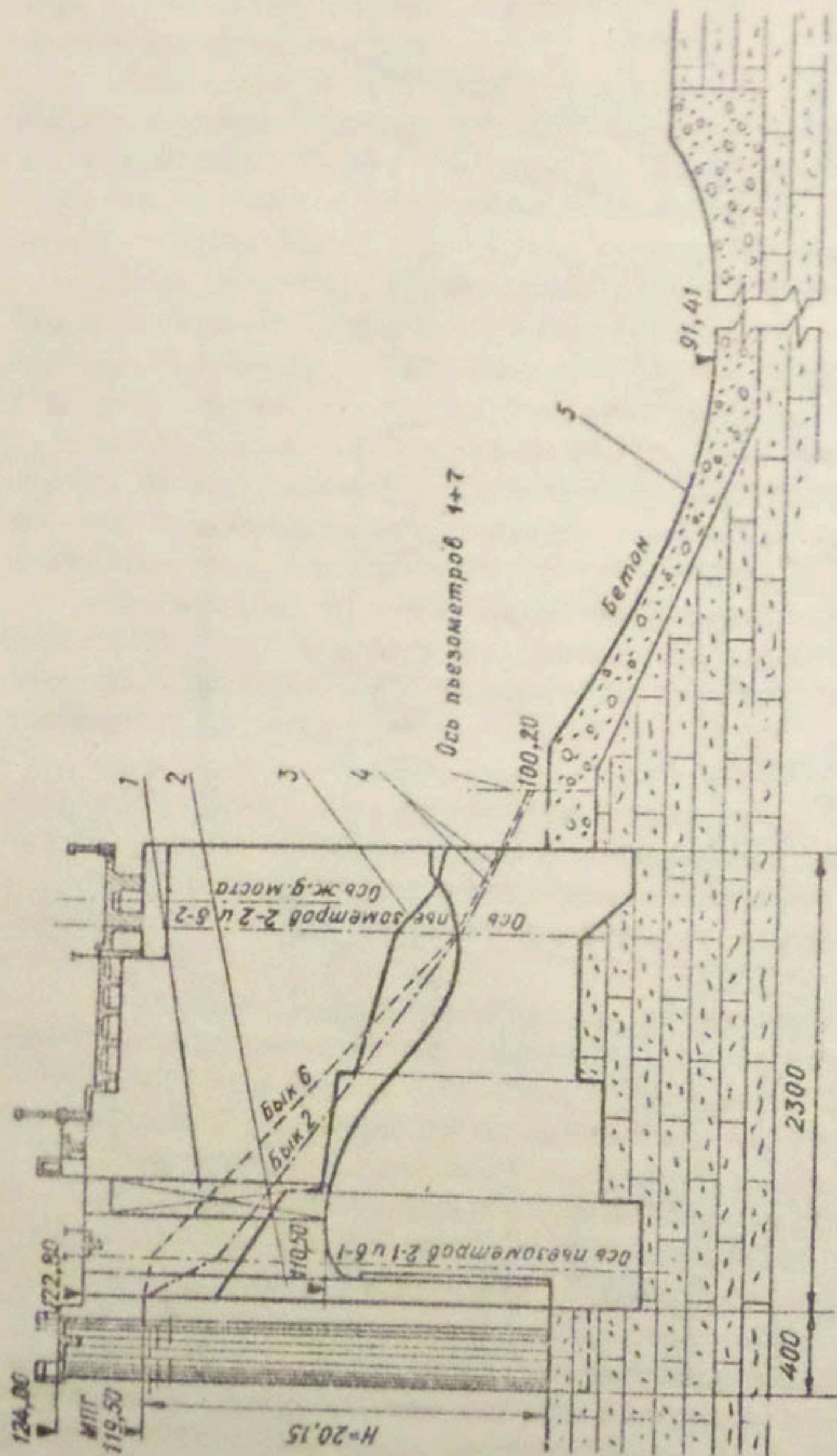


Рис. 2. Продольный разрез водосливной плотины:
 1- паз рабочего шита; 2- паз ремонтного шита
 (в период строительства служил для шита "гребен-
 кя"); 3- теоретическая линия пьезометрических
 напоров; 4- натурные линии пьезометрических
 напоров; 5- контур "ложки" по исполнительной
 съемке.

По существующим нормам СН 123-60 (на основании опыта проектирования и строительства гравитационных плотин) такого коэффициента не вводится, в связи с чем в расчет входит полный фильтрационный напор. Воздействие полного фильтрационного напора подтверждается и показаниями пьезометров.

При расчете конец контура фильтрации принимался у низового зуба, а между плотиной и водобоем проектировался фильтр.

В период строительства из-за ~~отставания~~ скальных работ отходящее русло было сделано шириной 65 м вместо 85 м по проекту. Бетонные работы по устройству "ложки" водобойного колодца было решено выполнить в последующем, и начал осуществляться пропуск расходов через плотину. Большие погонные расходы привели к интенсивному размыву трещиноватой скалы в нижнем бьефе, который в 1950 г. достиг 13 м [2].

При ремонтных работах на водобойном колодце допущены значительные отклонения от проекта, а фильтр между плотиной и водобоем ~~не был выполнен вообще~~. В связи с этим возник вопрос, ~~не является ли бетон водобоя удлинением контура фильтрации, в результате чего и произошло фактическое увеличение фильтрационного напора против расчетного~~.

Для выяснения ~~этого обстоятельства~~ институтом были проведены полевые работы по определению ~~натурным~~ остаточного напора у низового зуба ~~плотины~~. Время их проведения (декабрь 1970 г.) было выбрано с учетом минимальных расходов по р. Сырдарье и полного отсутствия сбросов через плотину. На период работ выключенная Кайраккумская ГЭС была переведена на график, исключивший сбросы через Фархадскую плотину. После этого из нижнего бьефа была откачана вода. У нижних граней были пробурены скважины диаметром 42 мм, снабженные пьезометрами (см. рис. 1).

С момента установки пьезометров проводились еще ~~дневные~~ двухразовые замеры уровней в них и в нижнем бьефе. С 30 ноября по 6 декабря горизонт воды в водобойном колодце с помощью насоса поддерживался в среднем на уровне 88,20 м. Полная откачка была произведена 7 декабря, после чего насос отключили, и началось естественное затопление котлована фильтрационной ~~назой~~, поступающей через

уплотнения затворов, которое продолжалось до 10 декабря, когда уровень в колодце достиг отметки 97,40.

10 декабря в 17 час. 30 мин. был приоткрыт один из затворов плотины и произведено затопление колодца до обычного уровня, который устанавливается там при отсутствии сбросов (100,30). Этот горизонт поддерживался до 15 декабря, т.е. до окончания опытов.

Основной целью работ было определение максимального пьезометрического напора у низовой грани плотины. Изучалось также взаимодействие уровней в установленных пьезометрах (на рис.1 они обозначены 1+7) и постоянных пьезометрах на плотине (на рис.1 обозначены 2-1, 2-2, 6-1, 6-2) с уровнем нижнего бьефа. Последние пробурены через тело быков - 2,4,6 по два пьезометра в створе, из которых створ на быке 4 не функционирует. На протяжении всех работ горизонт воды в верхнем бьефе сохранялся практически постоянным.

На рис. 3 изображен сводный график колебаний пьезометрических уровней и уровня воды в водобойном колодце. График свидетельствует о быстрой реакции уровней в пьезометрах на изменение уровня в нижнем бьефе, чему способствует наличие строительных швов в бетоне колодца, фильтрация через которые была четко видна при визуальном осмотре.

Максимальный уровень во всех пьезометрах установился 11 декабря и практически оставался постоянным до окончания опытов.

Для более детальной оценки влияния уровня нижнего бьефа на пьезометрический напор построен график, приведенный на рис.4, из которого видно, что при постоянном уровне нижнего бьефа все линии пьезометрических напоров практически горизонтальны. В период с 17 час.00 мин. до 18 час.00 мин. (во время затопления колодца) наблюдается общий резкий скачок уровней в пьезометрах, что свидетельствует об интенсивном сообщении контактной линии фильтрации с нижним бьефом через швы, которые фактически выполняют роль дренажа.

В результате опытов установлено, что максимальный остаточный пьезометрический напор у низовой грани плотины не превышает 1,2 м. Роль колодца как фактора удлинения

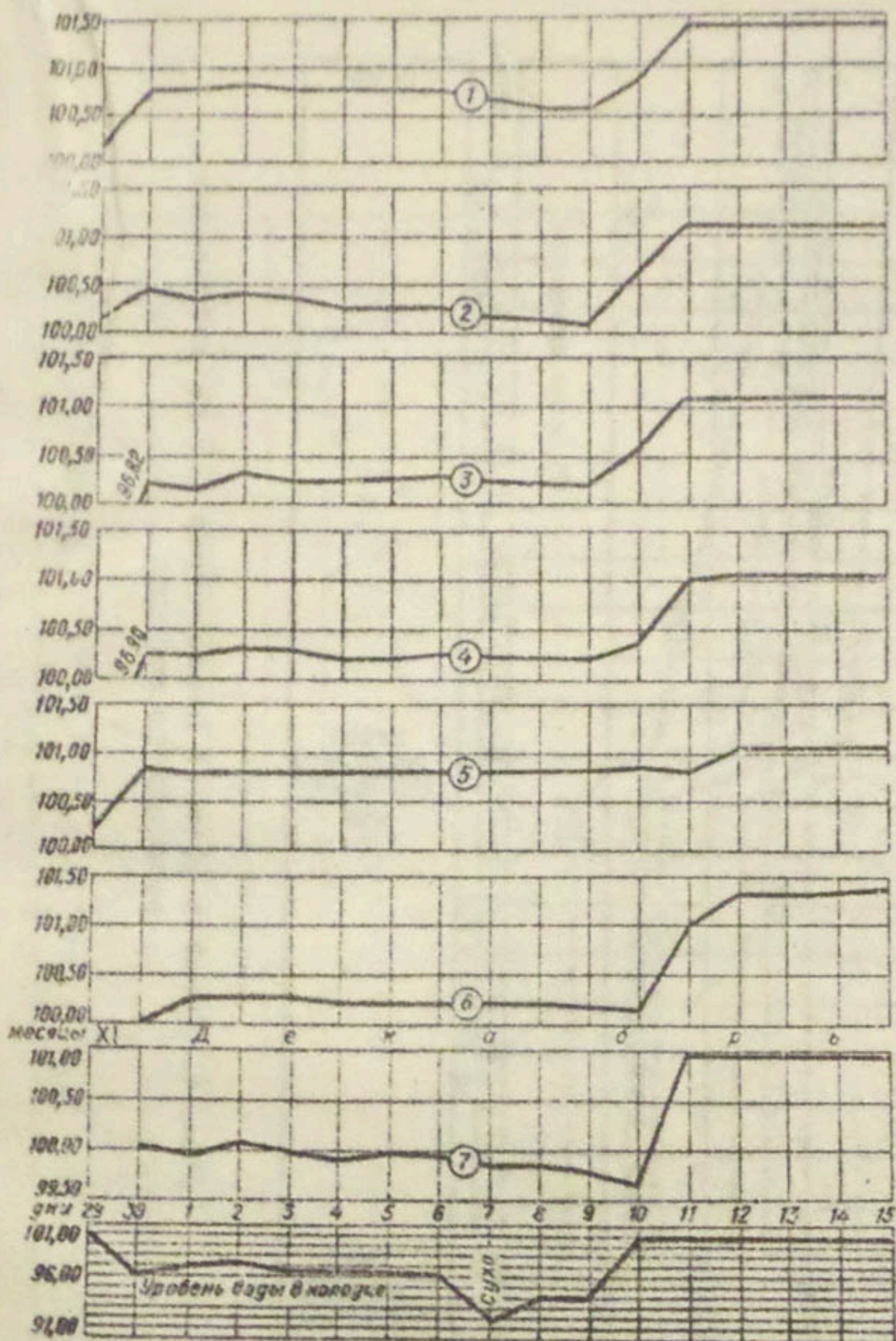


Рис. 3. Сводный график колебаний пьезометрических уровней и уровня воды в водобойном колодце за период с 29/XI по 15/XII-1970 г.

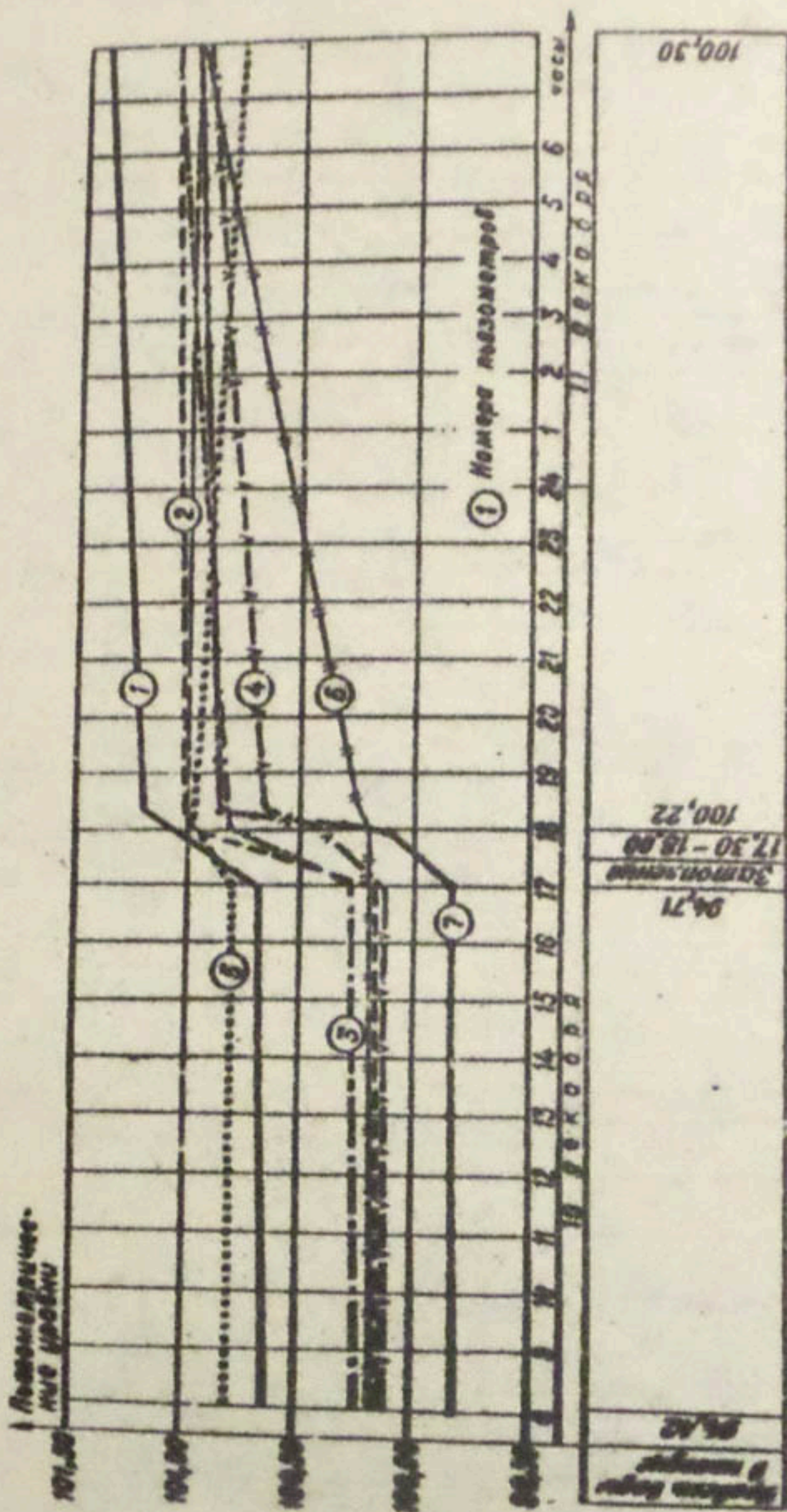


Рис. 4. Реакция уровней пьезометров 1-7 на затопление водобойного колодца.

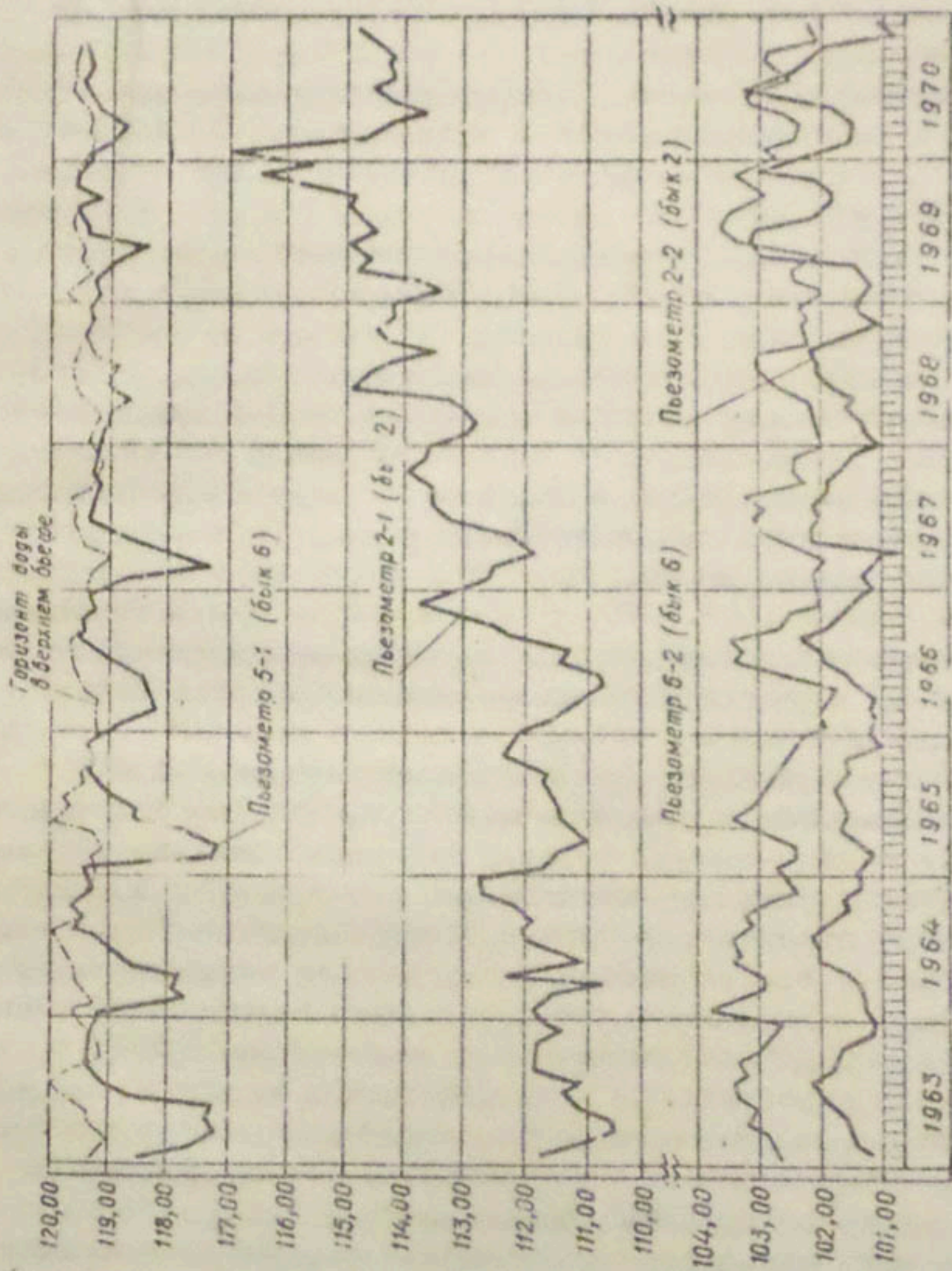


Рис. 5. Совмещенный график колебаний уровня верхнего бьефа и уровней в пьезометрах для створов быков 2 и 6 за 1963-1970 гг.

контура фильтрации незначительна.

Установлено также, что при изменении уровня в нижнем бьефе не наблюдалось практически ощутимых колебаний уровней в пьезометрах на плотине (пьезометры 2-1, 6-1). Уровни в пьезометрах, расположенных со стороны нижнего бьефа (2-2, 6-2), менялись незначительно, в пределах нескольких сантиметров (учитывая, что понижение уровня в нижнем бьефе составляло более 8 м). Эти факторы говорят о весьма малой проницаемости основания.

Кроме того, были обработаны данные пьезометрических наблюдений, проводимых службой эксплуатации, за 1963-1970 гг. (рис.5). На графике можно уловить следующие основные закономерности:

1. С повышением уровня в верхнем бьефе возрастает уровень в пьезометрах 2-1 и 6-1. Это происходит в летние месяцы в период пропуска паводка.

2. С понижением горизонта верхнего бьефа после пропуска паводка уровень в пьезометрах 2-1 и 6-1 продолжает возрастать.

В пьезометрах 2-2 и 6-2 в тот же период наблюдается общая тенденция к падению уровня, причем минимум приходится на зимние месяцы.

3. В период 1963-1970 гг. наблюдается общая тенденция к возрастанию пьезометрических напоров во времени, что особенно хорошо видно на примере кривой пьезометра 2-1.

Из вышесказанного следуют основные выводы:

1. Общее повышение уровня в пьезометрах 2-1 и 6-1 при общем понижении уровня в пьезометрах 2-2 и 6-2 приходится на осенне-зимний период, что происходит из-за сжатия бетонной кладки при пониженных температурах и раскрытия при этом строительных швов. Данное явление исследовано и описано в отечественной и зарубежной литературе [3]. На показания пьезометров, пробуренных в бетоне и не имеющих обсадных труб, в значительной мере также влияет фильтрация через строительные швы в бетонной кладке.

2. Общая тенденция к росту уровней в пьезометрах может свидетельствовать о выщелачивании бетона в швах от действия напорной пресной воды, о выносе из трещин скального основания заполнителя, а также о раскрытии контакта "скала-бетон" и общем развитии деформаций бетонного мас-

сива во времени от наличия растягивающих напряжений.

На рис. 2 приведены натурные линии пьезометрических напоров и расчетная линия. При сравнении их видно, что у верховой грани натурные линии проходят значительно выше расчетной, а у низовой грани проходят несколько ниже ее, что можно объяснить как раскрытием контакта "скала-бетон" и внедрением гидростатического напора в основании, так и фильтрацией через швы.

Как указывалось ранее, расчетом установлено наличие растягивающих напряжений в основании, причем растянутая зона при особых сочетаниях нагрузки достигает $1/3$ ширины подошвы. При этом от раскрытия контакта "скала-бетон" неизбежно увеличение противодействия в основании, так как в зоне растягивающих напряжений противодействие следует принимать не по закону фильтрации, а по закону гидростатики.

Следует отметить, что в сообщении, сделанном на УШ Международном конгрессе по большим плотинам представителем СССР д-ром техн. наук П.Д.Евдокимовым (ВНИИГ), сказано: устойчивость на скольжение гравитационных плотин на скальном основании обеспечивается, если выдержано требование об отсутствии в их основании растягивающих напряжений [4].

Из вышесказанного следует, что в настоящее время устойчивость Фархадской водосливной плотины не обеспечивается.

На основании проверки общей устойчивости плотины институтом разработана схема мероприятий по повышению ее устойчивости.

Проработаны три варианта повышения устойчивости:

1. Уменьшение фильтрационного напора в основании путем создания цементационной завесы.

2. Гравитационная пригрузка пролетов.

3. Предварительно напряженное анкерование плотин в скальную толщу основания.

Вариант цементационной завесы отвергнут по следующим причинам.

Породы, по имеющимся данным натурального гидравлического опробования, являются малопроницаемыми. Опытными работами по цементации, проведенными Гидроэнергопроектом в 1949 г., установлено, что порода при давлении 5 атм практически не поглощает цемента. Кроме того, согласно СН

123-60, для обеспечения надежного контакта бетонной кладки со скалой при устройстве завесы профиль плотины должен быть запроектирован с учетом отсутствия растягивающих напряжений в зоне завесы при наполненном водохранилище. Это условие в нашем случае выполнить невозможно, так как сколько-нибудь значительного снижения действующего напора в верхнем бьефе на период проведения работ не допускается.

Рассматривался также вариант гравитационной пригрузки пролетов, когда быки нагружались двумя массивными бетонными балками размером $4 \times 4 \times 13$ м, а водосливы — подводным литым бетоном в стальных контейнерах, опускаемых на обрез фундамента водослива (верхового зуба). Объем одного контейнера составил более 100 м^3 .

При всей своей громоздкости метод дает несомненный эффект в пригрузке быка. В водосливе же в связи с необходимостью сохранить размер пролета единственным возможным местом приложения нагрузки является обрез фундамента. При этом невозможно ликвидировать растягивающие напряжения из-за того, что весь бетонный массив разбит на блоки бетонирования строительными швами. Согласно исполнительным чертежам швом отделен и блок верхового зуба. Тогда нагрузка, воспринятая верховым зубом, будет локализована ввиду наличия шва и не окажет требуемого выправительного воздействия на общее соотношение сил.

Таким образом, данный вариант также оказывается неприемлемым.

Одним из путей повышения устойчивости плотин является их предварительно напряженная анкеровка в скальное основание.

Применение этого метода в зарубежной практике показало его высокую надежность, поэтому он рассмотрен в качестве варианта усиления Фархадской плотины [3], [5], [6].

Для расчета анкерной заделки имеется целый ряд методов, в частности, Л.Н.Джигоева [7], А.П.Тимофеева [8], Маслова-Дианова [9], А.Коина и др.

Необходимо отметить, что методы расчета Джигоева, Тимофеева и Маслова-Дианова для условий Фархадской плотины требуют уточнения специальными исследованиями, так как методы расчета Джигоева и Тимофеева проверены только на анкерах с глубиной заделки до 1,5 м, а метод Маслова-Дианова — в лабораторных условиях.

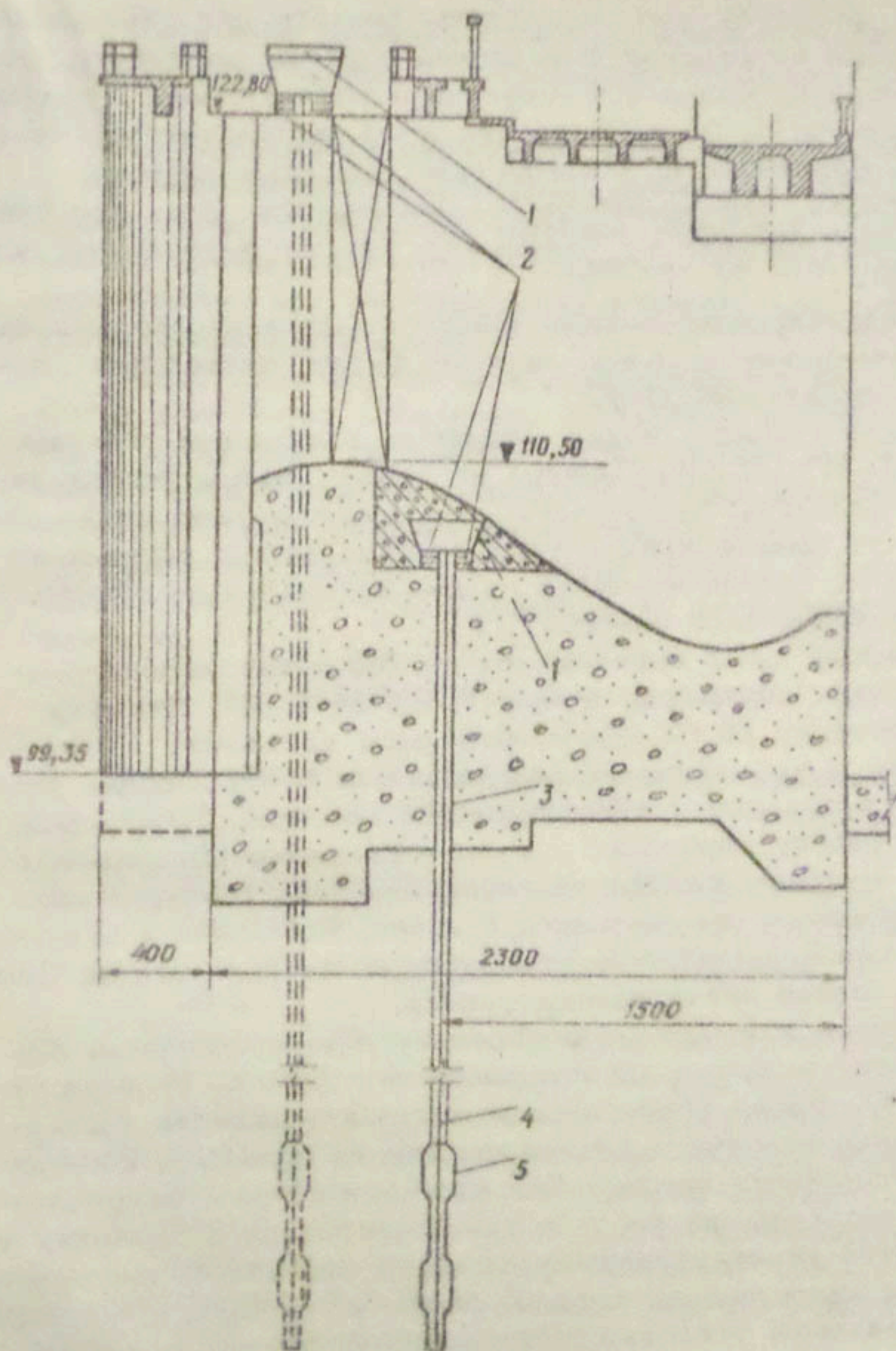


Рис. 6. Схема анкерования плотины:
 1- железобетонные оголовки; 2- домкраты; 3- сква-
 жина $d = 400$ мм; 4- анкерный тяж $d = 150$ мм;
 5- анкерные камеры $d = 800$ мм.

Для сравнения были выполнены расчеты для определения глубины заделки анкеров Фархадской плотины по методам Маслово-Дианова^{х)}, Коина и Тимофеева и соответственно получены результаты: 22, 28 и 30 м, при этом использовались литературные, нормативные и некоторые натурные данные.

Учитывая, что разработка осуществлялась в стадии схемы, принята заделка по Тимофееву, дающая наибольшую глубину — 30 м.

На последующих стадиях проектирования необходимо произвести уточнение глубины заделки путем проведения натурных исследований [10].

Конструктивно вариант оформлен следующим образом.

Принято по одному анкеру на каждый бык и по два анкера на водослив. Ввиду того, что оголовки анкеров в водосливе будут омоноличены и подтягивание их при релаксации исключается, запроектировано по два анкера на водослив вместо необходимого одного.

Анкерные тяжи выполняются из 700 нитей высокопрочной проволоки диаметром 5 мм (ГОСТ 8480-63). Диаметр анкера составит 15 см при необходимом натяжении 1250 т (с запасом в натяжении на релаксацию — 25%). Анкеры заделываются в скважинах диаметром 400 мм (рис. 8). Для вовлечения в работу породного конуса в скважине выполняется уширение методом камуфлетного взрыва либо разбурки скважины с помощью специального снаряда. Возможна и заделка анкера в гладкой скважине, примененная на ряде плотин США, однако на менее значительные усилия.

До установки анкера в скважину для выпрямления его производится вытяжка на специальном стенде до предела упругости [3]. Перед сборкой тяжа в пучок проволока подвергается гальванизации в растворе медного купороса. Свободный от анкерующих приспособлений участок троса покрывается гидроизоляцией, после чего трос опускается в скважину и производится инъекция расширяющегося цементного раствора в пределах анкерующей части. Верхняя часть анкера бетонируется в специальной оголовке. После набора прочности раствором в скважине и бетоном в оголовке производится натяжение анкеров гидравлическими домкратами.

х) Расчет по методу Маслово-Дианова и техническая часть варианта разрабатывались при участии канд. техн. наук В.Г. Дианова.

Натяжение производится ступенями с интервалом 300–400 т до практической стабилизации нагрузки под каждой ступенью.

По достижении расчетного натяжения анкера производится омоноличивание оголовков анкеров на водосливах и дополнительная цементация скважин. Оголовки анкеров на быках не омоноличиваются, а опираются на специальные упоры, позволяющие при необходимости подвести под оголовок домкраты и подтянуть анкер.

Некоторые трудности в осуществлении этого варианта могут возникнуть вследствие отсутствия детальной технологии и специфичности ведения работ. Однако эти трудности вполне преодолимы, а надежность метода позволяет рекомендовать его для усиления Фархадской плотины.

Достигнутое при этом общее обжатие кладки плотины, несомненно, будет способствовать ее устойчивости и долговечности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гравитационные плотины. Временные технические условия и нормы проектирования и возведения. ВОДГЕО, 1934.
2. В.В.Пославский. О размыве скалы в нижнем бьефе водосливной плотины. Труды института сооружений и строительных материалов АН УзССР, вып. 1. Ташкент, 1949.
3. А.З.Басевич. Массивные гидротехнические сооружения с искусственным обжатием бетона. Л., Госиздат литературы по строительству и архитектуре, 1957.
4. Проектирование и строительство больших плотин, вып. I. Подземные работы и улучшение скальных оснований плотин. По материалам УП и УШ Международных конгрессов по большим плотинам, 1966.
5. Н.Н.Маслов, З.В.Пильгунова. Плотины Северной Африки. М.-Л., Энергоиздат, 1960.
6. Ф.Томпсон. Укрепление бетонной плотины "Джон Холлис Бэйкхэд". "Гражданское строительство", № 12, 1968. Журнал американского общества гражданских инженеров.

7. Л.Н.Джигоев. Экспериментальные исследования анкерных креплений в скальных грунтах. "Гидротехническое строительство", 1958, № 6.
8. А.П.Тимофеев. К вопросу анкерования бетонных конструкций. "Гидротехническое строительство", 1962, № 1.
9. Н.Н.Маслов, В.Г.Дианов. Метод расчета анкера в скальной толще. "Энергетическое строительство", 1970, № 9.
10. А.Н.Марчук. Секция гравитационной плотины с напряженной анкерровкой в основание. "Гидротехническое строительство", 1964, № 6.
11. Нормы и технические условия проектирования бетонных гравитационных плотин на скальных основаниях. СН 123-80, 1980.

УДК 627.81

В.Г. ДИАНОВ

кандидат технических наук

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ПОВЫШЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ БЕТОННЫХ ПЛОТИН НА СКАЛЬНОМ ОСНОВАНИИ

В Советском Союзе и в зарубежных странах строится и уже построено на скальном основании значительное количество бетонных плотин различного типа.

Стремление уменьшить объем бетонной кладки при возведении плотин и необходимость устранения последствий неблагоприятных условий залегания скальных пород в основании плотины обуславливают поиск различных технических решений в этом направлении.

Одним из таких технических решений является анкерование бетонных плотин в скальную толщу основания для вовлечения его в работу сооружения на сдвиг и опрокидывание. Одно из преимуществ этого решения по условиям статки при строительстве в сейсмических районах состоит в том, что натяжение анкера представляет собой необъемную силу, которая не дает инерционной составляющей при сейсмических воздействиях.

Строительная практика располагает рядом примеров эффективного анкерования строящихся бетонных плотин: Мареж (Франция), Олд-на-Лейридж (Англия), Братская (СССР), а также успешного применения анкерования при реконструкции

плотин: Шерфас, фюмель, Ларди и т.д.

Многочисленные исследования по определению расчетных показателей сдвига для скальных пород свидетельствуют о том, что фактические показатели сдвига значительно выше принимаемых по таблице СН 123-60.

Доктор технических наук П.Д.Евдокимов и кандидат технических наук Р.А.Ширяев считают: "Для скальных пород достаточно хорошей сохранности расчетные значения показателей сдвига столь велики, что габариты подпорных сооружений (в частности гравитационных плотин обычного классического профиля) при проектировании по существу лимитируются не требованием обеспечения их устойчивости на сдвиг, а условием недопустимости в подошве растягивающих нормальных напряжений у верховой грани [1].

Однако в этом утверждении можно согласиться с ними лишь частично, так как сами по себе растягивающие напряжения у верховой грани не могут вызвать опасения за судьбу сооружения при обеспечении нормативной устойчивости на опрокидывание. Вместе с тем наличие их в основании подпорного гидротехнического сооружения при малой водопроницаемости массива основания под низовой гранью приведет к образованию в пределах растянутой зоны фильтрационного противодавления на подошву сооружения в виде прямоугольника с ординатой H . Указанное уменьшит удерживающие силы, что в значительной мере отразится на устойчивости сооружения на сдвиг, являющейся наиболее опасной для бетонных гравитационных плотин.

Именно этот случай имеет место на фархадской ГЭС, водосбросная плотина которой является сооружением I класса с напором 20 м. Она выполнена из бутобетонной кладки без армирования и введена в эксплуатацию в 1949 г. Основанием плотины служат прочные, но сильно трещиноватые дислоцированные фиолетово-серые песчаники. При проектировании плотины фильтрационный напор на ее подошву был принят $H_f = 0,5 H$, в то время как согласно современным нормам необходимо принимать $H_f = H$.

При пересчете напряжений по подошве плотины в свете современных требований плотностроения были обнаружены растягивающие напряжения на значительной ширине подошвы, что недопустимо.

В связи с этим институт "Средазгипроводхлопок" сделал проработки по повышению устойчивости плотины, одним из основных вариантов которых является анкерование в скальную толщу основания.

Несмотря на широкое применение анкерования в различных областях строительства у нас и за рубежом, ряд вопросов, связанных с ним, теоретически слабо освещен.

По этой причине анкерование часто ведется по аналогам, по данным чисто производственного опыта.

Интенсивное строительство гидроузлов на скальных основаниях, в особенности при высокой сейсмичности района, и необходимость повышения устойчивости существующих плотин требуют строго научного обоснования анкерования.

Наиболее важными вопросами при анкеровании являются: обоснование величины предварительного натяжения анкеров в условиях сейсмичности, определение оптимальной ориентации анкера к расчетной плоскости скольжения и определение необходимой глубины заделки анкера в скальную толщу основания по условию устойчивости последней.

Величина предварительного натяжения анкеров

В настоящее время в строительной практике применяются два вида анкерования: ненапряженное и предварительно напряженное.

Применение ненапряженного анкерования обусловлено, по мнению ряда специалистов, тем, что сложение внешней нагрузки с предварительным напряжением может вызвать разрушение анкера (в частности при сейсмических воздействиях). Помимо этого, установка ненапряженных анкеров более проста по технологии.

Для решения вопроса о возможности и мере сложения предварительного напряжения с внешней нагрузкой рассмотрим работу предварительно напряженного анкера в бетонном теле плотины и скальном основании, условно принимая

$$E_{\text{бет деф}} = E_{\text{основ деф}}$$

Как известно, бетонная кладка тела плотины и скальная толща основания представляет собой упруго-пластическую

среду. В качестве материала для анкеров обычно применяют сталь, также обладающую упругими свойствами. Зависимость деформаций (напряжений) анкера от воздействий внешней нагрузки можно проследить на пружинной модели предварительно напряженного анкера. Подобная модель состоит из двух связанных между собой пружин: растянутой — анкер, сжатой — бетонная кладка и скала.

Под влиянием предварительного напряжения силой P_0 анкер получает деформацию удлинения λ_0 , а бетонная кладка и скала — деформацию сжатия δ_0 . Предположим, что сила, действующая на анкер, возросла до величины P_1 за счет внешней нагрузки на бетонную кладку тела плотины и скалу в направлении действия анкера, что может быть вызвано, например, сейсмикой или волновой нагрузкой.

При этом анкер получит дополнительное удлинение λ_1 , а скала и бетон уменьшат свою деформацию на ту же величину. Остаточная деформация в скале и бетоне δ'' равна разности деформации бетона и скалы от предварительного напряжения и деформации от внешнего воздействия.

$$\delta'' = \delta_0 - \lambda_1 \quad (1)$$

и обусловлена остаточным усилием в бетоне и скале P'' .

Силу, действующую на анкер, можно представить в виде суммы сил внешнего воздействия и остаточных сил от предварительного напряжения: $P_1 = P + P''$

Принимая это во внимание и подставляя в зависимость (1) значения деформаций по закону Гука для сжатия, получим после ряда простых преобразований

$$P_1 = P_0 + P \frac{g_a}{g_a + g_{бет}} \quad (2)$$

где P_1 — нагрузка на анкер;

P_0 — предварительное натяжение;

P — внешняя сила;

g_a — показатель жесткости анкера;

$g_{бет}$ — показатель жесткости бетона и скалы.

Подобный вывод формулы (2) для случая анкерования потенциально неустойчивых скальных массивов приводится в работе [2].

Полученное выражение (2) свидетельствует о том, что в большинстве случаев нагрузка на анкер не равна сумме предварительного напряжения и внешней силы, а зависит от упругих свойств анкера и бетона (скалы).

Показатель жесткости g в формуле (2) является функцией модуля деформации E , поперечной площади элемента и длины анкера.

Задавая различные значения параметров, влияющих на величину g , определим по формуле (2) усилие в предварительно напряженном анкере при действии на заанкерованное сооружение внешней нагрузки.

Для наглядности и упрощения зададим во всех случаях одинаковое сечение анкера $F_a = 200 \text{ см}^2$, угол распределения "активной" зоны напряжений $\alpha = 45^\circ$ и величину предварительного натяжения, равную внешней нагрузке $P_0 = P$.

Примем модуль деформации бетона и скалы $E_{\text{бет}} = 26,50, 100$ и 200 тыс. кг/см^2 , модуль деформации анкера $E_a^{\text{деф}} = 2000 \text{ тыс. кг/см}^2$ и длину анкеров (высота сооружения с анкерующей частью основания) $l_a = 1, 3, 5, 10, 15$ и 20 м .

Результаты расчетов приведены на рис. 1а.

Анализ графика показывает, что при невысоких значениях модуля деформации бетона (скалы) и небольшой длине анкеров повышение нагрузки на предварительно напряженный анкер достигает 40% величины предварительного натяжения (при условии равенства внешней нагрузки P силе предварительного натяжения P_0).

Однако для анкеров длиной более 5 м величиной сложения внешней нагрузки с предварительным напряжением анкера, ввиду незначительности ее ($< 2\%$), можно пренебрегать независимо от модуля деформации бетона и скального основания.

Из изложенного следует, что применение предварительно напряженных анкеров, в особенности при их большой длине и высоком модуле деформации бетона тела плотины и скального грунта основания, не может явиться причиной разрушения анкера при воздействии на сооружение внешних нагрузок, одной из которых является сейсмическая сила.

Предварительное напряжение анкеров создает в сооружении напряженное состояние, противоположное тому, которое вызывает внешняя нагрузка, что является положительным

фактором.

Для надежной работы сооружения достаточно, чтобы величина предварительного напряжения превышала внешнюю нагрузку в пределах обычного коэффициента запаса для арматуры.

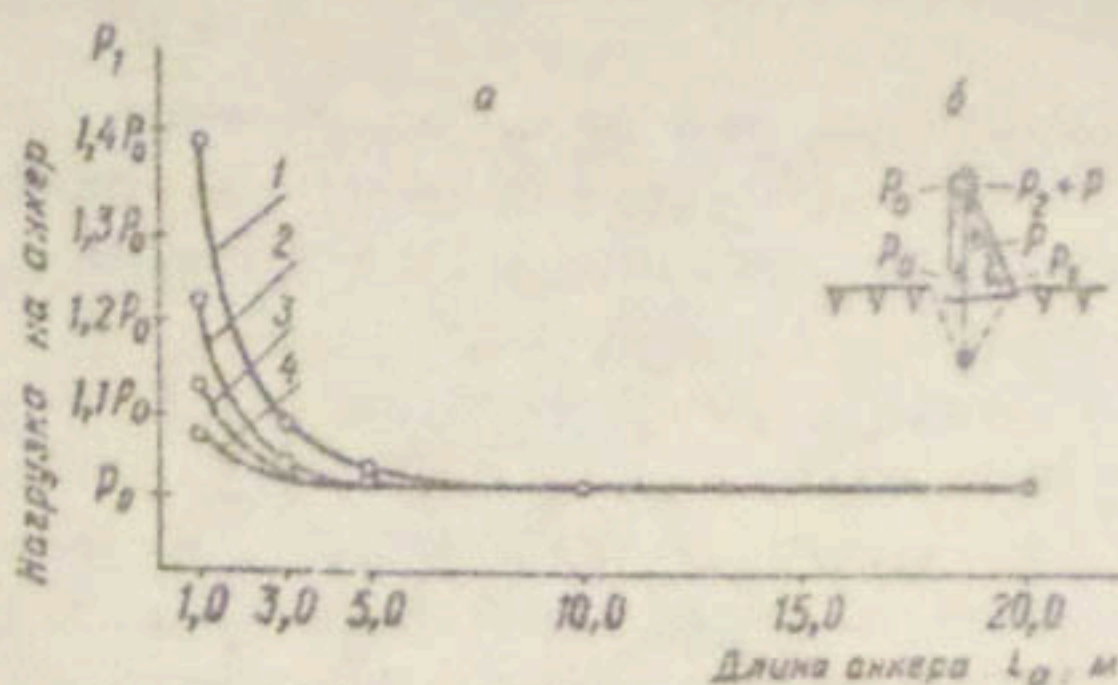


Рис.1. Работа предварительно напряженного анкера под внешней нагрузкой:

- а — график зависимости нагрузки на предварительно напряженный анкер от длины анкера при различных модулях деформации основания: 1— $E_{\text{деф}}^{\text{осн}} = 20000 \text{ кг/см}^2$; 2— $E_{\text{деф}}^{\text{осн}} = 50000 \text{ кг/см}^2$; 3— $E_{\text{деф}}^{\text{осн}} = 100000 \text{ кг/см}^2$; 4— $E_{\text{деф}}^{\text{осн}} = 200000 \text{ кг/см}^2$;
- б— расчетная схема (слева показаны силы, действующие до приложения внешней нагрузки P , справа — после).

Применение предварительно напряженных анкеров в зарубежной практике в течение последних 20 лет показало их высокую надежность и некоторые особенности:

- а) небольшие деформации заанкерованных сооружений под нагрузкой;
- б) высокую усталостную прочность анкерной стали вследствие незначительных колебаний напряжений;
- в) употребление высококачественной стали и достаточно большого упругого удлинения (применение анкеров большой длины) обуславливает незначительные потери начального напряжения в анкере, вызванного пластическими деформациями.

ми скального массива и бетона тела плотины, развивающимися во времени.

Опыт анкерования, выполненного до настоящего времени, показывает, что снижение начального напряжения анкеров от релаксации в металле и от развивающихся пластических деформаций в скальной толще основания и в бетоне составляет не более 25%.

Таким образом, вследствие создания благоприятного распределения напряжений в заанкерованном сооружении и минимальных размеров деформаций его при действии внешней нагрузки предпочтение следует отдавать предварительно напряженным анкерам.

Оптимальная ориентация анкера

Дополнительное удерживающее усилие, создаваемое натяжением анкера P_0 , может быть представлено в виде двух составляющих (рис. 2,3):

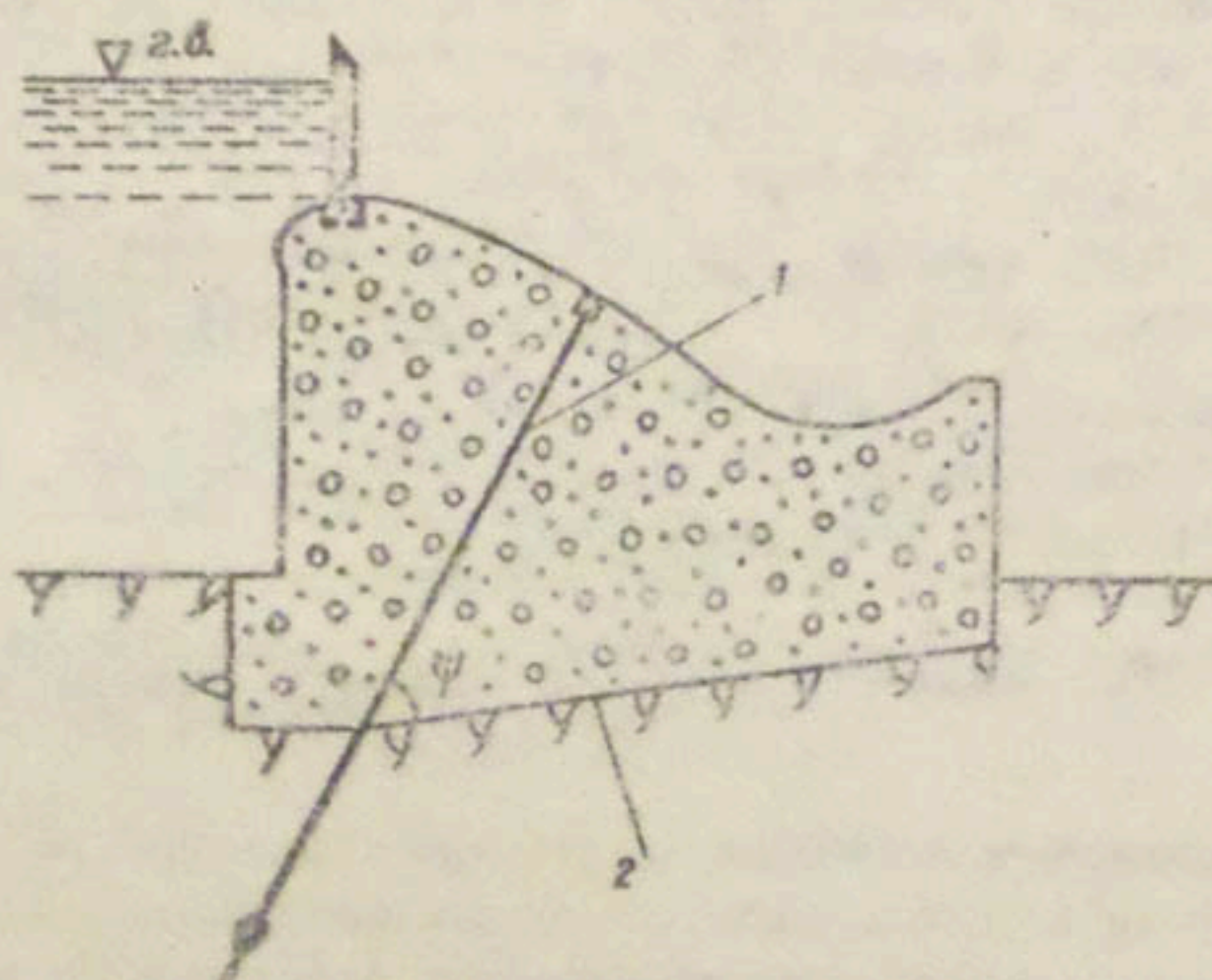


Рис. 2. Схема заанкерованного сооружения;
1 — анкер натяжением P_0 ; 2 — расчетная
плоскость скольжения.

- а) параллельной плоскости скольжения — $Q\rho_0$;
 б) силы трения по плоскости скольжения, возникающей от нормальной составляющей натяжения анкера к плоскости скольжения $N\rho_0$.

Аналитически это выразится формулой

$$A = Q\rho_0 + N\rho_0 \cdot \operatorname{tg} \varphi = \rho_0 (\cos \psi + \sin \psi \cdot \operatorname{tg} \varphi), \quad (3)$$

где A — удерживающее усилие, создаваемое анкером;
 ρ_0 — величина предварительного напряжения анкера;
 ψ — угол наклона анкера к плоскости скольжения;
 φ — угол сопротивления сдвигу.

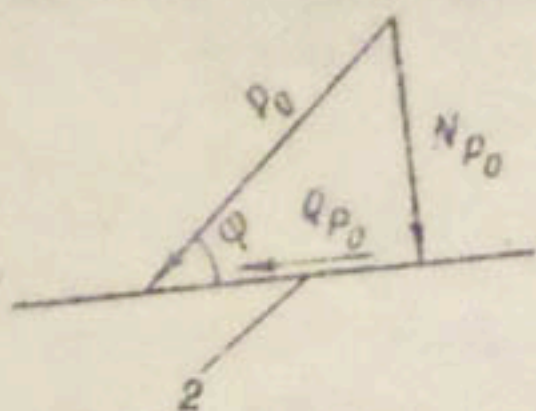


Рис.3. Разложение силы натяжения (ρ_0) на составляющие (2 — см. рис.2).

При оптимальной ориентации удерживающее усилие от натяжения анкера должно иметь наибольшую величину. Для определения оптимальной ориентации анкера исследуем выражение (3) как функцию угла ψ . Взяв производные первого и второго порядка $A = f'(\psi)$; $f''(\psi)$ и приравняв их к нулю, находим, что при значениях угла ψ , равных углу сопротивления сдвигу φ , функция имеет максимум. Значит, угол ψ , равный углу сопротивления сдвигу по плоскости скольжения, является оптимальным углом ориентации анкера к расчетной плоскости скольжения.

Необходимая глубина заделки анкера в скальную толщу

В определении необходимой глубины заделки анкера в скальную толщу при больших усилиях натяжения наименее изучен вопрос о прочности скального массива, в который производится анкерование. Поэтому, не касаясь расчета и работы различных конструкций, обеспечивающих сцепление анкера со скалой, остановимся на определении несущей способности скальной толщи при различных условиях залегания горных пород основания.

Существующие методы расчета не могут быть использованы по ряду причин.

Так, методы А.А.Борисова, Л.Н.Джигоева и А.П.Тимофеева, полученные не путем строгого вывода расчетных зависимостей, а основанные на результатах натурных исследований э.телок глубиной от 20 см до 1,5 м, не могут быть использованы для ответственных анкерных заделок с натяжением в сотни тонн. Авторы этих методов исходят из предпосылки о монолитности скальной толщи, ограничивая тем самым применимость своих зависимостей.

Зенкиевич и Герстнер не принимали во внимание особенности строения скальной толщи, обусловленные трещиноватостью, и рассматривали задачу о напряжениях на основе теории упругости. При таком решении нельзя получить в явной форме необходимую глубину заделки.

Метод А.Коина, учитывающий только вес конуса породы, увлекаемого анкером при выпоре, дает необоснованно завышенную глубину заделки.

Кроме того, ни один из указанных методов не учитывает пространственной ориентации анкера, поверхности скального основания и характера действия нагрузки: одиночный анкер или группа анкеров, что также имеет большое значение в определении необходимой глубины заделки.

Рассмотрим характерные типы строения скальных толщ и составим соответствующие расчетные схемы. Наиболее характерным случаем залегания горных пород является трещиноватая скальная толща, основные свойства которой при достаточной прочности образца определяет трещиноватость. Изредка в строительной практике встречаются монолитные скальные породы (например толща мелов).

Глубина заделки в трещиноватой скальной толще

В общем случае скальный массив представляет собой твердое тело, обладающее упругими свойствами и расчлененное трещинами формирования, деформации и выветривания на отдельные блоки. Часто как для осадочных, так и для изверженных и метаморфических горных пород характерна система трещиноватости, параллельная поверхности массива и образующая "слои", расчлененные на отдельные блоки системами трещин.

Наиболее полно отражающей реальное строение скального массива механико-математической моделью является упругая пластозая толща, расчлененная на блоки. Контакты между слоями и блоками представляют собой поверхности разрыва сплошности среды с наименьшим сопротивлением сдвигу.

Модельные исследования на жестких образцах, проведенные автором данной статьи в 1967 г. под руководством проф. Н.Н.Маслова, подтвердили предпосылку о том, что наиболее слабое место в скальном массиве — пластовые трещины, обладающие наибольшей протяженностью, наименьшей шероховатостью и имеющие, как правило, заполнитель в виде глинистого материала, кальцита и т.д.

В проделанных автором опытах и в других исследованиях были отмечены три состояния: допредельное, предельное (неустойчивое) и запредельное.

Разрушение заделки происходило с послойным проскальзыванием блоков относительно друг друга и разуплотнением моделируемого скального массива.

Начальные послойные подвижки блоков как зажатого, так и незажатого скального массива под действием тяжения анкера были зарегистрированы в опытах под нагрузкой примерно одного порядка при идентичных условиях заделки. Это состояние, по сопоставлению с описанием натурных опытов по сдвигу скальных целиков, следует отнести к предельному.

При дальнейшем повышении нагрузки в массиве возникает запредельное состояние, характеризующееся значительными деформациями проскальзывания блоков, объемным расширением массива и заклиникой скальных блоков. В этой стадии незажатая скальная толща быстро разрушилась, в то время как зажатая продолжала сопротивляться действию увеличивающегося натяжения анкера за счет заклинивания послойно деформируемых скальных блоков.

На рис. 4 приведены данные одной из серий опытов над моделями из образцов, относительные размеры которых составляли 1:1, с фиксацией в процессе испытаний перехода скальной толщи от предельного к запредельному состоянию.

Испытания моделей из образцов с другими относительными размерами (1:2, 1:4, 1:6), полностью охватывающими

природную классификацию скальных блоков по А.М.Гурьеву, подтвердили общий характер закономерности предельной сопротивляемости скальной толще действию внешней нагрузки на разных стадиях.

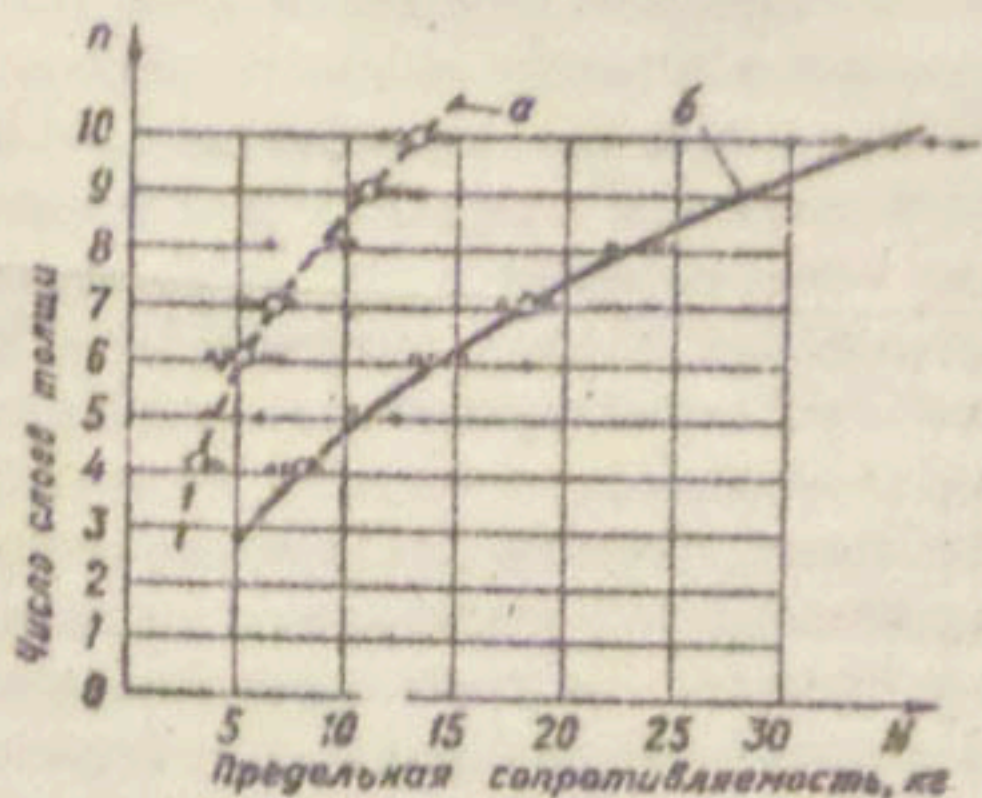


Рис. 4. Графики зависимости предельной сопротивляемости скальной толщи вырывающему усилию анкера от глубины заделки по результатам модельных исследований образцов $3,3 \times 3,3 \times 3,3$ см в различных стадиях: а — в предельной, б — в за-
предельной.

При этом (см. рис. 4) зажатые скальные толщи способны воспринять внешнюю нагрузку (тяжение анкера), ориентировочно в три раза большую, чем незажатые. Следовательно, в запредельной стадии большое значение в сопротивлении скальной толще тяжению анкера приобретает плотность сложения скальных блоков, что может быть достигнуто путем цементации.

Поскольку начальные послойные деформации в скальном массиве развиваются почти независимо от зажатия, в до-предельной стадии роль этого фактора незначительна.

В скальной толще, сложенной из отдельных блоков значительной прочности на скалывание, нарушение сопротивления вышору при большой длине заделки анкеров связывается не со скалыванием породы по поверхности конуса, а с возмозможностью относительно свободного перемещения и поворота блоков с частичным выходом из занимаемых ими "гнезд".

Очевидно, что при этом условии ограничение возможности такого перемещения приводит к повышению сопротивления скальной толщи вырывающему усилию. Таким образом, увеличение несущей способности трещиноватого скального массива путем повышения плотности его сложения может быть достигнуто посредством цементации, в то время как "склеивание" блоков при цементации имеет второстепенное значение из-за наличия в трещинах заполнителя.

Основания ответственных (в особенности гидротехнических) сооружений не должны испытывать пластических деформаций, поэтому необходимо рассчитывать на их работу в допределельной стадии.

В запределельной стадии происходит разуплотнение скальной толщи, выражающееся в сдвиге, выворачивании и заклинивании скальных блоков. За счет заклинивания наблюдается некоторое повышение предельной сопротивляемости скальной толщи действию нагрузки. Однако это состояние не может служить критерием для расчета из-за отсутствия стабильности. При динамических воздействиях (например сейсмика) взаиморасположение заклиненных блоков может несколько изменяться, что не исключает возможности разрушения заделки без увеличения нагрузки.

Кроме того, разуплотнение при заклинивании блоков вызывает повышение трещинной пустотности массива в результате раскрытия трещин. Последнее, помимо увеличения фильтрационных потерь, может вызвать выщелачивание пород массива (гипсы, известняки и т.д.), что в свою очередь может привести к разрушению заделки.

В скальном массиве вблизи любой анкерной заделки образуется зона концентрации напряжений с переходом этой зоны в предельное (или в отдельных случаях запределельное) состояние. Как справедливо считает Ч.Егер, превышение напряжений в отдельных точках массива не может служить причиной его разрушения. Для разрушения (разуплотнения) массива необходимо, чтобы избыточные напряжения охватили достаточно большую зону.

Принимая во внимание, что наиболее слабые элементы массива — пластовые трещины, определим количественный критерий устойчивости трещиноватого скального массива в стадии предельного равновесия.

Чтобы не допустить образования необратимого сдвига в скальном массиве, сдвигающие силы по трещинам напластования, возникающие под действием натяжения анкера, не должны превосходить сил сопротивления сдвигу по ним.

Активная зона выпора ограничивается линией, соединяющей точки, в которых сдвигающие напряжения по пластам равны напряжениям сопротивления сдвигу, вызванным весом вышележащей толщи. Поскольку рассматривается допредельное состояние скальной толщи, не допускающее развития остаточных деформаций в ней от натяжения анкера, вес объема выпора породы уравнивается реакцией со стороны нижележащей толщи. Поэтому сопротивляемость трещиноватой скальной толщи в допредельном состоянии должна быть связана только с силами межпластового трения.

Многочисленные исследования отечественных и зарубежных авторов показали, что, несмотря на некоторое искажение напряженного состояния скального массива (как и любого другого грунта) под нагрузкой из-за анизотропии, распределение напряжений в нем можно достаточно точно описать с помощью уравнений теории упругости [3], [4]. Приняв для описания напряженного состояния скальной толщи под нагрузкой зависимости фламана [5] и подставляя значения послойных удерживающих и сдвигающих сил, полученные путем интегрирования соответствующих функций, в уравнение предельного равновесия, получим после некоторых преобразований выражение для определения необходимой глубины заделки. Расчетная схема представлена на рис.5. При горизонтальной слоистости массива и вертикальном расположении анкера формула имеет вид:

$$h = \sqrt{\frac{n}{n+1} \cdot \frac{3q[(\mu-1)\ln(\cos\alpha) + (\mu+1)\sin^2\alpha]}{2\pi\gamma\operatorname{tg}\varphi\operatorname{tg}\alpha}}, \quad (4)$$

где n — число слоев толщи до нарушенной зоны;

q — интенсивность натяжения анкера, т/м;

μ — коэффициент Пуассона породы;

$\operatorname{tg}\varphi$ — коэффициент сопротивления сдвигу по межпластовым трещинам;

α — угол распространения активной зоны выпора.

В случае наклонного залегания породной толщи и направления анкера, отличного от нормали к ней, выражение для определения необходимой глубины заделки примет вид:

$$h = \sqrt{\frac{n}{n+1} \cdot \frac{3q \left\{ 2(\mu+1) \left[\cos\beta \frac{\sin^2\alpha}{2} - \sin\beta \left(\frac{\alpha}{2} + \frac{\sin 2\alpha}{4} \right) \right] + \right.}{2\pi\gamma \operatorname{tg}\varphi \operatorname{tg}\alpha \cos\theta} + \left. \frac{(\mu-1) [\ln(\cos\alpha) \cos\beta + (\operatorname{tg}\alpha + \alpha) \sin\beta]}{2\pi\gamma \operatorname{tg}\varphi \operatorname{tg}\alpha \cos\theta} \right\}} \quad (5)$$

где θ — угол наклона напластования к горизонту.

Из формулы (5), отражающей общий случай работы анкерной заделки, легко получить предыдущую (4) как частный случай для горизонтальной поверхности ($\theta = 0$) и вертикального направления анкера ($\beta = 0$).

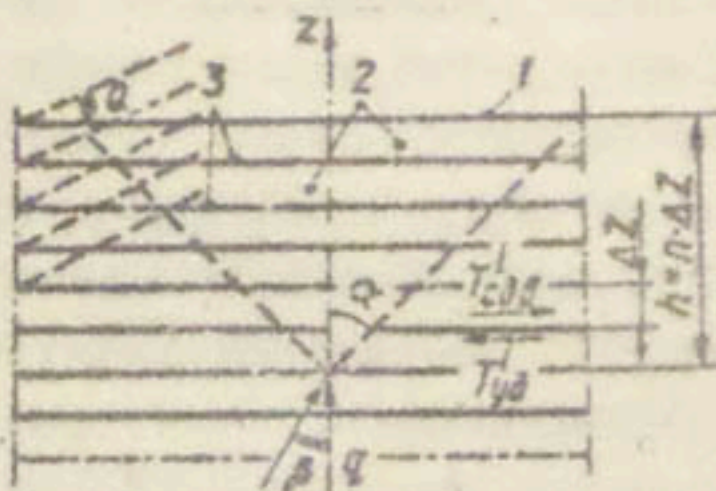


Рис. 5. Схема расчета скального массива под действием натяжения анкера:
1 — поверхность здоровой скальной толщи; 2 — пласты горных пород; 3 — трещины напластования.

Как правило, анкеры, располагаясь вдоль оси плотины, подпорной стенки или анкерной штольни, представляют собой линейную нагрузку, на которую распространяются полученные выше решения. Однако в отдельных случаях может встретиться одиночная анкерная заделка с натяжением $P = q$.

Для получения этого решения используем принцип, предложенный доктором технических наук А.А. Лугой при расчете свай [6]. По аналогии с этим при натяжении анкера $P = q$ в массиве возникает суммарная сдвигающая сила, приблизительно равная $\sum T_{сдв}$ для группы анкеров с интенсивностью

нагрузки q . Поскольку в данном случае поверхность выпора представлена в виде конуса, полученного вращением образующей вокруг оси анкера, удерживающая сила для каждого пласта собирается с площади, а не с полосы, как в предыдущем решении. Поэтому суммарная удерживающая сила в этом случае должна быть в π раз больше. Тогда необходимую глубину заделки одиночного анкера можно найти по формуле:

$$h_p = \sqrt{\frac{1}{\pi}} \cdot h_q = 0,565 h_q, \quad (6)$$

где h_p — необходимая глубина заделки одиночного анкера;
 h_q — необходимая глубина заделки группы анкеров согласно формуле (4) или (5).

В практических расчетах в формулы (4), (5) и (6) следует вводить коэффициент запаса, что должно обеспечить устойчивую работу массива в попредельной стадии.

Следует указать на недопустимость применения приведенных выше формул для тех случаев, когда вес захватываемой анкером скальной породы не создает нормальных сжимающих напряжений по пластовым трещинам (анкерование сводов подземных выработок).

Глубина заделки в монолитной скальной толще

В тех редких случаях строительной практики, когда основание сооружения представлено монолитными породами (например толща мелов), расчет необходимой глубины заделки анкера должен производиться с учетом возникновения под действием натяжения анкера по определенным площадкам максимальных скалывающих напряжений.

Поскольку величина сцепления в монолитных скальных породах имеет очень высокое значение, весом породы в объеме выпора можно пренебречь.

Для определения напряжений, вызывающих срез породы по поверхности разрушения, воспользуемся зависимостью теории упругости в полярных координатах для нагрузки, приложенной в упругом пространстве при плоской задаче [5].

$$\tau_{r\alpha}^P = \frac{1-\mu}{4\pi} \cdot \frac{P \sin(\alpha + \beta) \cdot 1}{r}, \quad (7)$$

где μ — коэффициент Пуассона породы;
 P — натяжение анкера;
 α — угол наклона образующей поверхности вырыва к направлению анкера;
 β — угол между осью анкера и нормалью к поверхности основания;
 r — расстояние от точки приложения нагрузки до рассматриваемой элементарной площадки.

Найдем суммарную силу сдвига-среза, действующую по боковой поверхности вырываемого объема породы:

$$\begin{aligned} T_{\text{выр}} &= \int_0^r \tau_{r\alpha}^P 2\pi r \sin\alpha dr = \int_0^r \frac{1-\mu}{4\pi} \cdot \frac{P \cdot \sin(\alpha + \beta) 2\pi r \sin\alpha}{r} dr = \\ &= \frac{1-\mu}{2} \cdot P r \sin(\alpha + \beta) \sin\alpha. \end{aligned}$$

Аналогично определим суммарную удерживающую силу, действующую по вырываемой поверхности и обусловленную структурным сцеплением породы:

$$T_{\text{уд}} = \int_0^r C 2\pi r \sin\alpha dr = \pi C r^2 \sin\alpha.$$

Подставив полученные выражения в уравнение предельного равновесия и заменив r на h , найдем значение последнего:

$$h = K_3 \frac{P(1-\mu) \cos\alpha \sin(\alpha + \beta)}{6,28 C}, \quad (8)$$

где K_3 — коэффициент запаса.

Исследуем полученное выражение как функцию угла α и определим направление наиболее напряженной поверхности в породе, которая является поверхностью разрушения. Для этого представим формулу (8) в следующем виде:

$$h = P \cos \alpha \sin(\alpha + \beta),$$

где

$$P = \frac{\rho(1-\mu)}{6,28C}; \quad \beta = 0.$$

Возьмем первую производную полученной формулы по α и, приравняв ее к нулю, получим:

$$h' = (P \cos \alpha \sin \alpha) d\alpha = P \cos 2\alpha = 0.$$

Поскольку P не равно нулю, становится справедливым следующее равенство:

$$\cos 2\alpha = 0 \rightarrow \alpha = 45^\circ.$$

Таким образом, выпор породы в монолитной среде происходит под углом $\alpha = 45^\circ$.

Исследование выражения (8) как функции угла β показывает, что наибольшая несущая способность основания при данной глубине заделки соответствует значению $\beta = 0$, т.е. расположению анкера нормально к поверхности.

В отличие от ранее известных методов расчета для монолитных сред (Л.Н.Джигоев, А.П.Тимофеев, А.А.Борисов и т.д.), авторы которых сопоставляют силу натяжения анкера с сопротивлением скалыванию по наперед заданной поверхности, зависимость (8), выведенная на основании решений теории упругости, исходя из сопоставления максимальных скалывающих и удерживающих сил, обусловленных напряженным состоянием массива под действием натяжения анкера, позволяет производить расчет точными методами.

Вместе с тем последняя зависимость может быть использована как приближенная для расчета выпора скальной толщи, находящейся в предельном состоянии.

Как указывалось выше, сопротивляемость трещиноватого скального массива действию нагрузки в предельной стадии связана с сопротивлением выворачиванию блоков из своих "гнезд" и их взаимным зацеплением. Поэтому, если это сопротивление зацепления привести условно к сцеплению, то открывается возможность производить расчет заделок в трещиноватой скальной толще с помощью формулы (8) применительно к предельной стадии.

В ы в о д ы

1. При анкеровании бетонных подпорных сооружений, особенно в практике сейсмостойкого строительства, предпочтение следует отдавать предварительно напряженным анкерам.

2. Максимальное удерживающее усилие от натяжения анкера достигается при ориентации его под углом φ к расчетной плоскости скольжения.

3. Основания ответственных гидротехнических сооружений должны работать в допредельной зоне, в связи с чем при определении необходимой глубины заделки для трещиноватых оснований следует пользоваться формулой (4) или (5).

Для обоснования глубины заделки в монолитных средах служит формула (8).

Применение формулы (8) допустимо для оценки предельной сопротивляемости трещиноватой скальной толщ в запредельной зоне.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. П.А.Евдокимов, Р.А.Ширяев. Некоторые закономерности сопротивления сдвигу бетонных подпорных сооружений, возводимых на скальных основаниях. Материалы конференции. ВНИИГ, Л., 1967.
2. В.Г.Дианов. Укрепление скальных массивов в районе сооружения гидроузлов (на примере Токтогульской ГЭС). "Энергетическое строительство", 1968, № 3.
3. Н.Н.Маслов. Прикладная механика грунтов. М., Машстройиздат, 1949.
4. Международный симпозиум по механике скальных пород в Мадриде. Экспресс-информация ВИНТИ. Гидроэнергетика, М., 1969, № 20, 22.
5. С.П.Тимошенко. Теория упругости. М., ОНТИ, 1937.
6. Основания и фундаменты. Под ред. Н.А.Цытовича. М.-Л., "Энергия", 1959.

7. Н.Н.Маслов, В.Г.Дианов. О прочности заделок в скальной толще анкеров с большим усилием натяжения.
"Энергетическое строительство", 1970, № 10.
8. В.Г.Дианов. Модельные исследования анкера в скальной толще. ТашПИ, юбилейный сб. трудов строительного факультета, 1970.
9. В.Г.Дианов. К вопросу механической модели скального основания. Материалы XXUP научной конференции МАДИ, М., 1969.

Ю.А.ИБРАГИМОВ

МОНТАЖ МЕХАНИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ
И МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ КАЗАЛИНСКОГО
ГИДРОУЗЛА НА СЫРДАРЬЕ

Казалинский гидроузел^{х)} – сложное гидротехническое сооружение. Его назначение – орошение уже освоенных и новых земель в Казахской ССР.

Гидроузел представляет собой пятипролетное сооружение длиной по 16 м каждый и высотой стенки 15 м. Два левых и два правых пролета образуют левобережный и правобережный водоприемники для подачи воды в каналы. Средний пролет – шлюз-рыбоход служит для транспортирования рыбы из нижнего бьефа в верхний. Водоприемники оборудованы промывными галереями для сброса накопившихся перед гидроузлом наносов.

Для перекрытия пролетов плотины предусмотрены две линии заграждений – ремонтная и рабочая. Всего запроектировано семь плоских колесных затворов размерами 16,0–5,0–4,5 м, с клапанами и частичным индукционным обогревом, причем пять из них являются рабочими, а два – аварийно-ремонтными. Во время нормальной эксплуатации гидроузла аварийно-ремонтные затворы находятся в затворохранилище.

х) Генеральный проектировщик – институт «Средазгипроводхлопок». Механическое оборудование гидроузла проектировали отдел металлоконструкций института и Ленгидросталь (ЛПКК).

В среднем пролете, на нижней голове шлюза-рыбохода, запроектирован глоский колесный затвор размером 16,0-7,0 м.

Ихтиологические наблюдения за транспортируемой рыбой производятся при помощи рыбоучетного контейнера, который устанавливается в специальных пазах верхнего шлюза рыбохода. Маневрирование всеми рабочими затворами производится электрическими цепными механизмами грузоподъемностью 2 x 40 т.

Подъем и опускание аварийно-ремонтных затворов производится при помощи козлового крана грузоподъемностью 2 x 40 т. Кран обслуживает обе линии заграждений, поскольку имеется возможность переводить его с продольного пути (колея 7,5 м) на поперечный (колея 19,3 м).

Промывные галереи перекрываются четырьмя плоскими скользящими затворами размером 16,0-1,2-7,5 м. Маневрирование затворами осуществляется двухвинтовыми электрическими подъемными механизмами грузоподъемностью 100 т.

Для предохранения каналов от засорения подходы к ним перекрыты мусорозащитными запанями.

Со стороны нижнего бьефа гидроузла за рабочими затворами водоприемников установлены электрорыбозаградители для направления рыбы в шлюз-рыбоход.

Монтаж всего перечисленного оборудования и металлоконструкций был осуществлен Токтогульским монтажным участком Всесоюзного треста "Гидромонтаж".

Установка закладных частей при строительстве гидротехнических сооружений — серьезная и большая по объему работа, требующая высокой точности и наиболее тесно переплетающаяся со строительными (бетонными) работами.

Монтаж закладных частей производился штрабным способом. Штрабы предварительно были привязаны к монтажным осям, которые закреплялись на пороге сооружения специальными реперами. Марки закладных частей сложной конфигурации, приспособленные для индукционного обогрева, предварительно укрупнялись до 15 м длиной на монтажной площадке. Закладные части горизонтальных и вертикальных марок устанавливались с помощью строительных кранов грузоподъемностью 3 т.

Раскреплялись марки к выпускам арматуры. Там, где выпусков арматуры было недостаточно, забуривались шпур диаметром 42 мм, в которых в дальнейшем устанавливались

саморасклинивающиеся анкеры диаметром 38 мм. Такие анкеры выдерживают усилие на выдергивание до 10 т и до этого впервые в практике отдела были опробованы при монтаже облицовки на Каттакурганском водохранилище.

Правильность установки закладных частей выверялась при помощи геодезических инструментов и отвесов до 3 кг, опущенных в сосуд с маслом для предотвращения их раскачивания ветром. Размеры пролетов между пазовыми стойками проверялись металлической рулеткой. Имевшиеся отклонения не превышали допускаемых.

Приемка установленных закладных частей производилась самым тщательным образом с составлением подробных формуляров на каждый паз, после чего давалось разрешение на укладку штрабного бетона. Штрабы бетонировались блоками высотой до 2 м при помощи передвижной металлической опалубки, при этом принимались все меры против возможного смещения закладных частей.

Для монтажа всего оборудования гидроузла был использован козловой кран грузоподъемностью 2х40 т. Монтаж же самого крана отличался от многих ему подобных.

Кран должен был быть установлен на проектной отметке 80,00, что выше окружающей отметки земли на 8 м. Собрать кран на такой высоте не представлялось возможным, так как на строительстве не было соответствующих эксплуатационных кранов. Вес отдельных марок крана достигал 11 т. После ряда проработанных вариантов было принято решение собрать козловой кран внизу при помощи крана на пневмоходу грузоподъемностью 16 т и длиной стрелы 20 м.

Подъем козлового крана общим весом 85 т на проектную отметку был произведен методом накатки. Для этого была сделана насыпь с уклоном 1:10 и соответственно уплотнена. По уклону на шпалах укладывались рельсы с колеей 7,5 м. В массиве бетона, на проектной отметке установки козлового крана, был закреплен блок, через который переброшен трос. Один конец троса прикреплялся к крану, другой — к бульдозеру. При движении бульдозера в одну сторону кран двигался в противоположную и накатывался на насыпь на своих ходовых тележках.

Козловой кран плавно, без рывков и каких-либо деформаций поднялся по насыпи на проектную отметку и затем —

на горизонтально уложенные подкрановые пути затвороохранилища.

После монтажа крана насыпь была срезана, и на этой открытой площадке производился монтаж рабочих и ремонтных плоских колесных затворов размером 16,0-5,0-4,5 м и 16,0-7,0 м.

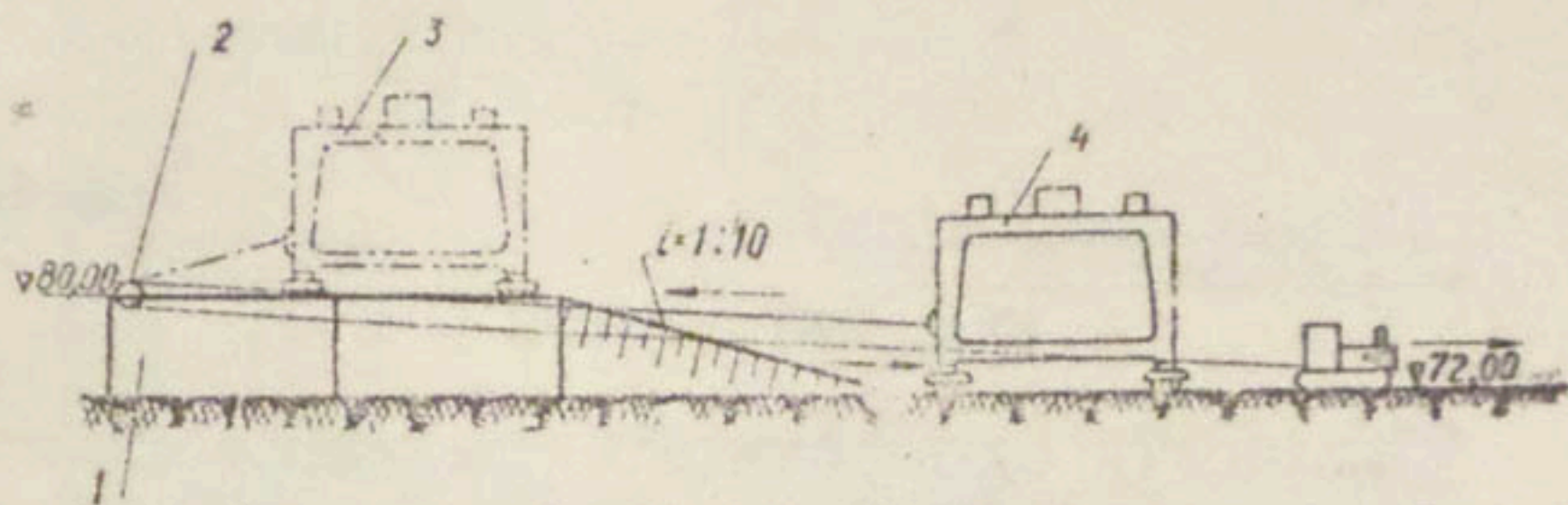


Схема накатки крана по откосу:

1 - затвороохранилище; 2 - блок; 3 - место установки крана; 4 - место сборки крана.

Производить монтаж затворов в затвороохранилище, как предусматривалось в техническом проекте, было нецелесообразно из-за тесноты и узкого фронта работ для кранов.

В затвороохранилище и на открытой площадке были уложены рельсы. На рельсах из отдельных марок в вертикальном положении, что является не совсем обычным, но весьма удобным, при помощи того же крана грузоподъемностью 16 т собирали затвор, устанавливалось уплотнение и тем же методом накатки затвор заводили в затвороохранилище, над которым уже стоял козловой кран грузоподъемностью 80 т. Он поднимал затворы один за другим и развозил их по пролетам гидроузла. Вес одного полностью смонтированного затвора составлял 47 т.

Вслед за установкой затворов при помощи козлового крана вели монтаж подъемных механизмов, включая и механизмы затворов промывных галерей.

Изложенный метод монтажа механического оборудования (закладных частей, козлового крана, затворов и подъемных механизмов) Казалинского гидроузла, исключая имевшиеся недостатки, может быть с успехом использован на строительстве других гидротехнических сооружений.

Ю.А. ИБРАГИМОВ

ИЗ ОПЫТА СКОРОСТНОГО МОНТАЖА МЕХАНИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ И МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ ВОДОВЫПУСКА КАТТАКУРГАНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Каттакурганское водохранилище емкостью 662 млн. м³ было построено и сдано в эксплуатацию в 1951 г. Водовыпуск его состоял из башни с затворами, водобойного колодца и трехочковой отводящей трубы. Максимальный расход водовыпуска составлял 125 м³/сек. В башню можно было попасть с гребня плотины по служебному мостику на сварных рамных опорах.

При эксплуатации водохранилища выявился ряд недостатков работы водовыпуска. Башня водовыпуска и служебный мостик длиной 100 м оказались легко уязвимыми для льдин. Двусторонний вход в камере затворов, выполненный из условия гашения избыточной энергии, вызывал вибрацию и удары, которые сказывались на состоянии башни. Кроме того, с течением времени пропускная способность водовыпуска стала явно недостаточной.

В связи с этим в 1960 г. институтом "Средазгипроводхлос" был разработан проект увеличения емкости Каттакурганского водохранилища до 900 млн. м³ с реконструкцией башни и увеличением расхода водовыпуска до 140 м³/сек.

По проекту реконструкции в 1965 г. башня была срезана и ликвидирован колодец в старой камере затворов, постро-

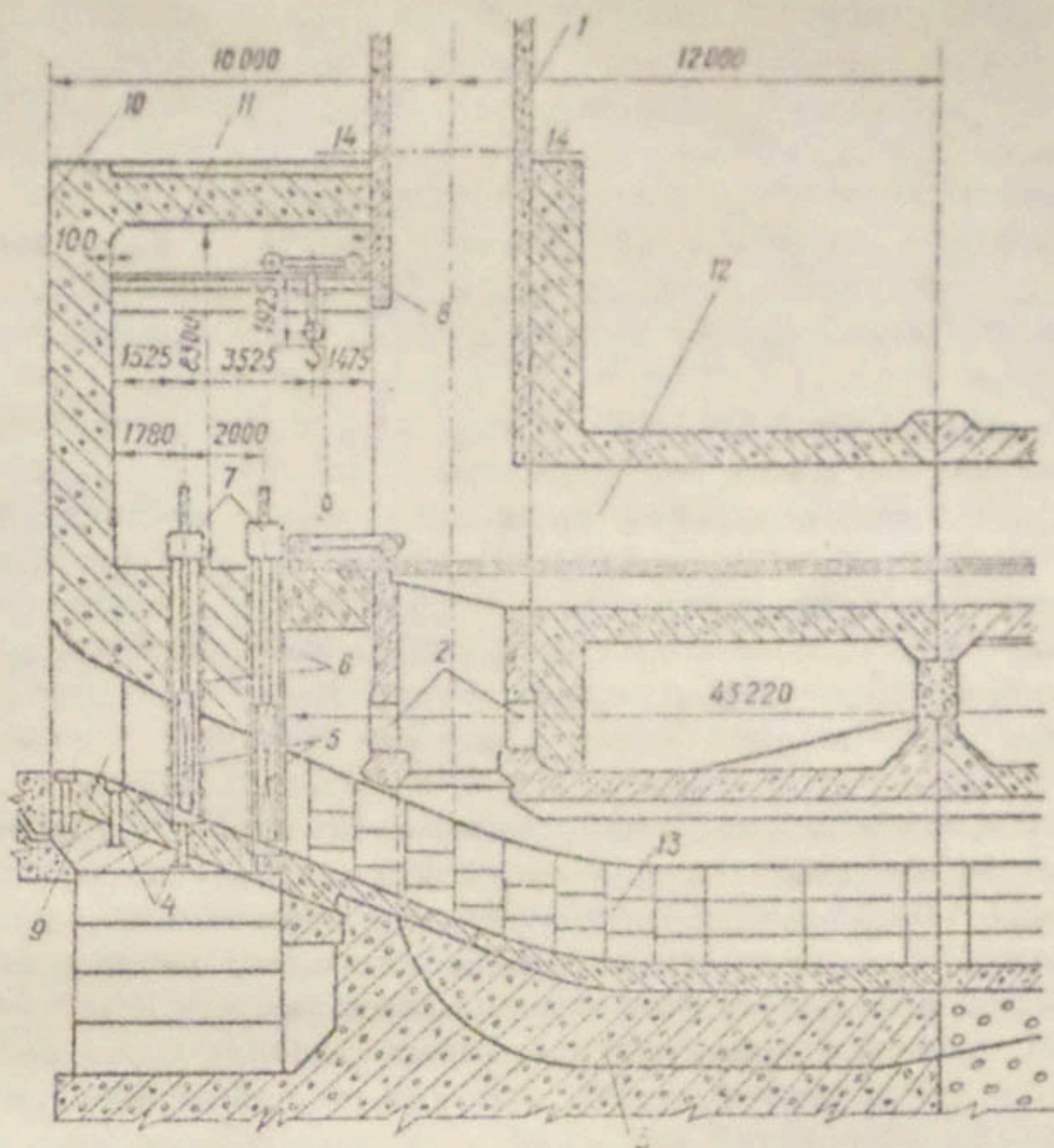


Рис. 1. Водовыпуск Каттакурганского водохранилища:
 1- существующая башня; 2- отверстия двухстороннего входа; 3- водобойный колодец; 4- опорные столики; 5- аварийный и рабочий затворы; 6- кожухи аварийного и рабочего затворов; 7- винтовые подьемники грузоподъемностью 75т; 8- край-балка грузоподъемностью 5т; 9- входной оголовок; 10- опалубка здания башни; 11- перекрытие; 12- служебная галерея; 13- облицовка отводящих труб; 14- место срезки существующей башни.

ей новый оголовок с фронтальным водозабором и над ним — новая камера затворов размером 6,5 x 10,2 x 8,3 м.

В камере затворов расположены кожухи аварийных и ремонтных затворов с плоскими затворами размером 1,8x2,5 м и напором 23,5 м, подъемными механизмами к ним грузоподъемностью 75 т и край-балки грузоподъемностью 5 т для монтажа всего оборудования. Входной оголовок, межзатворная камера и отводящие трубы на длине 78 м облицованы металлом. Подход к новой камере затворов осуществлен по служебной галерее (рис.1).

Проект механического оборудования и металлоконструкций водовыпуска был составлен отделом металлоконструкций института "Средазгипроводхлопок", а изготовление осуществлено Ташкентским ремонтно-экскаваторным заводом Минводхоза УзССР.

Реконструкцию водовыпуска необходимо было произвести в сжатые сроки (2,5-3 месяца, период возможного опорожнения водохранилища) с тем, чтобы после реконструкции снова заполнить чашу водохранилища водой для поливов будущего года.

Учитывая вышесказанные задачи, для возведения нового водовыпуска в кратчайшие сроки было запроектировано механическое оборудование с максимально возможным укрупнением марок и применение металлической опалубки здания башни, которая в будущем являлась бы облицовкой.

Для проверки принятых проектных решений была построена модель всего оборудования, которая во время изготовления металлоконструкций находилась на заводе-изготовителе, а в период монтажа — непосредственно на строительстве.

В процессе изготовления модели выявилась возможность укрупнения марок и заводу-изготовителю были даны соответствующие рекомендации для их выполнения.

Монтаж оборудования и металлоконструкций был проведен в две очереди:

первая очередь — монтаж оборудования башни и ее бетонирование;

вторая очередь — (под прикрытием аварийных затворов) монтаж облицовки отводящей трехочковой трубы.

Работы первой очереди начались с подготовки основания для установки оборудования и вырубки отверстий в фундаментном массиве старой башни для фронтального водоза-

бора. Вырубка отверстий, которую по проекту организации работ предполагалось производить отбойными молотками, из-за отсутствия времени производилась взрывным способом на выброс, малыми зарядами.

Монтаж оборудования производился гусеничным электрическим краном Э-2005 грузоподъемностью 20 т и длиной стрелы 20 м.

Первоначально устанавливались укрупненные марки весом 16 т каждая на заранее подготовленные опорные столики (рис.2). Укрупненная марка состояла из кожухов аварийного и рабочего затворов и марок межзатворного пространства. Затем устанавливались марки входного оголовка — две правые и две левые (рис.3), после чего марки входного оголовка и кожухи аварийных затворов были состыкованы при помощи марок переходного участка. Выверка установленных марок производилась при помощи геодезических инструментов. Марки закладных частей разваривали между собой, приваривали к опорным столикам и к выпускам существующей башни. Частичная контрольная сборка марок на специальном стенде, выполненная заводом-изготовителем, и отработка процесса монтажа на модели позволили провести монтаж за 7 дней вместо предусмотренных проектом организации работ 15 дней. Затем были установлены заранее подготовленные армофермы.

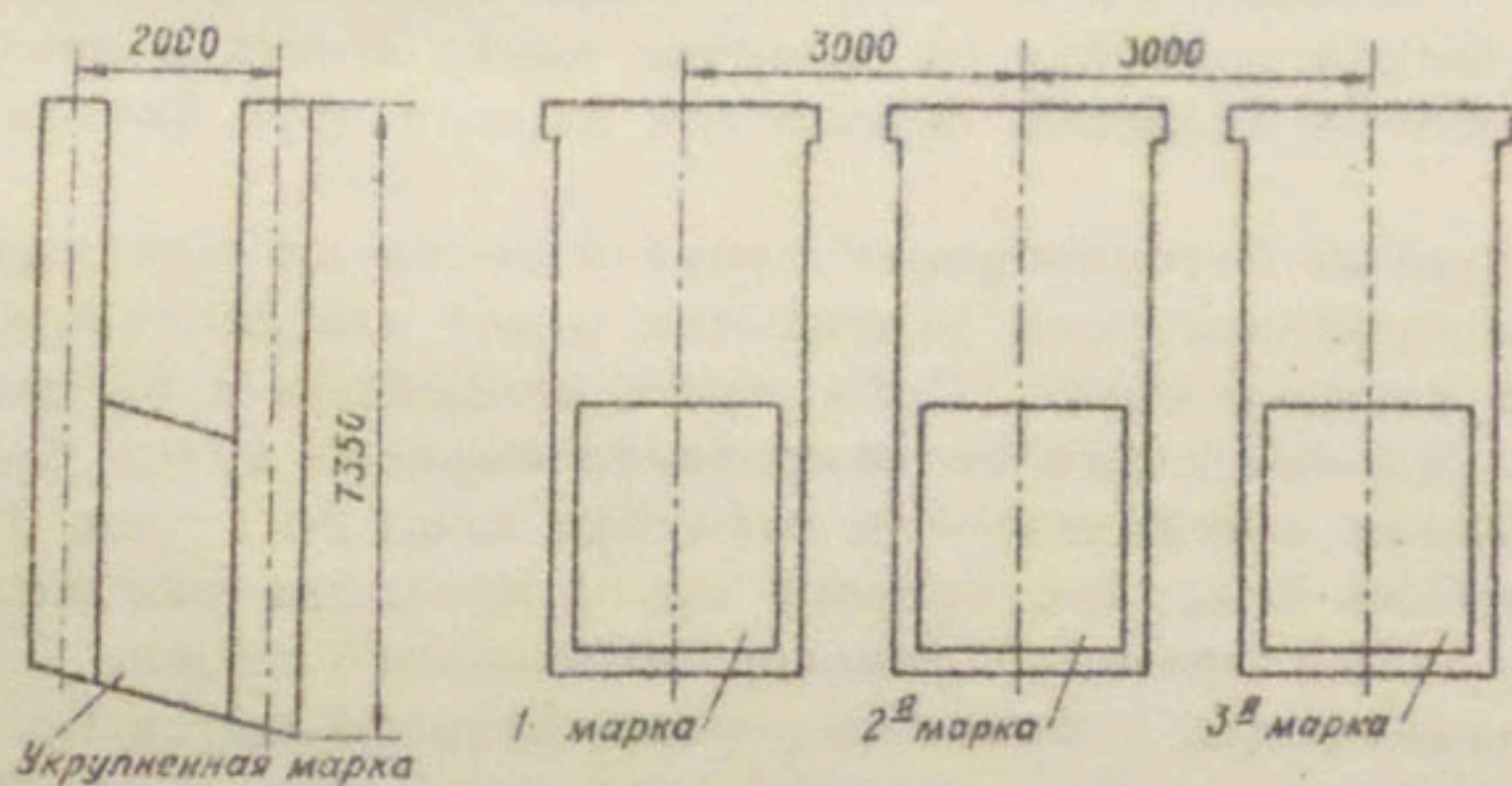


Рис.2. Установка укрупненных марок весом 16 т.

Вслед за установкой армоферм производился монтаж металлической опалубки здания башни. Для сокращения сроков монтажа металлической опалубки рядом со зданием башни была организована монтажная площадка, оборудованная специальным стендом для укрупнения марок опалубки размером 1,8 x 2,6 м. Гусеничный крап с одной установки разворотом стрелы доставлял укрупненные марки и устанавливал их на место.

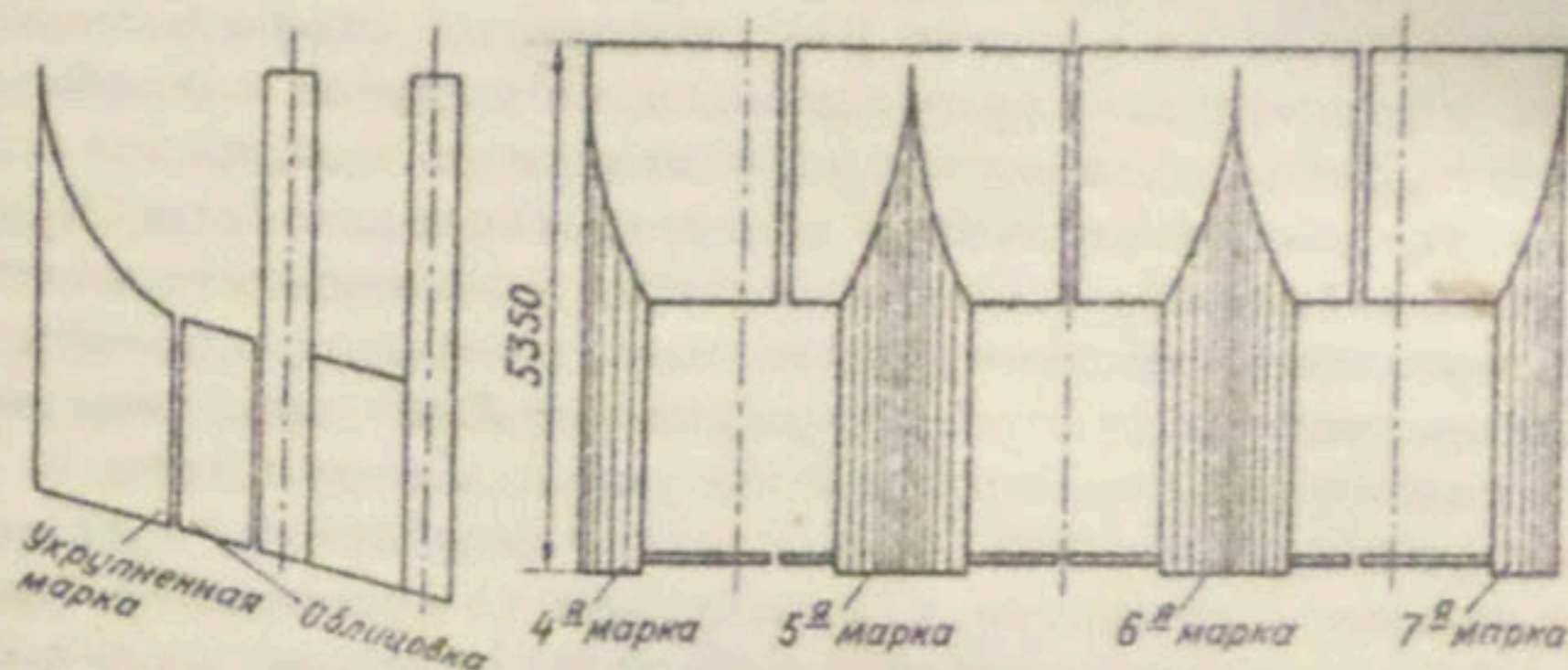


Рис. 3. Установка укрупненных марок входного оголовка и облицовки.

Смонтированные и раскрепленные таким образом марки металлической опалубки до отметки верха кожухов аварийных и рабочих затворов образовали первый ярус бетонирования.

В период бетонирования первого яруса на монтажной площадке производилось укрупнение марок металлической опалубки второго яруса. Собирались аварийные и рабочие затворы. По окончании бетонирования первого яруса был начат монтаж металлической опалубки второго яруса. Процесс монтажа опалубки второго яруса проходил так же, как первого, и был закончен раньше намеченного срока.

Одновременно с бетонированием второго яруса проводился монтаж аварийных затворов во всех трех пролетах водовыпуска, герметических крышек закладных частей, винтовых подъемных механизмов грузоподъемностью 75 т и установка крап-балки грузоподъемностью 5 т, так как пода-

ча бетона осуществлялась при помощи дополнительных строительных кранов. Вслед за бетонированием второго яруса были смонтированы марки потолочного перекрытия, которые укладывались на каркас, опиравшийся на 12 металлических колонн, временно установленных в здании башни.

На собранное металлическое перекрытие были уложены армофермы, которые затем бетонировались.

Всего было смонтировано 300 т металлоконструкций и оборудования, около 15 т арматуры и уложено до 1500 м³ бетона. Бетонированием перекрытия были завершены работы первой очереди реконструкции водовыпуска, что позволило наполнить чашу водохранилища водой и под прикрытием аварийных затворов производить работы по монтажу облицовки отводящей трехочковой трубы.

Скоростной метод монтажа оборудования при реконструкции водовыпуска действующего Каттакурганского водохранилища позволил:

Исключить процесс распалубки здания башни после бетонирования: металлическая опалубка, примененная вместо деревянной, является одновременно ее облицовкой, предохраняющей в настоящее время подводное здание башни от фильтрации. Сэкономленное время было использовано для наполнения чаши водохранилища водой.

Закончить работы за 60 дней вместо предполагаемых 75-90 дней за счет укрупнения марок.

Г.А. ГРЕЧУШКИН

МЕТОДИКА РАСЧЕТОВ ПЕРЕХОДНЫХ
РЕЖИМОВ ОСЕВЫХ ПОВОРОТНО -
ЛОПАСТНЫХ НАСОСОВСущность переходных процессов и цель
расчетов

Под переходными режимами насосных агрегатов понимают режимы работы: при пуске - до набора электродвигателем нормальной синхронной скорости, при остановке - с момента отключения питания электродвигателя до полной остановки ротора агрегата. Осевые поворотнолопастные насосы, как правило, не имеют запорных органов на напорном трубопроводе. Пуск их осуществляется на опорожненный трубопровод при отсутствии первоначального противодавления. После включения электродвигателя в сеть, по мере увеличения скорости его вращения, насос подает воду в напорный трубопровод, постепенно наполняя его и увеличивая противодавление. Максимальной величины при пуске агрегата противодавление достигает на подсинхронной скорости электродвигателя. Если превышение асинхронного момента электродвигателя над моментом сопротивления, созданным насосом, достаточное, электродвигатель втягивается в синхронизм и процесс пуска заканчивается.

При отключении питания электродвигателя агрегат некоторое время продолжает по инерции вращаться в том же

направлении с уменьшающейся скоростью. Вначале вода по-прежнему поступает от насоса в напорный трубопровод, но когда напор, развиваемый насосом, становится меньше давления столба воды в трубопроводе, начинается обратный ток воды через насос. Под действием столба воды в трубопроводе агрегат снижает скорость до нуля, а затем начинает вращаться в обратном направлении с возрастающей скоростью. Если не прекращен доступ воды в напорный трубопровод из отводящего канала, агрегат при постоянном геометрическом напоре разгоняется до максимальной скорости, соответствующей работе насоса в режиме реактивной турбины в холостом ходу. В дальнейшем он продолжает вращаться с постоянной скоростью и пропускает постоянный расход в нижний бьеф станции. Если же доступ воды в напорный трубопровод из отводящего канала прекращен, то агрегат в условиях опорожняющегося трубопровода вначале разгоняется до некоторой скорости, а затем переходит в режим самоторможения. Максимальная скорость агрегата в этом случае меньшая, чем в первом. После полного опорожнения трубопровода агрегат некоторое время продолжает вращаться по инерции, потом за счет трения в подшипниках и сальниках, а также за счет трения рабочего колеса о воду останавливается.

Расчеты переходных режимов насосных агрегатов вообще и осевых поворотнолопастных в частности имеют большое значение при проектировании насосных станций. Они позволяют с достаточной для практических целей точностью:

- а) установить возможность и время пуска насосного агрегата для конкретной схемы напорных трубопроводов и электроснабжения станции;
- б) определить изменение во времени скорости вращения ротора агрегата и расхода воды через насос при обратном вращении;
- в) определить количественные характеристики при искусственном торможении насосных агрегатов;
- г) установить возможность "самозапуска", т.е. втягивания в синхронизм электродвигателя, агрегирующего насос, при кратковременном исчезновении питания;
- д) моделировать обратный ток воды в трубопроводе насосного агрегата при лабораторных исследованиях сифонных

водовыпускных сооружений и систем срыва вакуума на них.

Методика расчетов. Основные расчетные зависимости

В 1963 г. в Средазгипроводхлопке была предложена методика расчета переходных процессов при пуске и остановке осевого поворотнолопастного насоса с использованием его полной энергетической характеристики.

Методика была рассмотрена и одобрена Всесоюзным научно-исследовательским институтом гидромашиностроения (ВНИИГИДРОМАШ). Она используется в практике проектирования насосных станций в Средазгипроводхлопке и ряде других проектных организаций. Отдельные замеры на действующих насосных станциях показывают довольно близкое совпадение расчетных и фактических величин времени пуска насосных агрегатов и максимальной скорости обратного вращения.

Расчет переходных процессов как при пуске, так и при остановке ведется на основании уравнения движения ротора агрегата

$$\text{где} \quad M_э - M_r - M_T - I \frac{d\omega}{dt} = 0, \quad (1)$$

$M_э$ — электромагнитный момент двигателя;

M_r — гидравлический момент на валу насоса;

M_T — момент сил трения;

I — момент инерции вращающихся частей агрегата относительно оси вала;

$\frac{d\omega}{dt}$ — угловое ускорение ротора.

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{\pi}{30} \cdot \frac{dn}{dt}. \quad (2)$$

Момент инерции вращающихся частей агрегата выражается через маховые моменты ротора электродвигателя и насоса

$$I = \frac{GD_э^2 + GD_н^2}{4g}, \quad (3)$$

где g — ускорение силы тяжести.

При расчете пуска M_z равен асинхронному моменту электродвигателя при пуске с учетом падения напряжения на шинах двигателя. Зависимость среднего асинхронного момента электродвигателя от скольжения с учетом остаточного напряжения на шинах принимается в расчетах по данным завода-изготовителя.

При расчете остановки агрегата величина M_z незначительна и ею можно пренебречь, тем более, что M_z в этом случае способствует торможению насосного агрегата и несколько снижает максимальную скорость обратного вращения.

M_r для насоса и электродвигателя принимается на основании экспериментальных данных.

Для определения M_r в расчетах используются полные энергетические характеристики осевых насосов в координатах $\bar{Q}_H$ и $\bar{n}_H$, снятые ВНИИГИДРОМАШем.

Уравнение (1) движения ротора агрегата решается в конечных разностях для элементарного промежутка времени Δt , величиной которого задаются в расчете. В промежутке времени Δt движение агрегата предполагается установившимся.

Для пересчета параметров насоса в координаты $\bar{Q}_H$ и $\bar{n}_H$ полной энергетической характеристики используются зависимости:

$$\bar{n}_H = \frac{n D}{\sqrt{g [H]}}, \quad (4)$$

$$\bar{Q}_H = \frac{Q}{D^2 \sqrt{g [H]}}, \quad (5)$$

где n — число оборотов насоса, об/сек;
 D — диаметр рабочего колеса по сфере, м;
 Q — расход насоса, м³/сек;
 H — напор, м.

Для обратного пересчета используются зависимости:

$$n = \frac{\bar{n}_H \sqrt{g [H]}}{D}, \quad (4')$$

$$Q = \bar{Q}_H \cdot D^2 \sqrt{g [H]}, \quad (5)$$

$$M_r = \bar{M}_H \cdot \gamma [H] D^3, \quad (6)$$

где $\bar{M}_H$ – приведенная величина гидравлического момента на валу насоса из полной энергетической характеристики;

γ – плотность жидкости, кг/м³.

Полный напор H определяется по формуле:

$$H = H_r \pm h_{ин} \pm h_w, \quad (7)$$

где H_r – геометрический напор, определяемый высотой столба воды в напорном трубопроводе относительно уровня нижнего бьефа;

$h_{ин}$ – инерциальная составляющая напора;

h_w – потери напора на преодоление гидравлических сопротивлений движению воды в трубопроводе.

$$h_{ин} = \frac{1}{g} \int_L \frac{\partial V}{\partial t} dL, \quad (8)$$

или в конечных разностях

$$h_{ин} = \frac{1}{g} L_i \frac{\Delta V}{\Delta t}, \quad (8')$$

где ΔV – изменение скорости движения воды в трубопроводе;

L_i – длина части трубопровода, заполненной водой.

Геометрический напор H_r в расчетах – величина переменная.

$$H_{r_{кон}} = H_{r_{нач}} \pm \Delta H, \quad (9)$$

где $+\Delta H$ – наполнение трубопровода в расчетах пуска за время Δt ;

$-\Delta H$ – опорожнение трубопровода в расчетах выбега агрегата за время Δt ;

$H_{r_{кон}}$ и $H_{r_{нач}}$ – геометрический напор соответственно в конце и

в начале расчетного промежутка времени Δt .

$$H = \frac{(Q_{нач} + Q_{кон}) \Delta t \sin \alpha}{0,785 D_{тр}^2} , \quad (10)$$

где $Q_{нач}$ и $Q_{кон}$ — расход насоса в начале и в конце расчетного промежутка времени;

$D_{тр}$ — внутренний диаметр напорного трубопровода;
 α — угол наклона оси трубопровода к горизонту.

В расчетах переходных режимов время разворота агрегата до подсинхронной скорости (при расчете пуска) или время выбега агрегата (при расчете остановки) разбивается на ряд промежутков продолжительностью Δt . В начале первого промежутка при расчете пуска $Q = 0$; $n = 0$; $H = 0$; при расчете выбега $n = n_0$ (нормальная скорость при работе агрегата), Q и H соответствуют рабочему режиму насоса до выключения питания электродвигателя.

Для каждого расчетного промежутка времени решение уравнения движения ротора агрегата производится методом подбора. Имея Q , n и H в начале расчетного промежутка, задаются Q и n или n и ΔH_r в конце промежутка, а затем, используя приведенные выше зависимости и полную энергетическую характеристику насоса, определяют фактические Q и n в конце периода, сравнивая их с заданными.

При значительном расхождении этих величин повторяют цикл расчетов с новыми значениями Q и n .

Пример расчета пуска насоса Оп10-260 с электродвигателем ВДС 375/130-24 для головной насосной станции Джизакского магистрального канала

Насос Оп10-260 агрегируется с вертикальным синхронным электродвигателем ВДС 375/130-24 мощностью 12,5 мвт, напряжением 10 кв и скоростью 250 об/мин и подает воду в индивидуальный стальной трубопровод условным проходом 3,6 м, длиной около 100 м, уложенный с уклоном 1:5. Момент ротора электродвигателя 330 тм², ротора насоса — 20 тм². Расчет ведется при угле разворота лопастей

рабочего колеса насоса -3° .

Основное уравнение движения ротора после подстановки значений $\mathcal{J}$ и преобразования в конечных разностях примет вид:

$$M_{ac.d}^{cp} - M_r^{cp} - M_T^{cp} = 932 \frac{\Delta n}{\Delta t}, \quad (1')$$

Выражения (4), (5) и (6) при подстановке значений g , D и γ приобретают вид:

$$\bar{n}_H = 0,0138 \frac{n}{\sqrt{[H]}}, \quad (4')$$

$$\bar{Q}_H = \frac{Q}{21,15 \sqrt{[H]}}, \quad (5')$$

$$M = 17600 \bar{M}_H [H]. \quad (6')$$

Момент сил трения, согласно имеющимся в литературе ориентировочным данным, приняг $0,01 M_0$ при движении агрегата. По данным "Уралэлектротяжмаша", в состоянии покоя для двигателя $M_T^0 = 0,14 M_0$, для насоса — ориентировочно $M_T^H = 0,04 M_0$. Момент трения покоя переходит в момент трения движения примерно при изменении скольжения с 1 до 0,9.

Номинальный момент электродвигателя M_0 равен

$$M_0 = \frac{975 \cdot 12500}{250} = 48750 \text{ кгм}.$$

Инерциальная составляющая из выражения (8')

$$h_{ин} = \frac{0,05 (Q_{кон} - Q_{нач}) H_r}{\Delta t}. \quad (8'')$$

Изменение наполнения трубопровода из выражения (10)

$$\Delta H_r = \frac{(Q_{нач} + Q_{кон}) \Delta t}{52}. \quad (10')$$

Ход расчета процесса пуска. Расчет ведется в конечных разностях для выбранного промежутка времени Δt методом последовательного приближения:

1. В начале I периода

$$Q = 0; n = 0; H = 0.$$

2. Задаются Δn и ΔH_r за период.

3. Определяется $\bar{n}_H$ по формуле (4').

4. По полной энергетической характеристике насоса Оп10 вычисляют $\bar{Q}_H$ и $\bar{M}_H$.

5. По формулам (5') и (6') находят Q и M_r в конце периода.

6. По формуле $M_{сн} = M_r + M_t$ определяют момент сопротивления агрегата, а по графику $M_{ас.д} = f(S)$ - асинхронный момент двигателя при скольжении, полученном в конце периода.

7. Вычисляют средние за первый период асинхронный момент и момент сопротивления.

8. Из выражения (1') устанавливают приращение оборотов Δn .

9. Из выражения (10') находят приращение наполнения трубопровода за первый расчетный период.

10. Найденные величины Δn и ΔH_r сравнивают с заданными в начале расчета. Если расхождение их незначительное, цикл расчета для первого периода заканчивается. В противном случае расчет повторяют при новых значениях Δn и ΔH_r .

Расчеты для последующих периодов ведут в том же порядке. По мере заполнения трубопровода и увеличения расхода агрегата появляется необходимость учета инерциальной составляющей напора и потерь напора в системе. Определение этих величин в расчете ведется по заданному за период приращению наполнения трубопровода ΔH_r и ориентировочно прогнозируемому расходу агрегата в конце периода. Затем весь цикл расчета проводят для полного напора. Расчет пуска насоса приведен в табл. 1.

Пример расчета выбега насоса Ол5-110Э с
электродвигателем ВДС 215/24-14 для Алат-
ской насосной станции

Алатская насосная станция Амукаракульского канала оборудована семью осевыми поворотнолопастными насосами Ол5-110Э. Привод насосов осуществляется вертикальными синхронными электродвигателями ВДС 215/24-14 мощностью 800 кВт при напряжении 6 кв и скорости 428 об/мин. Маховой момент ротора электродвигателя, согласно каталожным данным, составляет $6,2 \text{ тм}^2$.

Каждый насос подает воду в металлический напорный трубопровод диаметром 2040 мм, длиной 37,4 м (от оси агрегата до оси гребня сифона), уложенный с уклоном 1:4.

При сорванном вакууме в сифоне максимальный геометрический напор над рабочим колесом насоса равен 8,07 м. Маховой момент вращающихся частей насоса Ол5-110Э относительно оси вала по приближенным подсчетам составит $0,4 \text{ тм}^2$. Диаметр рабочего колеса насоса — 1100 мм.

Расчет ведется для угла установки лопастей рабочего колеса — 6° при сорванном вакууме в сифоне.

Для облегчения расчета вводятся следующие упрощения:

1. M_3 , имеющий в обесточенном двигателе относительно небольшую величину и носящий тормозной характер, не учитывается. Это несколько завышает результирующий момент на валу агрегата и максимальную скорость обратного вращения.

2. Момент сил трения без специальных экспериментов определить точно невозможно, поэтому условно он принимается постоянным, не зависящим от скорости вращения ротора, и равным 1% от номинального момента электродвигателя согласно рекомендациям, содержащимся в литературных источниках. Принятое допущение не исказит результатов расчета, так как величина M_T мала в сравнении с M_{Γ} .

3. Не учитывается влияние гидравлического удара на изменение расчетных величин. Малая длина напорных трубопроводов на Алатской насосной станции, отсутствие резких переломов продольной оси трубопроводов, а также относительно плавное изменение скорости воды в трубопроводе за счет

пропуска ее через насос позволяют предположить, что величина колебаний давления незначительна и не отражается на результатах расчета.

4. Не учтена инерциальная составляющая напора при неустановившемся движении воды в трубопроводе. Это допущение несколько завышает результирующие моменты на валу агрегата и максимальную скорость обратного вращения.

Момент инерции вращающихся частей агрегата относительно оси вала, выраженный через маховые моменты ротора двигателя и насоса, составит

$$J = \frac{(6,2 + 0,4) \cdot 1000}{4 \times 9,81} = 168 \text{ кгм.сек}^2.$$

Подставив это значение в уравнение (1) и выразив ω через n , получим в конечных разностях

$$17,6 \frac{\Delta n}{\Delta t} = -(M_{\Gamma}^{\text{ср}} \pm M_{\text{Т}}^{\text{ср}}). \quad (1')$$

Заменяв D , γ и g в выражениях (4), (5) и (6) их значениями, получим:

$$\bar{n}_H = 0,00585 \frac{n}{\sqrt{[H]}} \quad (n \text{ — об/мин}), \quad (4')$$

$$\bar{Q}_H = 0,264 \frac{Q}{\sqrt{[H]}}, \quad (5')$$

$$\bar{M}_H = 0,000751 \frac{M_{\Gamma}}{[H]}. \quad (6')$$

Формулы для обратного пересчета:

$$n = 171 \cdot \bar{n}_H \sqrt{[H]}, \quad (4'')$$

$$Q = 3,79 \cdot \bar{Q}_H \sqrt{[H]}, \quad (5'')$$

$$M_{\Gamma} = 1330 \cdot \bar{M}_H [H]. \quad (6'')$$

Полный напор H определяется по формуле

$$H = H_r \pm h_w, \quad (7')$$

где $+h_w$ - потери напора в трубопроводе при прямом токе воды;

$-h_w$ - то же при обратном токе.

Потери напора подсчитываются по формуле

$$h_w = K Q_i^2, \quad (11)$$

$K = 0,0144$ - при прямом токе воды;

$K = 0,005$ - при сорванном вакууме и опорожняющемся трубопроводе.

При сорванном вакууме и постепенном опорожнении трубопровода

$$H_r = H_{r_{нач}} - \Delta H_r, \quad (8')$$

$$\Delta H_r = \frac{Q_i^{cp} \Delta t_i}{13,2}. \quad (10')$$

Номинальный момент, развиваемый электродвигателем, равен

$$M_o = \frac{975 \cdot 800}{428} = 1820 \text{ кГм.}$$

Момент сил трения равен

$$M_t = 0,01 \cdot M_o \approx 18 \text{ кГм.}$$

Ход расчета аналогичен описанному выше примеру расчета пуска агрегата. В начале первого расчетного периода $n = n_2 = 428$ об/мин, $Q = 2,76$ м³/сек, $H_r = 9,85$ м, что соответствует режиму работы насоса при незаряженном сифоне (вакуум в сифоне сорван).

Расчет приведен в табл.2. При этом он выполнен не до полного опорожнения трубопровода, а лишь до момента набора агрегатом максимальной скорости обратного вращения. Дальнейший ход расчета ничем не отличается от приведенного.

В.Ф.ТОЛСТОВ

МОДЕЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПЛОТИНЫ С
КОМБИНИРОВАННЫМИ ЗАТВОРАМИ КОН -
СТРУКЦИИ ИНЖЕНЕРА В.Ф.ПОЯРКОВА

Борьба с наносами на водозаборных сооружениях для
оросительных систем ведется двумя путями:

- 1) использованием поперечной циркуляции лотска
(ферганский тип водозабора);
- 2) использованием горизонтального расслоения потока
(послойный водозабор).

К водозаборным сооружениям второго типа относятся
и горный водозабор через горизонтальные решетки.

Однако в чисто выраженном виде и ферганский и по-
слойный типы водозабора встречаются очень редко. Для
усиления эффективности борьбы с донными наносами в эти
водозаборы вносятся некоторые элементы: для ферганского
типа — позаимствованные из конструкции послойного водо-
забора и для послойного — из конструкции ферганского типа.
И тот и другой типы водозаборов имеют ряд недостатков,
устранение которых оказывает влияние на принцип работы
сооружения:

- 1) в ферганском типе из-за значительного угла пово-
рота подводящего русла возникает трудность в расположе-
нии фронта плотины нормально к оси потока. В таких слу-
чаях отводящее русло получается криволинейным, а это
приводит к необходимости усиления крепления откосов.
Боковое расположение сброса приводит к сильному односто-
роннему сжатию потока в пролетах сброса, снижает про-
пускную способность сооружения и вызывает появление вих-
ревых зон, способствующих возникновению отлов истирания;

2) для послойного водозабора характерно наличие скрытых водоводов — галерей, облицовку которых необходимо выполнять из более устойчивых на истирания материалов. Расположение входа в прсмывные галереи ниже уровня воды затрудняет их эксплуатацию. В подводящем русле послойного водозабора из-за большой его ширины при уменьшении расходов воды может наблюдаться блуждание потока, а это приведет к ухудшению водозабора. Устройство некоторого искривления русла приводит к возникновению поперечной циркуляции, в результате чего наблюдается взвешивание донных наносов, и, следовательно, возможно частичное попадание их в водозаборные отверстия.

Учитывая эти недостатки, инженером В.Ф.Лсярковым была предложена новая конструкция плотины с комбинированными затворами [1], приспособленная для выполнения функций, которые в упомянутых выше типах водозаборов несут отдельные элементы сооружения. Предложенная конструкция плотины должна одновременно служить для регулирования расхода, для сброса лишних расходов и для защиты водозабора от донных наносов и плавающих тел. Сооружение предназначается для предгорных участков рек с уклонами порядка 0,01–0,001. Эта конструкция показана на примере двустороннего водозабора (см. рисунок).

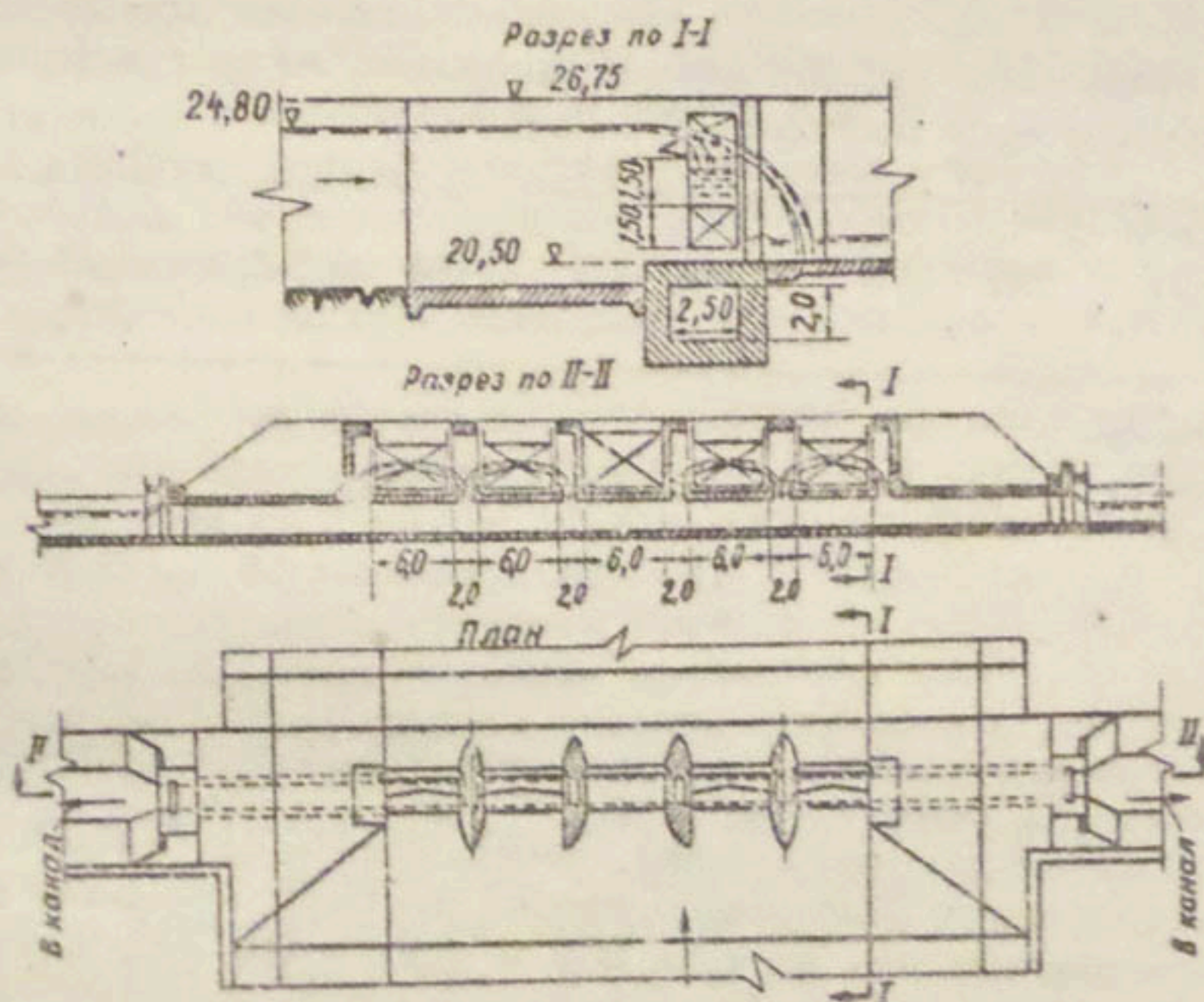
В состав гидроузла входят:

- 1) плотина, расположенная фронтом перпендикулярно оси подводящего русла, состоящая из пяти пролетов (отверстий), перекрываемых плоскими затворами;
- 2) комбинированные затворы, на которых укреплены водозаборные лотки, в первом, во втором, в четвертом и пятом пролетах.

Вода из верхних слоев потока переливается через передние стенки лотков и отводится по ним к отверстиям шахт, устроенных в теле бычков и устоев. По шахтам она поступает в общий лоток, проложенный под порогом плотины, и затем по нему направляется в отводящие каналы водозаборов. Донные наносы вместе с излишком воды сбрасываются в нижний бьеф из-под затворов. Водозаборные лотки перекрыты шугосбросным козырьком, позволяющим в случае надобности сбрасывать в нижний бьеф самые верхние слои потока, не-

сушие шугу и другие плавающие тела. Порог водозаборных отверстий шахт приподнят над порогом плотины на величину высоты поднятия затвора. На затворах укреплены защитные полосы, не допускающие попадания воды в шахты помимо водозаборных лотков;

3; центральный затвор плоский, без лотка, предназначен для сброса излишней воды и регулирования горизонта ее в верхнем бьефе.



Подводящее русло такого типа водозабора имеет значительно меньшую длину, чем водозабор ферганского типа или водозабор с горизонтальным расслоением потока.

В случае косою подхода потока приходится полагаться на способность затвора защищать в достаточной мере водозабор от донных наносов и плавающих тел.

Расход водозабора грубо регулируется изменением напора над входной кромкой лотка поднятием или опусканием затворов. Точная регулировка расхода осуществляется затворами, устанавливаемыми на выходе из труб.

В лаборатории при кафедре гидрологии и регулирования водных потоков ТИИИМСХ были проведены модельные исследования данной конструкции сооружения. Исследования проводились на пространственной модели масштаба 1:40 натурной величины для следующих расчетных условий: сооружение располагалось на предгорном участке реки с уклоном 0,006, паводковый расход – $350 \text{ м}^3/\text{сек}$, дно сложено галечниково-песчаной смесью с максимальным диаметром частиц – 40 см и средним – 9 см.

Модельное русло было сформировано из смеси следующего фракционного состава:

Диаметр частиц, мм	8-7	7-5	5-3	3-1	1-0,5	0,5-0,25	0,25-0,05	< 0,05
Содержа- ние фрак- ций по весу, %	5	10	18	18	19	15	5	10

Средний диаметр частиц смеси – 2,22 мм. Влекомые наносы были взяты такого же состава.

Водозабор двусторонний, постоянный – по $14 \text{ м}^3/\text{сек}$ в каждый отвод. Насыщение потока донными наносами принималось равным: для расхода $350 \text{ м}^3/\text{сек}$ – 0,5 г/л, для $200 \text{ м}^3/\text{сек}$ – 0,3 г/л, для $35 \text{ м}^3/\text{сек}$ – 0,1 г/л.

Исследования показали, что сооружение вполне справлялось с задачей защиты водозабора от донных наносов [1]. При водозаборах 8, 14, 56 и 80% попадание наносов в регуляторы получилось соответственно равным 0,015; 0,038; 0,73 и 0,37% от общего расхода наносов в реке.

В опыте при 56% водозабора подход потока к фронту пластины был искусственно искривлен. В связи с этим процент попадания наносов несколько увеличился.

Позднее по договору с отделом изобретательства и рационализации МСХ СССР, научно-исследовательским сектором Сельскохозяйственной академии им. К.А. Тимирязева

Также были проведены исследования [2] на моделях масштаба 1:25 и 1:50 предлагаемой конструкции сооружения.

Основная цель исследования — защита водоприемников от попадания в них донных наносов при помощи водозаборных лотков, установленных на затворах. Исследования проводились при максимальном расходе подводящего русла $100 \text{ м}^3/\text{сек}$, минимальном — $10 \text{ м}^3/\text{сек}$. Средние скорости потока в подводящем русле колебались в пределах от 20 до 50 см/сек, а глубина — от 5 до 12 см. Формирование верхнего бьефа производилось при паводковом расходе повторяемостью 3–10 % (по С.Т.Алтунину). Водозабор осуществлялся двусторонний, симметричный и изменялся в пределах 8 и 26%.

В качестве донных наносов применялись проваренные окрашенные древесные опилки. Донные наносы запускались в расчетах $\sim 0,5 \text{ г/л}$ потока в секунду. Изучались сооружения с комбинированными затворами и с затворами без лотков.

В результате проведенных НИИТСХА исследований выяснилось, что если принять захват наносов в отводы затворами с лотками за единицу, то при затворах без лотков захват наносов составляет:

- а) при открытом сбросном пролете $\sim 1,15$;
- б) при закрытом сбросном пролете $\sim 1,25$.

Так как захват донных наносов в отводы составляет незначительную абсолютную величину от влекомых по дну наносов (порядка 0,1–1,0%), авторы исследования, ограничившись 8 и 26% водозабора, сделали вывод, что водозаборные лотки комбинированных затворов мало влияют на уменьшение захвата донных наносов в отводы, снижая при этом пропускную способность сооружения примерно на 20–25%.

По этим причинам, не принимая во внимание, что наиболее характерным для условий Средней Азии является водозабор в 60% и более, исследователи предлагают отказаться от устройства лотков на затворах, т.е. отказаться от основного элемента водозабора, на котором основана идея предлагаемой схемы водозабора.

Для дальнейшего изучения влияния лотков на затворах на захват наносов в отводы при больших процентах водозабора в гидравлической лаборатории института "Средазгипро-водхлопок" в 1968г. были проведены исследования данной

схемы водозабора на модели масштаба 1:40 натурной величины.

Исследование проводилось при расходах воды: 108, 47 и 35 м³/сек. Водозабор при этом был постоянным и равным 28 м³/сек, что составляет от расхода: 108 м³/сек - 26%; 47 м³/сек - 60% и 35 м³/сек - 80%.

Русло модели было выложено из песка следующего фракционного состава:

Диаметр фракции, мм	5-3	3-2	2-1	1-0,5	0,5-0,25	<0,25
Содержа- ние фрак- ций по ве- су, %	0,2	0,4	3,2	1,8	62,5	31,9

Средний диаметр фракций $d_{\text{ср}} = 0,394$ мм. Донные наносы были взяты такого же состава. Насыщение речного потока донными наносами при расходах 108, 47 и 35 м³/сек принималось соответственно равным 5,0; 3,0 и 2,0 г/л в секунду. Кроме этих насыщений, при пропуске 47 м³/сек принималось дополнительное насыщение 0,25 г/л (насыщение, принятое при исследованиях в ТИИИМСХ в 1959 г.).

Формирование русла производилось при пропуске 47 м³/сек воды и заканчивалось после получения баланса пущенных и уловленных наносов. Водозабор при формировании русла не осуществлялся. Напор воды перед сооружением поддерживался равным 4,3 м.

В процессе исследования наносы, прошедшие в нижний бьеф сооружения, задерживались в отстойнике. Наносы, попавшие в водозаборные отверстия, улавливались марлевыми фильтрами, установленными на отводящих каналах.

Во всех опытах центральный (сбросной) пролет был закрыт.

Влияние лотков комбинированных затворов на величину захвата в отводы донных наносов определялось относительно, путем сопоставления величин захвата наносов в отвод

при наличии лотков на затворах и без них. Результаты исследований приведены в таблице.

Расход наносов, г/л	Расход воды, л/сек	Процент волоза- бора	Процент завлечения наносов при затворах	
			с лотками	без лотков
5,00	10,8	28	5,75	5,65
3,00	4,7	60	15,90	38,00
2,00	3,5	80	28,80	64,50
0,25	4,7	60	11,70	40,00

Примечание. За 100% принято общее количество наносов, прошедших в нижний бьеф плотины и попавших в регуляторы.

Как видно из таблицы, при 60% водозабора и более лотки, установленные на затворах, значительно (в 2-3 раза) снижают попадание наносов в отводы по сравнению с затворами без лотков.

И лишь при водозаборе в 28% наблюдается равенство в процентах попадания наносов в отводы при работе сооружения, перекрытого затворами с лотками и без лотков. Отсутствие влияния лотков на попадание наносов объясняется большим открытием затворов, увеличением скоростей по дну, уменьшением давления под затворами.

При работе сооружения через щели между защитными плоскостями на затворах и бычками сооружения возможно попадание наносов в отводы. Однако проведенные исследования показали, что щели, получившиеся из-за неплотного прилегания защитных плоскостей к бычкам, не оказывают существенного влияния на количество наносов, попавших в отводы. Так, процент попадания наносов в отводы при 60% водозабора получился равным при насыщении потока наносами 0,25 г/л - 11,8% и насыщении потока 3,0 г/л - 14,9 %, т.е. практически одинаков с процентом завлечения наносов

в опытах, когда наблюдались незначительные щели между плоскостями и бычками.

Анализ предыдущих исследований и экспериментальных данных, а также данных, полученных нами, позволяет сделать следующие выводы:

1. При исследованиях, выполненных научно-исследовательским сектором факультета гидротехники и мелиорации Сельхозакадемии им. К.А.Тимирязева, не были проведены опыты по завлечению наносов при больших процентах водозабора 60+ 80% (при спаде паводка), т.е. когда транспортируются более мелкие фракции донных наносов. Это обстоятельство привело к ошибочному заключению исполнителей о незначительном влиянии комбинированных затворов на снижение захвата в отводы донных наносов.

2. Исследования сооружений с лотками на затворах и без них, проведенные в лаборатории института "Средазгипроводхлопок", свидетельствуют о значительном влиянии лотков на процент пспадания наносов при водозаборах 60-80%. Лотки на затворах в 2-3 раза снижают количество наносов в отводах.

Данные результаты подтверждаются и исследованиями лаборатории при кафедре гидрологии и регулирования водных потоков ТИИИМСХ (исполнитель Ф.Ш.Ишаев) [1]. Расхождения в процентах попадания наносов в опытах Ф.Ш.Ишаева и нашими объясняются тем, что в обоих случаях применялось различное содержание мелких и крупных фракций наносов. Так, при исследованиях Ф.Ш.Ишаева средний диаметр фракций был равен $d_{cp} = 2,22$ мм; в наших же исследованиях была использована смесь со средним диаметром $d_{cp} = 0,394$ мм, т.е. смесь с преобладанием мелких фракций.

3. Данные наших опытов по водозабору при больших паводковых расходах в реке совпадают с такими же данными модельных исследований этой плотины, выполненных в ТИИИМСХ в 1959 г. и НИСТСХА в 1961 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. В.Ф.Поярков. Плотина с комбинированными затворами. "Гидротехника и мелиорация", 1961, № 8.

2. Отчет о лабораторных исследованиях водозабора "Плотина с комбинированными затворами". Научно-исследовательский сектор. Факультет гидротехники и мелиорации ТСХА, М., 1961.
3. Краткий отчет по модельным исследованиям сооружения "Плотина с комбинированными затворами инж. В.Ф.Пояркова". Архив института "Средазгипроводхлопок", Ташкент, 1968.

А.Р. МАНСУРОВ

РАСЧЕТ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ НА ОРОСИТЕЛЬНЫХ КАНАЛАХ, С ПРИМЕНЕНИЕМ УСТРОЙСТВА "ПРОТОС" ^{х)}

Известен ряд автоматических электрических регуляторов для стабилизации уровней или расходов воды в оросительных каналах, разработанных САНИИРИ, Институтом энергетики АН УзССР, институтами "Средазгипроводхлопок" и "Гипроводхоз".

Большинство этих устройств не нашло широкого использования в практике из-за сложности изготовления, монтажа и эксплуатации, недостаточной надежности в работе, дороговизны, несерийного изготовления, невозможности простого сочленения в комплексе с применяемыми для ирригационных объектов устройствами телемеханики.

В связи с этим сектор автоматизации и организации эксплуатации института "Средазгипроводхлопок" разработал в 1967 г. устройство типа "Протос" для автоматического регулирования на гидротехнических сооружениях гидромелиоративных систем [1].

х)

Автор статьи выражает благодарность инженерам В.И. Антонову и Л.А. Фримерману за консультацию по гидротехническим вопросам.

Опытные образцы "Протоса" в 1967-1968 гг. были испытаны в лаборатории института и в производственных условиях на действующих ирригационных объектах УзССР. Результаты испытаний показали, что устройство работает достаточно надежно, точно и устойчиво.

Устройство сконструировано из серийных элементов, простое в наладке и эксплуатации, может быть легко изготовлено в любой электромеханической мастерской или на заводе. По заказу Средазгипроводхлопка производство "Протоса" освоил Ташкентский завод ирригационного приборостроения.

Краткие технические данные устройства "Протос"

Устройство предназначено для авторегулирования уровня воды (верхнего, нижнего бьефа или смешанного регулирования), перепада уровней и расхода воды.

Диапазоны авторегулирования зависят от модификации используемых датчиков и составляют:

диапазон уровня воды: 125, 250, 500 и 1000 см;

диапазон перепада уровней и расхода воды от 20 до 100% максимального значения регулируемой величины.

Погрешность (чувствительность) системы авторегулирования настраивается в пределах:

по уровню: от ± 1 до ± 20 см;

по перепаду уровней и расходу воды: от ± 2 до $\pm 8\%$.

Устройство обеспечивает "задержку" и формирование управляющего импульса, а также паузы в следующих диапазонах:

диапазон задержки - от 0 до 60 сек;

диапазон импульса - от 5 до 160 сек;

диапазон паузы - от 10 сек до 30 мин.

Устройство обеспечивает автоматическую и ручную коррекцию длительностей управляющего импульса и паузы в вышеуказанных пределах.

Принципиальная электрическая схема устройства "Протос" приведена на рис. 1.

Питание - переменный ток напряжением 220 в с допустимыми по ГОСТу колебаниями. Потребляемая мощность - 50 вт.

В качестве датчиков к устройству могут применяться приборы, разработанные совместно специальным конструкторским бюро "Газприборавтоматика" Мингазпрома СССР и Средазгипроводхозом:

- датчик уровня типа ДУ [2];
- датчик уровня типа ДУП и блок рассогласования типа БР-1 системы приборов типа "Баку-1" [3];
- датчик перепада уровней воды типа ДПУ [2];
- датчик перепада динамометрический типа ДПД [2];
- система приборов типа "Ташкент" [4].

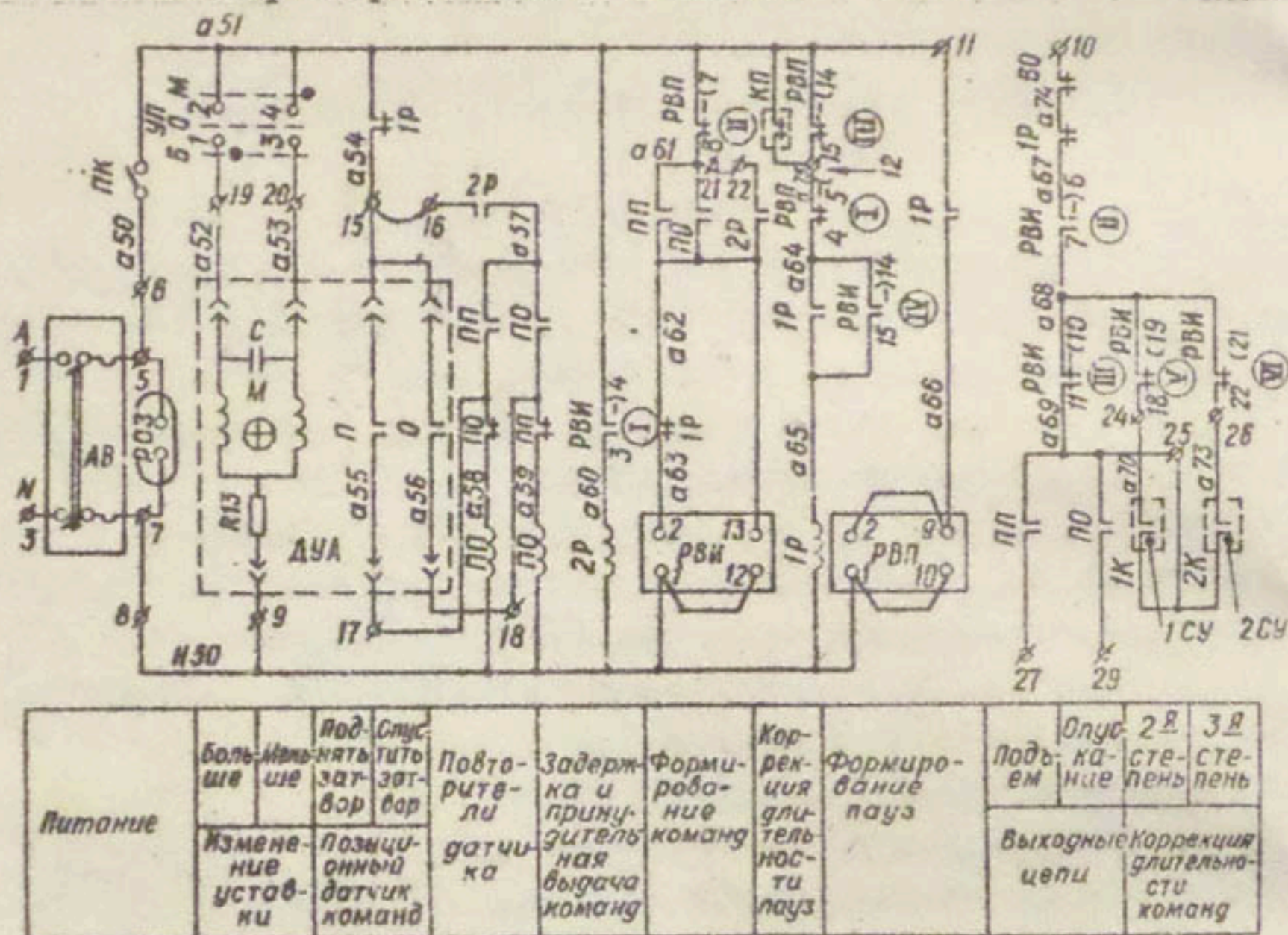


Рис.1. Электрическая схема устройства "Протос".

Возможно также применение системы приборов типа "Баку-2", разработанной СКБ "Газприборавтоматика", Азгипроводхозом и Гипроводхозом [3].

"Протос" может работать в комплексе с любой из систем телемеханики, применяемых в ирригации, в том числе с системами типов ТРДС-И [5], ТЧР-61 [6] и "Гулистан" [7].

Изменение установки возможно из диспетчерского пункта (ДП) и на месте.

На рис. 1 показан вариант изменения уставки ключом УП, управляющим реверсивным микродвигателем блока управления уставкой.

При управлении уставкой из ДП для контроля ее величины используется телеизмерение или длительность команды управления, определяемая из выражения:

$$T_{yi} = \frac{M_y^i - M_y^{i-1}}{V_y}, \quad (1)$$

где T_{yi} — время управления уставкой;
 M_y^{i-1} — величина предыдущей уставки уровня воды авто-регулятора;
 M_y^i — величина уставки уровня воды, которую необходимо получить;
 V_y — скорость изменения уставки.

Виды исполнения устройства:

наружное брызгозащищенное исполнение — в виде шка-

фитовое исполнение для установки в помещении на щите или панелях управления.

Стоимость устройства "Протос" наружного исполнения при несерийном изготовлении на Ташкентском заводе ирригационного приборостроения составила 200 рублей.

Некоторые варианты использования устройства
"Протос"

I. "Протос" может быть применен для автоматической стабилизации уровня воды верхнего бьефа.

На рис. 2 показана блок-схема автоматической стабилизации уровня воды верхнего бьефа, приемлемая для переправляющих и сбросных сооружений.

Рекомендуется датчик уровня типа ДУ или "Баку-1", состоящий из: блока приема задания устав ки (ЗУ), собственно датчика уровня (ДУ) и блока "нуль-органа" (НО), который определяет знак и величину рассогласования устав ки и фактического уровня воды.

Стрелки показывают направления основных управляющих воздействий элементов системы авторегулирования (САР).

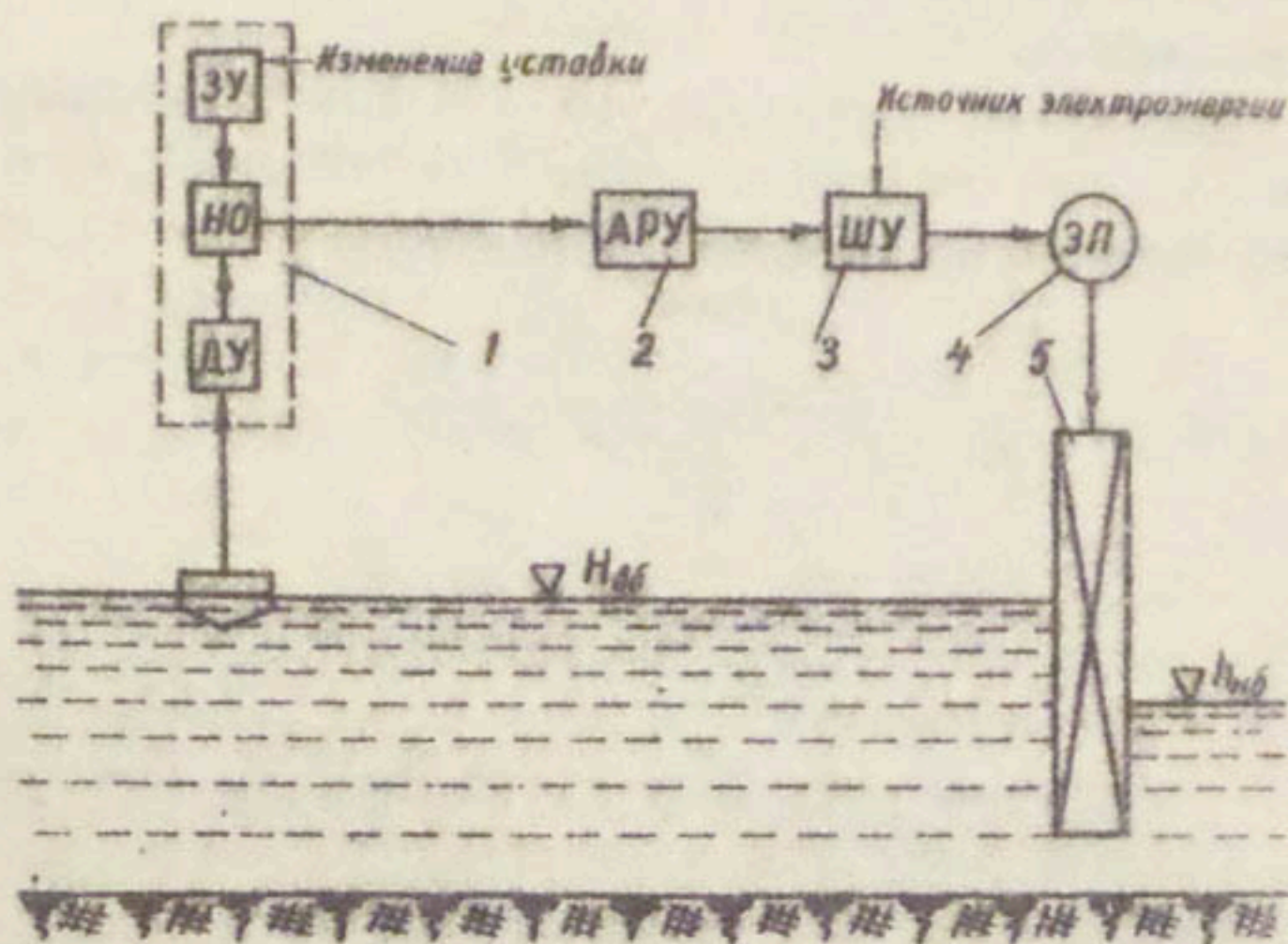


Рис.2. Блок-схема автоматической стабилизации уровня воды верхнего бьефа:

- 1- датчик уровня; 2- авторегулятор "Протос";
- 3- шкаф управления электроподъемником;
- 4- электроподъемник; 5- затвор.

Принцип действия САР уровня следующий.

В случае соответствия величины фактического уровня величине уставки авторегулятор уровня (АРУ) находится в состоянии покоя, а вся САР – в установившемся режиме. Изменение расхода, притекающего к сооружению, вызывает изменение уровня воды в верхнем бьефе сооружения, положения поплавка и величины выходного сигнала ДУ. Когда величина отклонения уровня от заданного превысит допустимый предел, блок "нуль-орган" подаст на вход АРУ соответствующий сигнал, АРУ сформирует управляющий импульс и через станцию управления ШУ с помощью электроподъемника переместит затвор на величину, необходимую для ликвидации рассогласования.

САР работает аналогично и в случае изменения величины уставки, устанавливая новый заданный уровень.

П. "Протос" используют для автоматической стабилизации уровня воды нижнего бьефа.

Эта САР отличается от вышеописанной лишь тем, что датчик авторегулятора контролирует уровень нижнего бьефа, подавая соответствующие сигналы на вход устройства "Протос".

Ш. "Протос" применяют для автоматической стабилизации расхода воды. На рис. 3 показана блок-схема автоматической стабилизации расхода воды сооружения с расходомерным устройством САНИИРИ типа "ТВС с кольцом" или "водомерная приставка" [8].

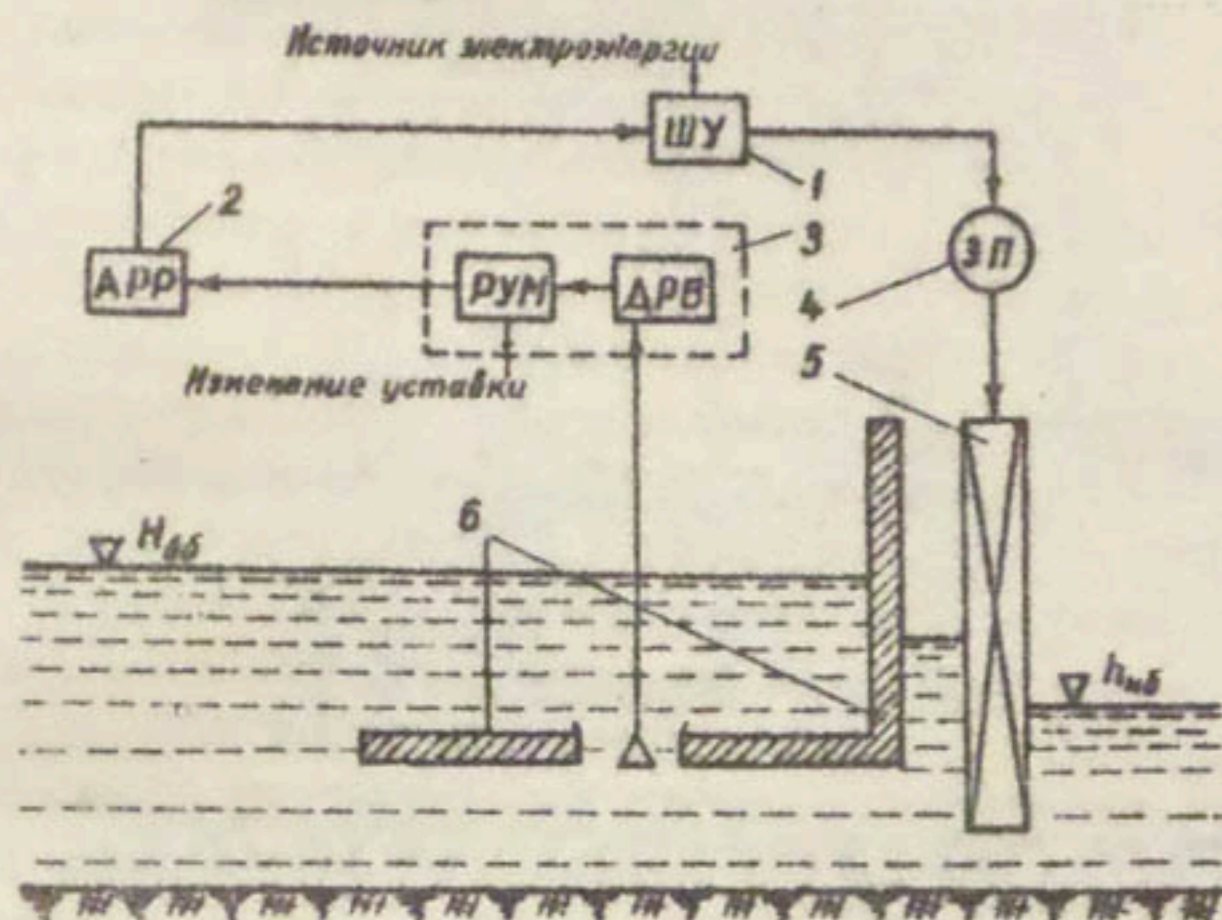


Рис. 3. Блок-схема автоматической стабилизации расхода воды:

- 1- шкаф управления электроподъемником; 2- авторегулятор "Протос -Б"; 3- датчик расхода;
- 4- электроподъемник; 5- затвор; 6- водомер САНИИРИ.

Рекомендуется датчик авторегулятора расхода типа "Ташкент", состоящий из двух блоков, датчика расхода воды типа ДРВ и механизма приема задания с блоком "нуль-орган" типа РУМ.

Принцип действия САР расхода следующий.

Сквозь патрубок водомерной приставки проходит пропорциональный расходу сооружения парциальный поток, ув-

лекая подвешиваемый в нем поршеньек прибора ДРВ с силой, зависящей от величины парциального потока.

Сочленив прибор ДРВ с механизмом РУМ, подключив их к авторегулятору расхода АРР и через него — к электроподъемнику, получим САР, которая поддерживает необходимое значение расхода по заданному воздействию парциального потока.

1У. Устройство "Протос" можно использовать для автоматической стабилизации расхода по перепаду уровней воды на водомере с разделительной стенкой.

Блок-схема этой САР показана на рис. 4.

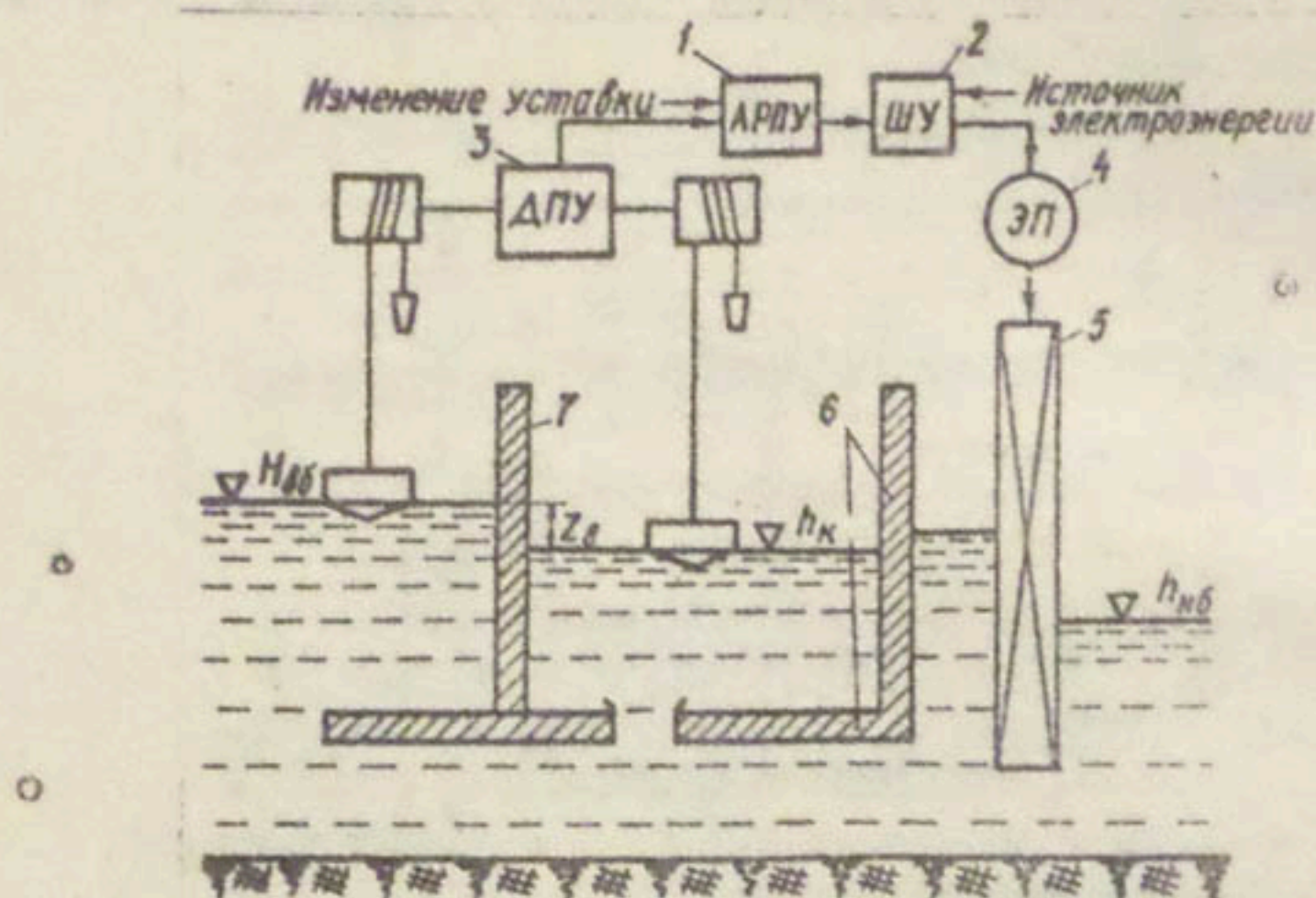


Рис. 4. Блок-схема автоматической стабилизации расхода сооружения по перепаду уровней воды на водомере с разделительной стенкой:

- 1- авторегулятор "Протос-Б"; 2- шкаф управления электроподъемником; 3- датчик перепада уровней;
- 4- электроподъемник; 5- затвор; 6- водомер САНИИРИ; 7- разделительная стенка.

Рекомендуется применять датчик перепада уровней воды типа ДПУ или типов ДРИ-1, ДРИ-2 и БР-2, системы приборов типа "Баку-2".

Принцип действия САР расхода по перепаду уровней воды аналогичен САР расхода. Основное отличие в том, что измерение водомерного перепада на приставке производится не с помощью поршенька в парциальном потоке, а с помощью

дифференциального прибора, измеряющего разницу уровня верхнего бьефа $H_{в.б}$ сооружения и уровня в водомерном устройстве за разделительной стенкой h_k .

У. "Протос" используют для авторегулирования перепада уровней воды бьефов сооружения.

Эта САР применяется, например, при каскадном регулировании по способу сообщающихся уровней [8]. Она отличается от вышеописанной лишь тем, что водомерный колодец с разделительной стенкой в нем соединен с бьефами сооружения.

Как видно из приведенных выше пяти схем, одним из общих элементов САР является электроподъемник, обеспечивающий необходимое маневрирование затвором.

Примером электроподъемника, наиболее полно удовлетворяющего требованиям комплексной автоматизации, может служить унифицированный типовой электроподъемник марки В-66, разработанный Средазгипроводхлопком [10]. Подъемник и его станция управления обеспечивают надежную защиту механизма и двигателя от перегрузок, возможность механического "спаривания" затворов в единый агрегат и выбора в достаточно широких пределах скорости перемещения затворов. Это особенно ценно с точки зрения автоматизации и телемеханизации, так как позволяет подобрать в конкретном объекте автоматизации оптимальную скорость перемещения затвора, а также обеспечить благоприятные условия для равномерного открытия затворов и для гидрометрии на сооружении при минимальном количестве аппаратуры.

Первый способ расчета релейно-импульсной САР уровня воды

Этот способ дает возможность упрощенно рассчитать основные параметры релейно-импульсной САР с длительностью переходных процессов до нескольких десятков минут и по этим параметрам подобрать аппаратуру автоматики и сопрягаемое с ней оборудование.

Расчет включает следующие операции.

Подготовительная – сбор и обработка исходных данных.

Определение запаздывания объекта регулирования и длительности паузы.

Определение длительности регулирующих импульсов и скорости перемещения затвора.

Проверка САР на аварийные и форсированные условия.

Подбор аппаратуры и оборудования.

Исходными данными являются:

размеры и количество водорегулирующих отверстий и затворов, уклоны дна и водной поверхности, шероховатость русла, размеры живого сечения потока, расстояние от затворов до места расположения датчика, параметры водомерного устройства, допустимая скорость и диапазоны изменения эксплуатационных расходов и горизонтов воды (расчетный диапазон эксплуатационных расходов назначают согласно действующим нормам и уточняют в условиях конкретного объекта);

графики зависимостей расхода от:

уровня воды $Q_p = f(H)$ в створе установки датчика,

открытия затворов $Q_p = \varphi(S)$ и

скорости потока $Q_p = \Phi(V)$.

Здесь Q_p — расход, изменяющийся в расчетных пределах;

H — уровень воды;

S — открытие затвора;

V — средняя скорость потока.

Если эти зависимости неоднозначны, графики необходимо построить для крайних расчетных значений.

Эксплуатационно-технологические требования к САР — это прежде всего требования к качеству регулирования заданного технологического процесса, характеризующемуся следующими показателями:

устойчивостью работы САР, т.е. таким регулированием, при котором САР после возмущения вновь входит в установившееся состояние с величиной регулируемого параметра, находящейся в заданных пределах;

статическим (установившимся) отклонением регулируемой величины от заданного значения (определяется зоной нечувствительности и погрешностью датчика и авторегулятора или коэффициентом статизма авторегуляторов статического действия) — Δ_c .

Статическое отклонение не должно превышать допустимой погрешности регулирования.

В практике необходимая и достаточная точность авто-

регулирования уровня колеблется в пределах от ± 1 до ± 10 см, а расхода – в пределах $\pm 2 + 5\%$.

Исходя из необходимой точности авторегулирования, назначается зона нечувствительности САР:

$$\pm dQ \leq \frac{1}{K_T} \Delta Q_{\text{дон}}, \quad (2)$$

$$\pm dH \leq \frac{1}{K_T} \Delta H_{\text{дон}}, \quad (3)$$

где $\pm dQ$ и $\pm dH$ – зоны нечувствительности САР по расходу и по уровню;

$\Delta Q_{\text{дон}}$ и $\Delta H_{\text{дон}}$ – допустимые отклонения расходов и уровней от заданных;

K_T – коэффициент запаса точности САР, принимаемый в пределах от 1 до 1,5.

Такое назначение зоны нечувствительности обеспечивает выполнение требования к точности авторегулирования, и установившиеся отклонения расходов Δ_c^Q и уровней Δ_c^H составят:

$$\Delta_c^Q \leq dQ, \quad (4)$$

$$\Delta_c^H \leq dH; \quad (5)$$

динамическим отклонением регулируемой величины от заданного (или установившегося) значения – Δ_{∂} , характеризуемым величиной “перерегулирования” – максимальным динамическим отклонением регулируемой величины в процессе авторегулирования;

длительностью переходного процесса при автоматическом регулировании – T_p – временем, по истечении которого динамическое отклонение, возникшее в результате возмущения, становится и продолжает оставаться меньше некоторой заданной величины.

Величину и длительность динамического отклонения необходимо определять для следующих расчетных режимов

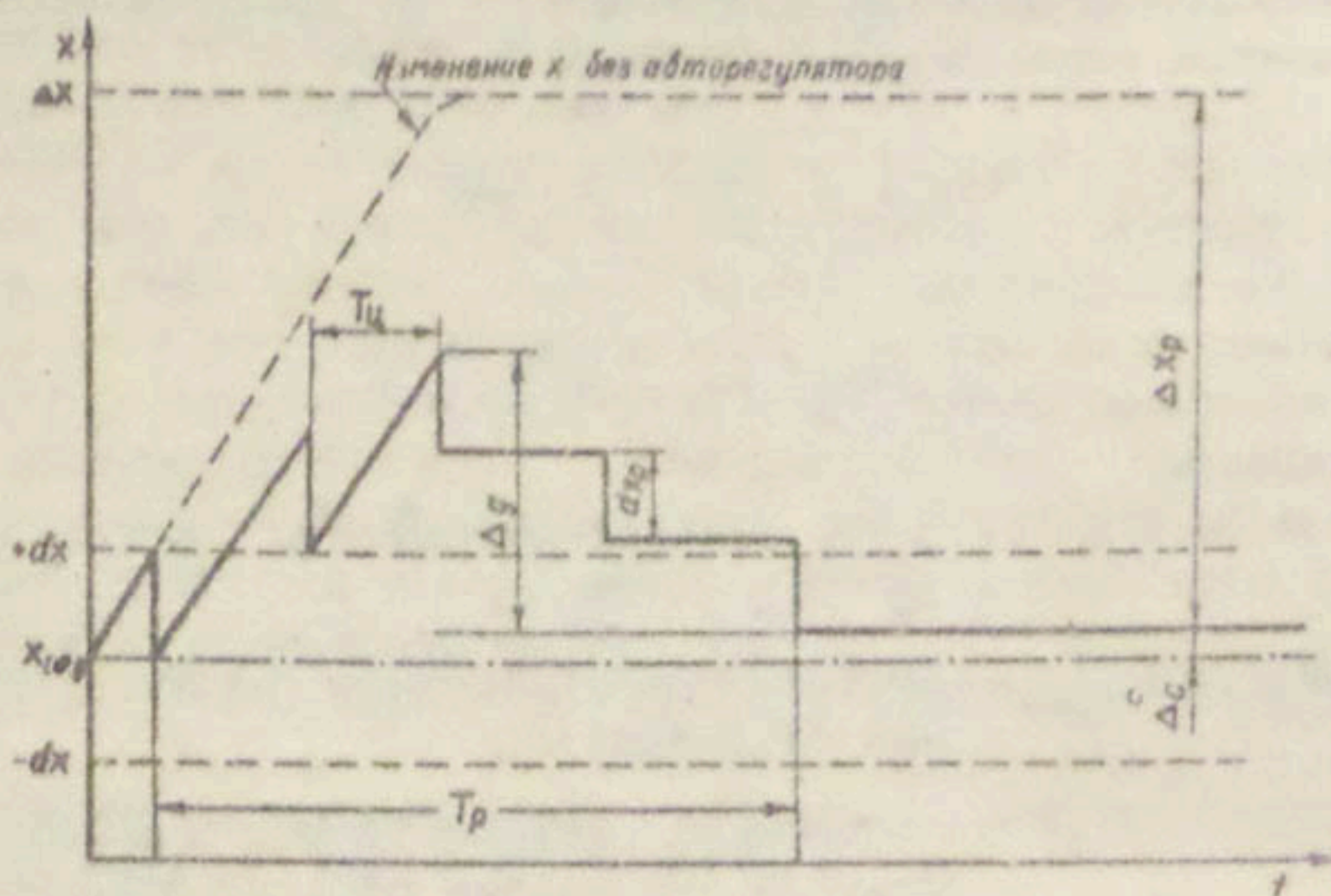


Рис. 5. График переходного процесса релейно-импульсного авторегулирования:

$x_{\text{зад}}$ — заданное значение регулируемого параметра; Δx — изменение параметра без авторегулирования; $\pm dx$ — зона нечувствительности САР; $T_{\text{ц}}$ — длительность одного цикла регулирования; T_p — длительность переходного процесса; Δg — перерегулирование (динамическое отклонение); Δc — статическое (уставившееся) отклонение; Δx_p — доля регулирующего воздействия САР на регулируемый параметр за один цикл регулирования; ΔX_p — величина (эффект) регулирующего воздействия САР на регулируемый параметр за все время переходного процесса регулирования.

возмущений, действующих на САР: нормального эксплуатационного, форсированного и аварийного.

Под нормальными понимаются возмущения, вызываемые нормальным эксплуатационным режимом колебаний расходов и горизонтов в бьефах сооружений.

Колебания расходов и горизонтов при пропуске форсированных расходов относятся к форсированным возмущениям.

В этих случаях САР должна обеспечивать точность и устойчивость автоматического регулирования заданных уровней или расходов, причем регулируемые параметры не должны достигать опасных для сооружения значений.

Под аварийными понимаются режимы работы САР при авариях (прорывы дамб, выход из строя сооружения или его оборудования и т.п.).

В аварийных ситуациях допускается уменьшение точности авторегулирования, зато САР должна обеспечивать повышенное быстродействие, чтобы снизить размеры аварии или предотвратить ее.

Пример переходного процесса в релейно-импульсной САР изображен на рис.5.

Длительность одного цикла регулирования $T_{\text{ц}}$ складывается из суммы

$$T_{\text{ц}} = T_{\text{з}} + T_{\text{и}} + T_{\text{п}}, \quad (6)$$

где $T_{\text{з}}$ — время задержки импульса;

$T_{\text{и}}$ — длительность импульса;

$T_{\text{п}}$ — длительность паузы.

Большинство ирригационных объектов характеризуется отставанием изменения и установления регулируемого параметра от момента возмущения. Время этого отставания называется "временем запаздывания объекта".

Для регулируемого уровня воды в водомерном колодце нижнего бьефа время запаздывания определяется суммой

$$T_0 = T_{\text{з}} + T_{\text{к}} + T_{\text{в}}, \quad (7)$$

где T_0 — время запаздывания объекта;

- T_v - длительность отставания изменения уровня в водомерном колодце от изменения уровня в канале;
 T_k - длительность транспортирования измененного расхода от затвора до водомерного колодца и длительность перехода объекта к новому установившемуся режиму (зависит от величины бытового расхода, величины изменения расхода и совокупности гидротехнических свойств участка канала);
 T_s - длительность перемещения затвора.

$$T_s = \frac{\Delta S}{V_s}, \quad (8)$$

где ΔS - изменение открытия затвора;
 V_s - скорость перемещения затвора.

На рис.6 приведен график изменения уровня в водомерном колодце нижнего бьефа при некотором возмущении.

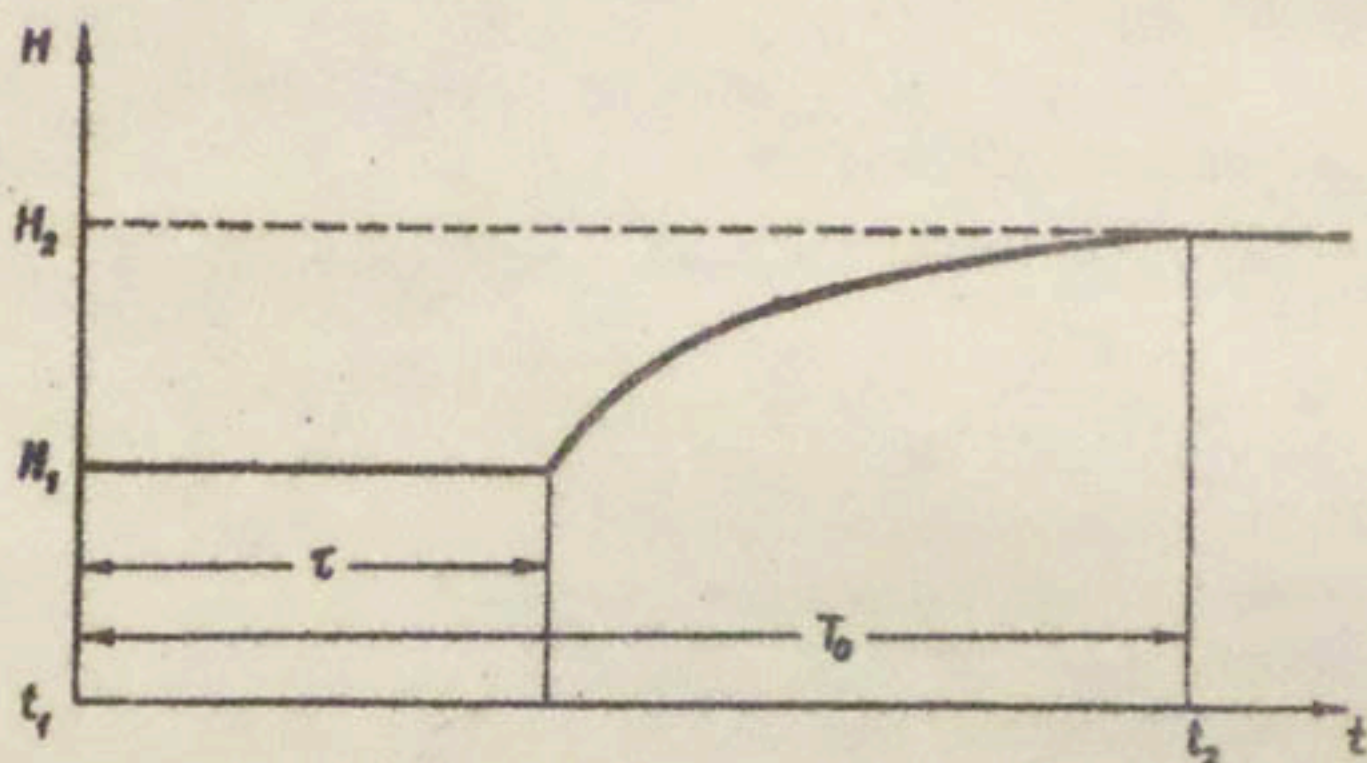


Рис.6. График изменения уровня в водомерном колодце нижнего бьефа сооружения:

H_1 , H_2 - уровни воды при установившихся режимах до и после возмущения; t_1 - момент возмущения; t_2 - момент окончания переходного процесса; τ - промежуток времени от возмущения до начала изменения уровня; T_0 - время запаздывания объекта.

Нередко основную часть времени запаздывания составляет величина T_k , а величины T_z и T сравнительно малы. При величине $T_k > 1$ минуты их можно не вычислять, а вводить коэффициент запаса в формуле расчета времени паузы T_p

$$T_p = K_p \cdot T_k - T_z, \quad (9)$$

где K_p - коэффициент запаса, принимаемый в пределах $5 + 1,1$:

$T_k, \text{сек}$	60	120	240	400	500	≥ 600
K_p	5	3	2	1,5	1,2	1,1

Расчет T_k следует вести для крайних значений расчетных эксплуатационных расходов в соответствии с известными из гидравлики методами расчета неустановившегося движения потока в открытом русле ΠV .

По упрощенному способу расчет T_k производится следующим образом:

а) для авторегулирования уровня нижнего бьефа

$$T_k = \frac{l}{K_v V}, \quad (10)$$

где l - расстояние от затвора сооружения до створа установки датчика;

V - средняя скорость движения воды при расчетном значении расхода;

K_v - коэффициент, учитывающий величину скорости V , принимаемый в пределах $0,3 + 0,9$:

$V, \text{м/сек}$	0,4	0,6	0,9	1,1	$\geq 1,5$
K_v	0,9	0,5	0,7	0,8	0,9

б) для авторегулирования уровня верхнего бьефа

$$T_k = \frac{0,8 L B dH}{\Delta Q}, \quad (11)$$

где L — длина распространения кривой подпора в верхнем бьефе сооружения;

B — ширина водного потока по верху;

dH — половина зоны нечувствительности, определяемая согласно выражению (3);

ΔQ — изменение транзитного расхода, вызываемое отклонением уровня верхнего бьефа от заданного значения H до значения $H + dH$ (или до значения $H - dH$).

Расчеты длительностей регулирующих импульсов T_i и скоростей перемещения затворов V_s из-за нелинейности элементов водорегулирующих сооружений рекомендуется производить для четырех значений эксплуатационных расходов: двух крайних и двух промежуточных.

$$\text{Если } \frac{T_{i \text{ макс}}}{T_{i \text{ мин}}} \leq 3, \quad (12)$$

то коррекцию длительности импульса в нормальных режимах работы САР можно не вводить, а принимать расчетное значение импульса $T_i^p = (1,2 + 1,5) T_{i \text{ мин}}$. (13)

Расчеты производят так. На графике $Q_p = f(H)$ рис. 7 вблизи расчетных значений расхода, равных $0,4Q_{\text{норм}}$; $0,8Q_{\text{норм}}$; $Q_{\text{норм}}$ и $1,2Q_{\text{норм}}$, откладывают значения, соответствующие допустимой погрешности регулирования расхода $\pm \Delta Q_{\text{доп}}$, и определяют допустимые колебания уровней $\pm \Delta H_{\text{доп}}$. Из выражений (2) и (3) определяют зону нечувствительности САР $\pm dQ$ и $\pm dH$. На графике $Q_p = \varphi(S)$, приведенном на рис. 8, находят соответствующие $\pm dQ$ расчетные перемещения $\pm dS_p$. после чего вычисляют длительности регулирующих импульсов

$$T_u = \frac{dS_p}{V_s}. \quad (14)$$

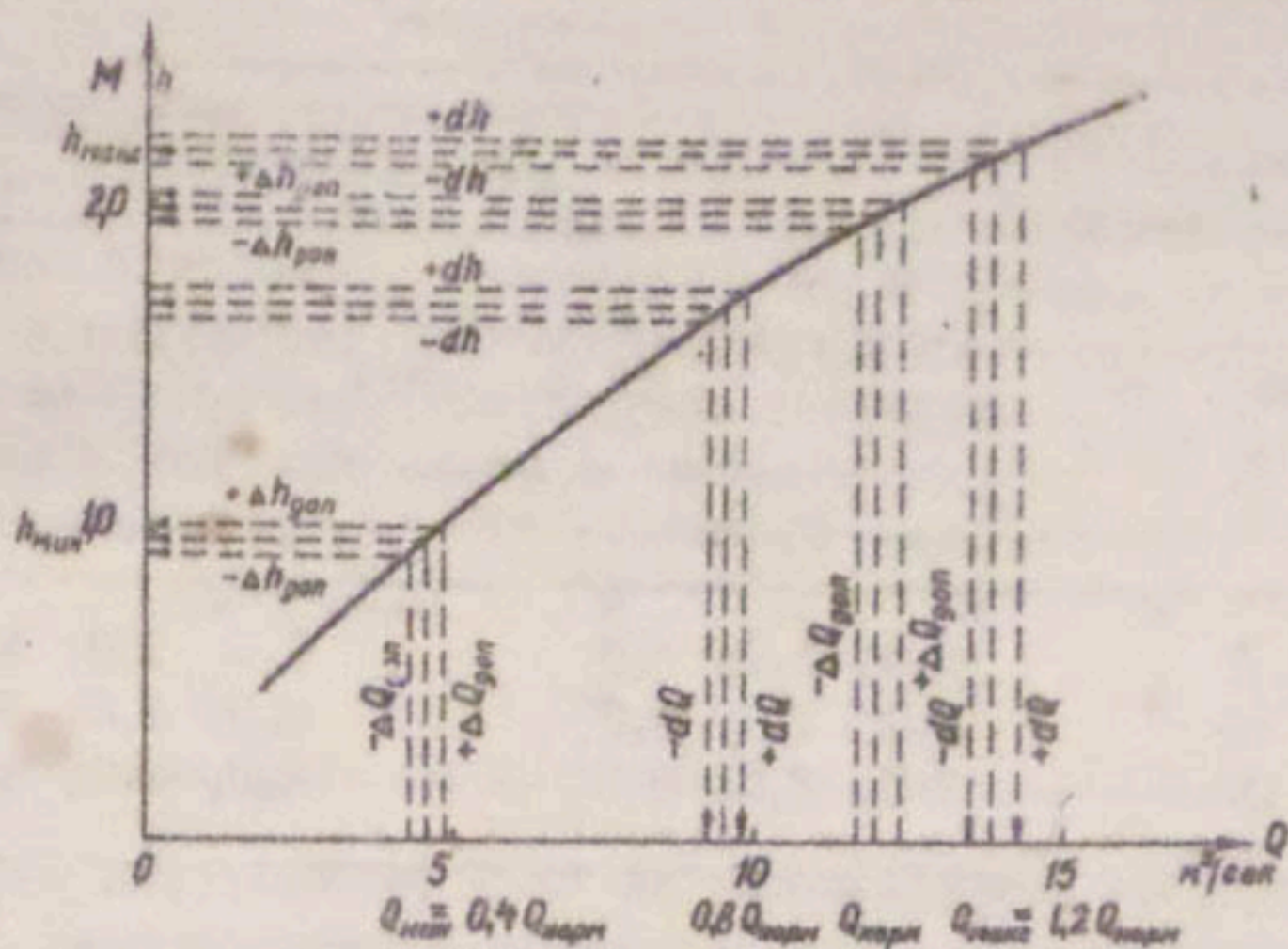


Рис. 7. График зависимости $Q_p = f(h)$.

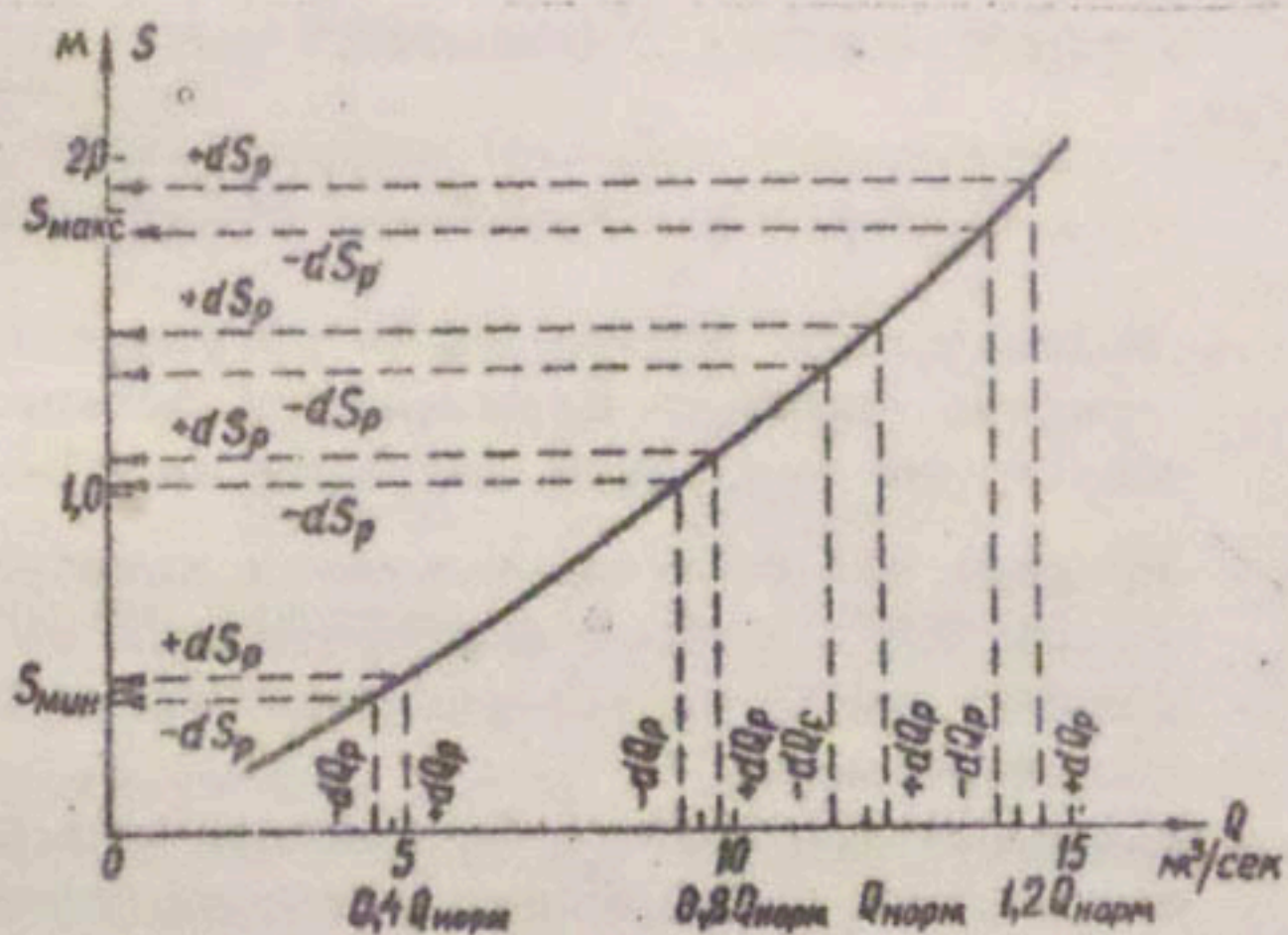


Рис. 8. График зависимости $Q_p = \varphi(S)$ для одновременного открытия затворов.

Рекомендуемые значения V_s [12] даны в табл. 1.

Таблица 1

Грузоподъемность электроподъемника, Т	V_s для водорегулирующих сооруже- ний, мм/сек	
	линейный водовы- пуск и перегоражи- вающее сооружение со сбросом в верх- нем бьефе	сбросной, головной регулятор и перего- раживающее сооруже- ние без сброса в верхнем бьефе
< 5	0,5; 1,0; 1,5	1,0; 2,0; 3,0
5 + 10	1,0; 1,5; 2,0	2,0; 3,0; 5,0
10 + 20	1,5; 2,0; 3,0	2,0; 3,0; 5,0

Значение длительности задержки импульса T_3 предвари-
тельно задают в пределах 0 + 0,5 мин, а затем уточняют ее
при наладке САР на объекте.

По завершении расчета проводят проверку быстродей-
ствия САР в форсированных и аварийных режимах, исходя из
неравенства:

$$K_{\Phi} V_s^{\Phi} < \left(\frac{T_u V_s}{T_u} = V_s^{cp} \right) > K_A V_s^A, \quad (15)$$

где T_{uA} – длительность одного цикла регулирования;
 V_s^A – средняя скорость перемещения затвора, необхо-
димая при аварийной ситуации на объекте;

V_s^{Φ} – средняя скорость перемещения затвора, необхо-
димая при пропуске форсированных расходов;
 $\frac{T_u V_s}{T_u} = V_s^{cp}$ – средняя скорость перемещения затвора за цикл
регулирования;

K_{Φ} и K_A – коэффициенты запаса быстродействия САР в фор-
сированных и аварийных режимах, принимаемые
по табл. 2;

о

Таблица 2

Коэффициен- ты запаса	Расходы, м ³ /сек							
	линейный водовыпуск				сбросной, головной ре- гулятор и перегороди- вающее сооружение			
	<10	10+ +20	20+ +50	>50	<10	10+ +50	50+ +100	>100
K_{ϕ}	1,2	1,5	2	3	2	3	4	5
K_A	2	3	4	5	2	4	6	8

Если неравенство (15) не соблюдается, то в САР желательно предусмотреть дополнительные корректирующие устройства, увеличивающие длительность регулирующего импульса и уменьшающие длительность паузы и цикла регулирования.

Рассмотрим пример расчета САР уровня нижнего бьефа водовыпуска.

Для участка канала между сооружением и створом установки датчика авторегулятора известно:

$$Q_p = f(h_{н.б.}) \quad (\text{рис.7}),$$

$$Q_p = \varphi(S) \quad (\text{рис.8}),$$

$$Q_p = \Phi(V) \quad (\text{рис.9}).$$

Количество затворов - 2, тип - плоские.

Размеры отверстий - $b h = 2,5 \times 2$ м.

Грузоподъемность - 5 т.

Расстояние от затворов до створа установки датчика

$$l = 60 \text{ м.}$$

$$Q_{\text{норм}} = 12 \text{ м}^3/\text{сек.}$$

Назначение водовыпуска - орошение.

Расчетная скорость колебания горизонтов воды в канале при форсированном режиме $V_n^{\Phi} = 10 \text{ см/час.}$

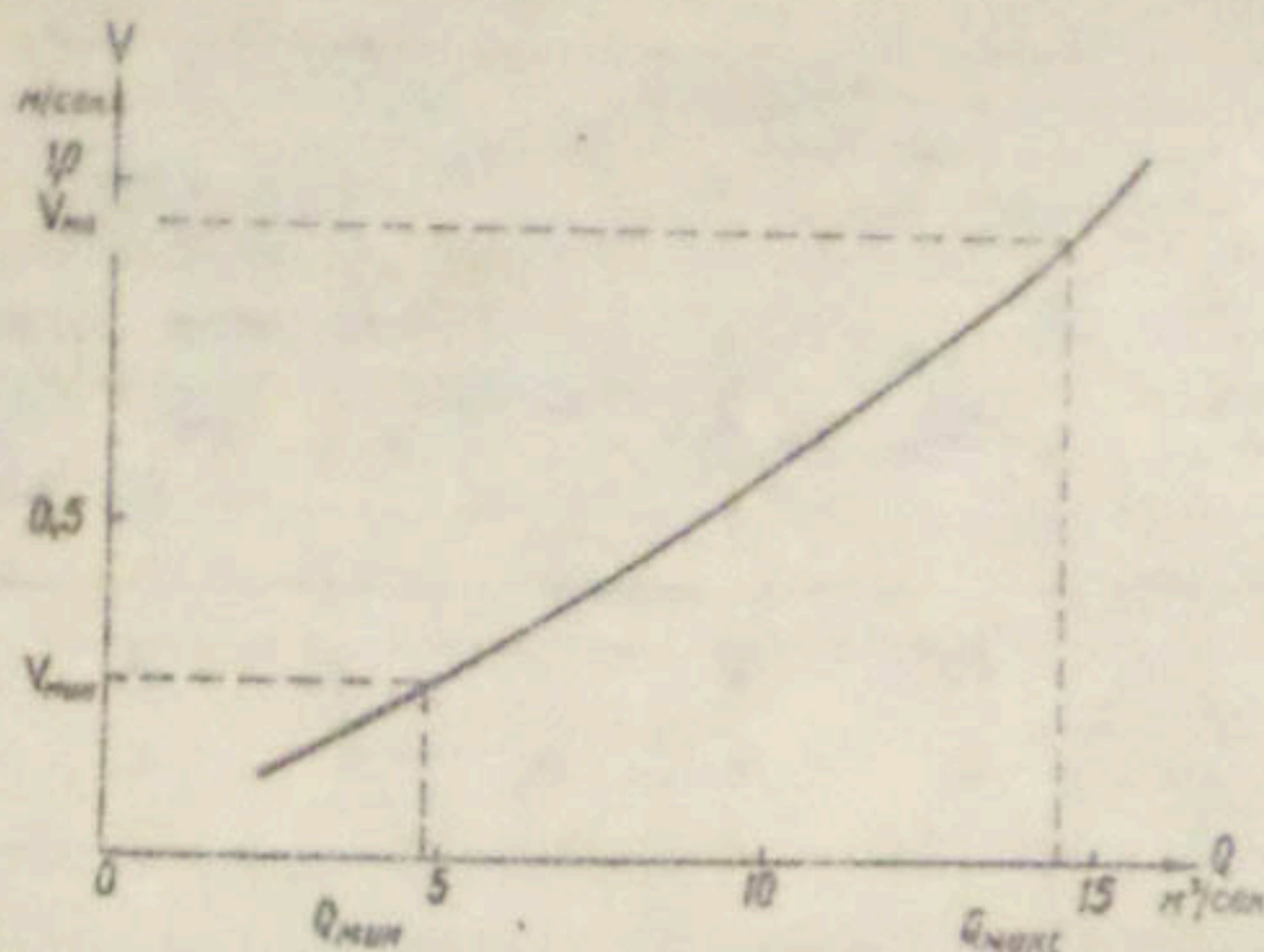


Рис. 9. График зависимости $Q_p = \Phi(V)$.

То же при аварийном режиме $V_n^A = 50 \text{ см/час.}$
Требуется определить:

Длительность паузы - T .

Длительность регулирующих импульсов - T .

Достаточность быстрействия САР в форсированном и аварийном режимах при принятой технической скорости перемещения затвора - V_s .

Типы оборудования и аппаратуры.

Предварительно задаемся:

Диапазоном эксплуатационных расходов:

$$Q_{p \text{ мин}} = 0,4 \quad Q_{\text{норм}} = 4,8 \text{ м}^3/\text{сек}$$

$$Q_{p \text{ макс}} = 1,2 \quad Q_{\text{норм}} = 14,4 \text{ м}^3/\text{сек.}$$

Технической скоростью движения затвора (по табл.1) - $V_s = 2 \text{ мм/сек.}$

Точностью автоматического регулирования уровня, которая должна соответствовать допустимому изменению величины расхода

$$\pm \Delta Q_{\text{доп}} \leq \pm 3\% \text{ от } Q_{\text{норм}}$$

Коэффициентом запаса точности - $K_T = 1,3$.

Временем задержки импульса - $T_s = 20$ сек.

Р е ш е н и е

I. Определяем длительность паузы - T_p . По графику

$Q_p = \Phi(V)$ находим $V_{\min} = 0,27$ м/сек и $V_{\max} = 0,85$ м/сек. Определяем T_k по выражению (10):

$$T_k' \Big|_{Q_{\min}} = 740 \text{ сек};$$

$$T_k'' \Big|_{Q_{\max}} = 90 \text{ сек.}$$

По формуле (9):

$$T_p' \Big|_{T_k'} = 794 \text{ сек};$$

$$T_p'' \Big|_{T_k''} = 340 \text{ сек.}$$

Практика авторегулирования на ирригационных системах показывает, что при соблюдении условия

$$\frac{T_{p \max}}{T_{p \min}} \leq 4 \quad (18)$$

можно не вводить коррекцию длительности паузы, а принимать ее равной $T_{p \max}$.

В нашем примере

$$\frac{T_p'}{T_p''} = 2,3 < 4, \text{ поэтому назначаем } T_p =$$

$= 794 \text{ сек.}$

II. Определяем длительности регулирующих импульсов.

По графику $Q_p = f(h)$ находим $\Delta h_{\text{доп}}$ при $\pm \Delta Q_{\text{доп}} = 0,03 \cdot Q_{\text{норм}} = \pm 0,96$ м³/сек;

$$\Delta h_{\text{доп}} \Big|_{Q_{\min}} = \pm 8 \text{ см,}$$

$$\Delta h_{\text{доп}} \Big|_{Q_{\text{норм}}} = \pm 4,5 \text{ см.}$$

Назначаем зону нечувствительности САР по уровню на основании выражения (3), принимая наименьшее значение $\Delta h_{доп}$, что обеспечивает необходимую точность работы САР во всем диапазоне изменения расчетных расходов:

$$dh = \pm 3,46 \text{ см.}$$

Назначаем $dh = \pm 3,5 \text{ см.}$

По графикам $Q_p = f(h)$ и $Q_p = \varphi(S)$ находим расчетные перемещения затворов dS_p для значений Q_p , равных 0,4; 0,8; 1,0 и 1,2 $Q_{ном}$, а затем из зависимости (14) определяем расчетные длительности импульсов. Результаты приведены в табл. 3.

Таблица 3

Q_p м ³ /сек	h см	dQ_p м ³ /сек	S_p см	dS_p см	T_u сек
4,8	98	0,21	44	3	15
9,6	170	0,25	105	4	20
12,0	198	0,28	142	6	30
14,4	216	0,35	188	7	35

Соотношение $\frac{T_{u \text{ макс}}}{T_{u \text{ мин}}} = 2,3 < 3.$

Условие неравенства (12) выполнено, коррекцию длительности импульса можно не вводить. Тогда по выражению (13) $T_u^p = (18 + 22) \text{ сек.}$ Назначаем $T_u^p = 20 \text{ сек.}$

Ш. Проверяем достаточность быстродействия САР в форсированных и аварийных режимах.

На графиках $Q_p = f(h)$ и $Q_p = \varphi(S)$ по заданным скоростям V_h^p и V_h^a определяем соответствующие скорости изменения расходов V_q^p и V_q^a и перемещений затворов V_s^p и V_s^a при крайних значениях эксплуатационных расходов. По формуле (6) длительность цикла регулирования $T_{ц} = 834 \text{ сек.}$

Из зависимости (15) находим значение V_s^{cp} :
 $V_s^{cp} = 0,048 \text{ мм/сек} = 17,3 \text{ см/час.}$

По табл. 3 определяем $K_{\Phi} = 1,5$ и $K_A = 3$, после чего находим значения $K_{\Phi} V_s^{\Phi}$ и $K_A V_s^A$ и проверяем соблюдение неравенства (15). Расчеты сводим в табл. 4 :

Таблица 4

Q_p м ³ /сек	V_h^{Φ} см/час	V_h^A см/час	V_q^{Φ} м ³ /сек	V_q^A м ³ /сек	V_s^{Φ} см/час	V_s^A см/час	$K_{\Phi} V_s^{\Phi}$ см/час	$K_A V_s^A$ см/час
4,8	10	50	0,6	3,0	8,6	43	12,9	129
14,4	10	50	1,0	5,0	20	100	30	300

Так как условия неравенства (15) не выполняются, необходимо ввести коррекции длительностей импульсов и пауз в форсированном и аварийном режимах работы САР, увеличивающие соотношение $\frac{T_{\Phi}}{T_{\Psi}}$.

В нашем примере достаточно:

для форсированных режимов сократить длительность цикла регулирования T_{Ψ} в 1,8 раза, т.е. до 460 сек (например, за счет сокращения T_{Φ} до 420 сек);

для аварийных режимов:

при $Q_p = (0,4-0,8) Q_{\text{норм}}$, приняв $K_A V_s^A = 200$ см/час, сократить длительность цикла регулирования T_{Ψ} в 1,44 раза (чтобы использовать ту же коррекцию паузы, что и в форсированном режиме) и увеличить длительность импульса T_{Φ} примерно в 8 раз, т.е. до 160 сек;

при $Q_p = (0,8-1,2) Q_{\text{норм}}$, приняв $K_A V_s^A = 300$ см/час, сократить длительность цикла регулирования T_{Ψ} в 2,2 раза, т.е. до 380 сек, и увеличить длительность импульса до 160 сек (чтобы использовать ту же коррекцию импульса, что и в форсированном режиме); тогда T_{Ψ} составит 400 сек.

1У. Подбор электроподъемника по скорости, грузоподъемности и типу затвора производим в соответствии с рекомендациями типового проекта винтовых подъемников модели

В-66 /10/ и табл. 1.

Принимаем типовой винтовой электроподъемник марки БЭВДУ с однозаходной резьбой грузового винта и грузовой гайки 60x8 вместо 60 x /2x8/ по типовому проекту, что обеспечивает скорость перемещения затвора электроприводом на 1 м за 8,2 мин, или приблизительно 12,2 см/мин.

У. Подбор аппаратуры автоматики по расчетным значениям:

$$T_{\text{и}}^p = 20 \text{ сек} / 160 \text{ сек};$$

$$T_n = 784 \text{ сек} / 420 \text{ сек} / 200 \text{ сек};$$

$$T_3 = 20 \text{ сек}.$$

Рассмотрение технических данных устройства "Протос" [1] показывает, что оно удовлетворяет поставленным условиям и может быть принято в качестве авторегулятора.

Основное требование к датчику – обеспечение расчетной зоны нечувствительности $dh = \pm 3,5 \text{ см}$. В качестве датчика авторегулятора уровня принимаем комплект приборов типа "Баку-1":

датчик типа ДУП-250 на предел измерения 250 см уровня, являющийся первичным датчиком-указателем уровня [диапазон уровней по графику $Q_p = f(h)$, приведенному на рис. 7];

блок рассогласования типа БР-1-250 на тот же предел измерения, являющийся датчиком авторегулятора уровня.

Зона нечувствительности блока БР-1-250 настраивается при наладке на срабатывание управляющих контактов при отклонении уровня от заданного на $\pm 3,5 \text{ см}$.

Второй способ расчета релейно-импульсной САР уровня воды ("способ проб")

Этот способ расчета САР применим для действующих объектов.

Способ проб дает в ряде случаев более высокую точность определения параметров САР, так как "механически" учитывает нелинейности объекта регулирования в ходе проведения проб и возможные искажения расчетных взаимозависимостей параметров, вызываемые неточным исполнением об-

екта при строительстве.

Расчет по данному способу включает операции.

Сбор и обработка исходных данных, основными из которых являются:

диапазоны и необходимая скорость изменения эксплуатационных расходов и горизонтов воды;

размеры и количество водорегулирующих отверстий и затворов;

графики зависимостей расхода от уровня воды в створе установки датчика $Q_p = f(H)$ и от открытия затворов $Q_p = \varphi(S)$;

эксплуатационно-технологические требования к САР: устойчивость, точность и быстродействие авторегулирования.

Графики $Q_p = f(H)$ и $Q_p = \varphi(S)$ необязательны: метод проб позволяет обойтись и без них.

Определение методом проб основных параметров САР: исполненной технической скорости перемещения затвора,

V_s^u ; величины запаздывания объекта регулирования T_D при разных значениях Q_p ; характера "бытовых" колебаний расхода и уровня; относительной регулирующей способности затворов при разных значениях их открытий.

Определение расчетных значений длительностей импульсов, пауз и задержек.

Проверка САР на форсированные и аварийные режимы.

Подбор оборудования и аппаратуры.

Поясним применение способа проб для расчета САР уровня воды верхнего бьефа перегораживающего сооружения на примере.

Известно:

$$Q_{\text{норм}} = 15 \text{ м}^3/\text{сек.}$$

Количество затворов - 2.

Размеры отверстий - $b \cdot h = 2,5 \times 2 \text{ м.}$

Диапазон изменения $Q_p = 0,4 Q_{\text{норм}} \div 1,2 Q_{\text{норм.}}$

Скорость увеличения и снижения горизонтов в верхнем бьефе при форсированных режимах эксплуатации - $V_H^{\text{ф}} = 10 \text{ см/час.}$

То же при аварии - $V_H^A = 14 \text{ см/час.}$

Необходимая точность автоматического поддержания заданного уровня верхнего бьефа $\Delta H_{\text{доп}} = \pm 7 \text{ см.}$

Диапазон расчетного изменения уровня верхнего бьефа
– 1 м.

Сооружение работает с расходом $(0,8 + 1) Q_{\text{норм}}$ 60–80%
от периода вегетации.

Требуется определить:

Зону нечувствительности САР.

Длительность паузы – T .

Длительность регулирующих импульсов – $T_{\text{и}}$.

Длительность задержки импульса – T_3 .

Достаточность быстрогодействия САР в форсированных и
аварийных режимах.

Типы аппаратуры автоматики и оборудования.

Р е ш е н и е

1. Проведение проб.

Все затворы сооружения устанавливаем "в линейчку"
на одинаковые исходные открытия, равные последовательно
20, 40, 60, 80 и 100% от полного расчетного открытия за-
творов.

Предположим, что получены следующие данные:

S , см	: 40	: 80	: 120	: 160	: 200
Q , м ³ /сек	: 3,5	: 7,0	: 11,5	: 15,0	: 18,0
H , см	: 120	: 150	: 180	: 200	: 200

Дождавшись успокоения бьефов, засекаем время и пере-
мещаем затворы из указанных выше положений в сторону уве-
личения открытия на величину в 5+ 10% от полного рабочего
хода затворов. Определив величину и время перемещения за-
творов, подсчитываем среднюю фактически исполненную техни-
ческую скорость перемещения затворов по формуле:

$$V_s^u = \frac{\Delta S}{T_{\Delta S}}, \quad (17)$$

где V_s^u – исполненная техническая скорость перемещения
затвора, мм/сек;

ΔS – перемещение затвора за данную пробу, мм;

$T_{\Delta S}$ – соответствующая данной пробе длительность перемещения затвора, сек.

Одновременно в форме таблицы записываем через равные промежутки времени значения положения уровня начиная с момента перемещения затворов и кончая моментом установления нового гидравлического режима на сооружении и в его бьефах. Затем эти же затворы перемещаем в исходные положения и также записываем результаты наблюдений за пробным регулированием.

Для нашего примера результаты этих проб приведены в табл. 5.

Предположим, что перемещение затвора на $\Delta S = 10$ см заняло $T_{\Delta S} \approx 33$ сек. Отсюда

$$V_s^u = \frac{10 \cdot 10}{33} = 3 \text{ мм/сек.}$$

Из анализа результатов табл. 5 делаем следующие выводы.

Длительность запаздывания объекта увеличивается с уменьшением расхода сооружения, и при $Q_p = 0,4 Q_{\text{норм}}$ она составляет около 300 сек, а при $Q_p = 1,2 Q_{\text{норм}}$ – 90 сек.

С увеличением открытия затвора его относительная регулирующая способность (влияние на соответствующее изменение регулируемого уровня воды $\frac{\Delta H}{\Delta S}$) уменьшается (табл. 6).

Таблица 6

S , см	ΔS , см	ΔH , см	$\frac{\Delta H}{\Delta S}$
40	10	9	0,9
80	10	7	0,7
120	10	6	0,6
160	10	4	0,4
200	10	2	0,2
200	15	3	0,2

Регистрируем бытовые колебания уровня воды в колодце при трех разных установившихся значениях расходов, близких по величине $0,4 Q_{\text{норм}}$, $Q_{\text{норм}}$ и $1,2 Q_{\text{норм}}$; производя отсчеты через 2 + 5 сек на протяжении нескольких минут.

Результаты записываем в виде графика или таблицы. Так, из табл. 7 видно, что период "дыхания" воды в водомерном колодце составляет от 10 до 30 сек с амплитудой от $\pm 0,5$ до $\pm 1,5$ см.

П. Определение зоны нечувствительности САР. Она определяется по выражению (3), где K_T принимается равным 1,25:

$$\Delta H = \pm 5,6 \text{ см.}$$

Назначаем $\Delta H = \pm 5,5 \text{ см.}$

Щ. Определение длительности задержки импульса.

1. Диапазон эксплуатационных расходов, которые делятся 60-80% периода вегетационных поливов, составляет $0,8 + 1$

$Q_{\text{норм}}$, поэтому для среднего их значения находим по табл. 7 средний полный период бытовых колебаний уровня в водомерном колодце, $P \approx 20$ сек.

2. Находим время T_3 по формуле:

$$T_3 = 1,5 P, \quad (18)$$

где T_3 - длительность задержки (в нашем случае $T_3 = 30$ сек).

IU. Определение длительностей пауз.

Длительность паузы T_p вычисляется из выражения

$$T_p = K'_p T_o - T_3, \quad (19)$$

где K'_p - коэффициент запаса, принимаемый при способе проб в пределах 3 + 1,1:

T_o , сек	30+60	60+90	90+180	180+360	360+600	> 600
K_p^I	3,0	2,0	1,8	1,5	1,2	1,1

T_o определяем по табл. 5 как длительность периода от начала движения затвора до момента, после которого уровень в точке замера отличается от вновь установившегося значения не более чем на наперед заданную допустимую величину, которую обозначим как ΔdH . Последняя должна быть меньше заданной зоны нечувствительности dH .

$$\Delta dH \leq \pm (0,2 + 0,5) dH. \quad (20)$$

В нашем случае $\Delta dH \leq \pm 1,1 + \pm 2,8$ см.

Примем $\Delta dH \leq \pm 2$ см.

Найдя по табл. 5 значения T_o , по выражению (19) определяем соответствующие длительности пауз. Результаты сведены в табл. 8.

Таблица 8

$Q_p, \text{м}^3/\text{сек}$	$T_o, \text{сек}$	K_p^1	$T_p, \text{сек}$
6,0	180	1,5	240
15,0	60	3,0	150
18,0	30	3,0	60

Отношение $\frac{T_{п макс}}{T_{п мин}} = 4$, поэтому по условию (18) в

нормальных режимах эксплуатации коррекцию длительности паузы можно не вводить.

У. Определение длительности регулирующих импульсов может производиться по двум вариантам.

1-й вариант. По данным проб строятся графики зависимостей $Q_p = f(H)$ и $Q_p = \varphi(S)$, и затем расчет ведется аналогично расчету T по первому способу.

2-й вариант. По данным проб (см. табл. 8) строится график зависимости относительной регулирующей способности от величины открытия затворов $\frac{\Delta H}{\Delta S} = F(S)$ (рис. 10).

Затем для четырех значений Q_p в диапазоне от 0,4 $Q_{норм}$ до 1,2 $Q_{норм}$ находим значение T_p по формуле

$$T_u = \frac{dH}{V_u} \cdot \frac{1}{\frac{\Delta H}{\Delta S}}. \quad (21)$$

Результаты расчета сводим в табл. 9.

Таблица 9

$Q_p,$ м ³ /сек	$dH,$ мм	$V_s^u,$ мм/сек	$S,$ см	$\frac{\Delta H}{\Delta S}$	$T_{и},$ сек
6,0	55	3	≈ 70	0,75	24
11,5	55	3	120	0,60	31
15,0	55	3	160	0,40	46
18,0	55	3	200	0,20	82

Соотношение $\frac{T_{и \text{ макс}}}{T_{и \text{ мин}}} = \frac{82}{24} = 3,8 > 3$, условие

неравенства (12) не выполняется, и поэтому необходимо ввести коррекцию длительности регулирующего импульса.

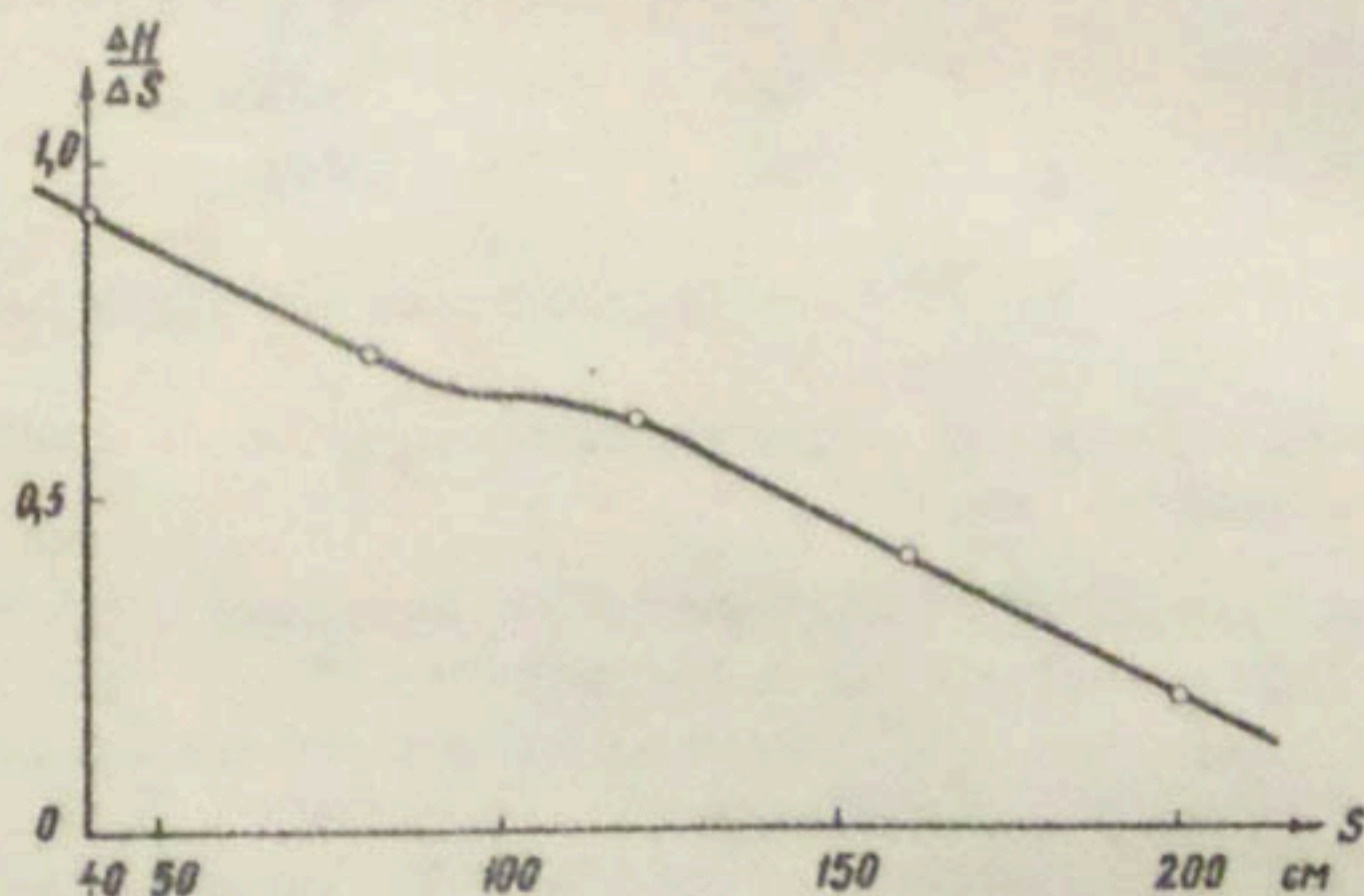


Рис. 10. График зависимости $\frac{\Delta H}{\Delta S} = F(S)$.

Учитывая, что соотношение $\frac{3,8}{3} \approx 1,3 < 2$, достаточно ввести дополнительно одну ступень коррекции. Тогда разбиваем зону регулирования на два участка, и по выражению (13) для каждого из них находим длительность $T_{и}^p$.

Расчет приведен в табл. 10.

Таблица 10

Q_p м ³ /сек	T и мин сек	T и макс сек	T^p и сек	$\frac{T}{T^p}$ и макс и мин	$\frac{T^p}{T}$ и макс и мин
6 + 15	24	46	35; (29+36)	$\frac{46}{24} = 1,9 < 3$	
15+ 18	46	92	60; (55+69)	$\frac{92}{46} = 2 < 3$	$\frac{60}{35} = 1,7 < 3$

Эта коррекция длительности импульса вводится в САР при расходе $Q_p = 15 \text{ м}^3/\text{сек}$.

У1. Проверка САР на достаточность быстродействия в форсированных и аварийных режимах делается аналогично первому способу или, если расчет T проводится по второму варианту, то нижеследующим образом.

Из зависимости (6) находим $T_{\text{ц}}$ и $\frac{T_{\text{ц}}}{T}$, по выражению (15) — $V_s^{\text{ср}}$, а затем по формуле взаимосвязи перемещения затвора и соответствующего изменения уровня, с учетом их скоростей

$$V_s = V_H \frac{1}{\frac{\Delta H}{\Delta S}} \quad (22)$$

Подставляя известные значения $V_H^{\text{ф}}$ и $V_H^{\text{а}}$ найденные по графику $\frac{\Delta H}{\Delta S} = F(S)$ и значения $\frac{\Delta H}{\Delta S}$, вычисляем величины $V_s^{\text{ф}}$ и $V_s^{\text{а}}$, а по табл. 2 определяем $K_{\text{ф}}$ и $K_{\text{а}}$. Расчеты приводим в табл. 11.

Q_p м ³ /сек	$\frac{T_{\text{н}}}{T_{\text{ц}}}$	$V_s^{\text{ср}}$ см/час	$\frac{\Delta H}{\Delta S}$	$V_s^{\text{ф}}$ см/час	V_s^A см/час	$K_{\text{ф}} V_s^{\text{ф}}$ см/час	$K_A V_s^A$ см/час
6,0	0,115	124	0,75	13	18,7	39	75
18,0	0,182	197	0,20	50	70,0	150	280

Проверка условий неравенства (15) показывает, что $V_s^{\text{ср}} < K_A V_s^A$. Поэтому необходима коррекция для увеличения $Q_{\text{макс}}$ до необходимых значений при расходах около $(1 + 1,2) Q_{\text{норм}}$. Для этого достаточно, например, увеличить в период аварийных режимов соотношение $\frac{T_{\text{н}}}{T_{\text{ц}}}$ до значения, равного:

$$\left(\frac{T_{\text{н}}}{T_{\text{ц}}} \right)^A = 0,182 \cdot \frac{280}{197} = 0,26.$$

УП. Подбор оборудования и аппаратуры автоматики проводится аналогично первому способу.

ЛИТЕРАТУРА

1. Устройство для автоматического регулирования уровня, перепада уровней или расхода воды на сооружениях гидромелиоративных систем "Протос". Регистрационный номер 65648 от 16 января 1968 г. Госкомитета СССР по делам изобретений и открытий.
2. В.М.Плотников, И.В.Купецкий. Датчики телеизмерения технологических параметров ирригационных сооружений. "Автоматизация и телемеханизация магистральных газопроводов". ЦНТИ Газпрома СССР, 1969.

3. В.М.Плотников, А.Л.Браинин. Новая аппаратура для контроля и регулирования уровней и расходов воды на гидротехнических сооружениях оросительных систем. Экспресс-информация. Серия 5, вып. 6. ЦБНТИ Гипроводхоза, 1968.
4. В.М.Плотников, И.В.Купецкий. Система приборов типа "Ташкент" для контроля и регулирования расхода воды в оросительных системах. "Газовая промышленность". Автоматизация и телемеханизация. ЦНТИ Мингазпрома СССР, 1966, № 12.
5. Н.Н.Новиков, С.А.Шальский. Телемеханизация типичной ирригационной системы. "Автоматизация и телемеханизация магистральных газопроводов". ЦНТИ Газпрома СССР, 1964, № 1.
6. Техническая информация на телемеханическое устройство ТЧР-61 (предварительная). Нальчикский ЗТА, 1962.
7. А.Р.Мансуров. Комплексное телемеханическое устройство типа "Гулистан" для автотелемеханизации водохозяйственных объектов. Информационный листок № 69 Средазгипроводхлопка, Ташкент, 1969.
8. Инструкция по устройству и применению динамического расходоуказателя ДРС-60. Ташкент, изд. ЗИПС, 1962.
9. Э.Э.Маковский, Н.А.Закусилов. Системы каскадного регулирования. В сб. "Гидравлические системы автоматизации ирригационных объектов". Фрунзе, изд. "ИЛИМ" АН КиргССР, 1965.
10. Типовые проекты № 820-4/67. Винтовые подъемники модели В-66 для затворов гидротехнических сооружений к типовым проектам 820-4/67; 820-5/67; 820-6/67 и 820-7/67. Переработанное издание. Алма-Ата, Госстрой СССР, Казахский филиал ЦИТП, 1968.
11. М.Д.Чертоусов. Гидравлика. М.-Л., ГЭИ, 1957.
12. А.Р.Мансуров. Технологические требования к электроподъемникам затворов автоматизируемых гидротехнических сооружений. Тезисы докладов и сообщений Всесоюзного семинара по автоматизации и телемеханизации ирригационных систем. М., изд. ММВХ СССР, ВДНХ СССР, АН КиргССР, 1967.

Р.М.ТЮМЕНЕВ

РАСЧЕТ И АНАЛИЗ ИМПУЛЬСНОЙ СИСТЕМЫ
АВТОРЕГУЛИРОВАНИЯ ИРРИГАЦИОННОГО
ОБЪЕКТА

В существующей практике проектирование локальных систем автоматического регулирования (САР) уровней и расходов воды ирригационных объектов осуществляется на основе приближенных расчетов. Выбор аппаратуры автоматики и электросилового оборудования с последующей настройкой САР осуществляется на построенном объекте методом многократных проб. Такой способ часто не позволяет достигнуть оптимальной настройки и качества работы взаимосвязанных систем, каковыми являются, например, каскадные ирригационные системы [1].

Известны также: методика расчета ирригационных систем авторегулирования Э.Э.Маковского [2], когда в качестве регулирующих средств применены автоматы гидравлического действия, и методика В.А.Рожнова [3] для систем с пропорционально-импульсными регуляторами электрогидравлического действия.

В практике применяются и системы стабилизации уровней и расходов воды с релейно-импульсными электрическими регуляторами. В данной статье излагается аналитическая методика расчета таких систем.

Рассмотрим САР, включающую объект регулирования и релейно-импульсный регулятор. Одним из наиболее распространенных объектов регулирования на открытых оросительных системах является "длинный бьеф", заканчивающийся гидроузлом, состоящим из водовыпуска и подпорно-сбросного со-

ружения. Основная задача авторегулирования на таком гидротехническом сооружении заключается в стабилизации расхода водовыпуска и уровня воды в подводящем канале. Эта задача обычно решается регулированием затворами сброса по командам авторегулятора, работающего с датчиком уровня в верхнем бьефе (рис. 1).

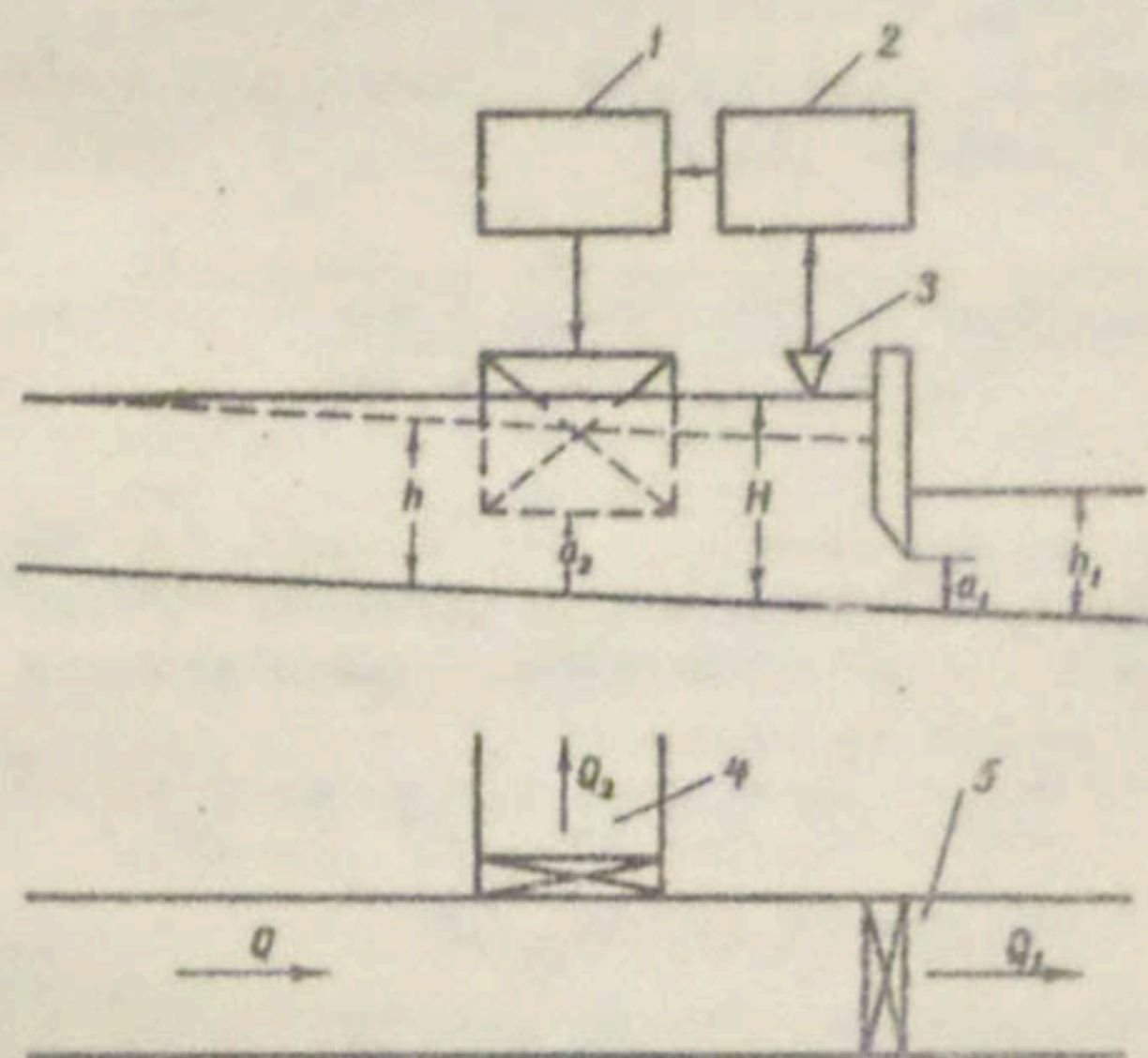


Рис. 1. Схема системы автоматического регулирования:
1 — электропривод затвора; 2 — релейно-импульсный авторегулятор; 3 — датчик уровня воды;
4 — подпорно-сбросное сооружение; 5 — водовыпуск.

Расчет элементов САР по предлагаемому способу включает сбор исходных данных (гидравлические параметры канала гидросооружений) и на основании их:

1. Составление передаточной функции разомкнутой системы регулирования, которое в свою очередь подразделяется на:

- 1) составление передаточной функции объекта регулирования;
- 2) составление передаточной функции исполнительного устройства;
- 3) составление передаточной функции автоматического регулятора;

4) собственно составление передаточной функции разомкнутой системы регулирования.

П. Составление передаточной функции замкнутой системы регулирования.

Ш. Анализ устойчивости системы авторегулирования.

1У. Построение, анализ переходных процессов и выбор настроек регулятора.

Ниже приводим расчет САУ с релейно-импульсными электрическими регуляторами ^{х)}.

I. Составление передаточной функции разомкнутой системы регулирования

Согласно теории линейных импульсных систем [4], передаточная функция разомкнутой системы $W(p)$ представляет собой произведение передаточных функций последовательно включенных ее звеньев:

$$W(p) = W_{од}(p) \cdot W_{уу}(p) \cdot W_{ф}(p), \quad (1)$$

или
$$W(p) = W_H(p) \cdot W_{ф}(p),$$

где $W_{од}(p)$ – передаточная функция объекта регулирования (ирригационного канала);

$W_{уу}(p)$ – передаточная функция исполнительного устройства (затвора с электроприводом);

$W_{ф}(p)$ – передаточная функция формирующего элемента (импульсного авторегулятора с позиционным датчиком);

$W_H(p) = W_{од}(p) \cdot W_{уу}(p)$ – передаточная функция непрерывной части системы;

$$p = \frac{d}{dt} \quad \text{.. оператор уравнения.}$$

х)

Автор данной статьи выражает благодарность кандидату технических наук В.А.Рожнову за творческую помощь в составлении уравнений.

1. Составление передаточной функции объекта регулирования

Передаточная функция объекта регулирования, состоящего из участка канала с длинным бьефом, одним подпорно-сбросным сооружением и одним водовыпуском со свободным истечением воды, определяется из уравнения в изображениях относительно изменения глубины воды в верхнем бьефе [5]:

$$Z(p) = \frac{L_4 p + K_4}{T_4 p + 1} \cdot \frac{\gamma_2}{X_1} [N_1 A_1 + N_2 A_2], \quad (2)$$

где $Z = \frac{\Delta H}{H}$ — изображение относительного отклонения глубины наполнения в верхнем бьефе гидроузла;

$A_1 = \frac{\Delta a_1}{a_1}$ — изображение относительного отклонения открытия затвора водовыпуска;

$A_2 = \frac{\Delta a_2}{a_2}$ — изображение относительного отклонения открытия затвора подпорного сооружения;

$N_1 = \frac{a_1}{Q_{1,2}} \cdot \frac{\partial Q_1}{\partial a_1}$ — характеристика пропускной способности водовыпуска;

$N_2 = \frac{a_2}{Q_{1,2}} \cdot \frac{\partial Q_2}{\partial a_2}$ — характеристика пропускной способности подпорного сооружения;

$\gamma_2 = \exp(\tau_2 \sqrt{a b})$ — коэффициент, учитывающий движение фронта и тела волны от водовыпуска до подпорного сооружения,

где $\tau_2 = \frac{S}{\frac{g w}{B} \cdot V^2} \cdot \sqrt{\frac{g w}{B}}$;

$$\sqrt{a b} = \frac{i x}{2 H} \cdot \sqrt{\frac{g w}{B}} ;$$

$$x = 2 \left(\frac{5 B H}{3 w} - \frac{4}{3} \frac{m' H}{\chi} \right) ;$$

$$x_1 = \left[\frac{h}{Q_{1,2}} \left(\frac{\partial Q_1}{\partial H} + \frac{\partial Q_2}{\partial H} \right) \right] - \frac{Bh}{w} \cdot \frac{V}{g} \quad - \text{коэффициент, учитывающий влияние пропускной способности водовыпуска и подпорного сооружения на движение фронта и тела волны;}$$

$$L_4 = \frac{\alpha}{1 + \alpha_1} \exp \left(\tau_2 \frac{a + b}{2} \right) T_4 ;$$

$$T_4 = H_4 \left[\left(\frac{L_4}{T_4} - K_4 \right) \frac{1}{\gamma^2} \right]^{-1} ;$$

где $H_4 = \left[\alpha + \tau_2 (1 - \mu) \beta \frac{1}{\lambda_1} - (1 + \mu \alpha_1) \frac{\beta}{\lambda_2} \right] ;$

$$\alpha = \frac{V}{g} ; \quad \mu = \frac{a + b}{2\sqrt{ab}} ;$$

$$a + b = 2 \frac{ig}{V} \left(1 - \frac{V^2 B}{g w} + \frac{V^2 x}{2 g H} \right) ;$$

$$\beta = 2i ; \quad \lambda_1 = c_1 + d_1 \sqrt{ab} ;$$

$$c_1 = \left[2 \frac{h}{Q_{1,2}} \left(\frac{\partial Q_1}{\partial H} + \frac{\partial Q_2}{\partial H} \right) - \frac{x}{2} \right] \frac{i}{x_1} ;$$

$$d_1 = \frac{H}{x_1} \sqrt{\frac{B}{g w}} ;$$

$$\frac{L_4}{T_4} = \frac{\alpha}{1 + \alpha_1} \exp \left[\tau_2 \frac{a + b}{2} \right] ;$$

$$K_4 = \frac{\beta}{\lambda_1} \gamma_2 .$$

В рассматриваемом примере объект регулирования характеризуется следующими параметрами:

$$Q = 4,0 \text{ м}^3/\text{сек}; \quad Q_1 = 2,5 \text{ м}^3/\text{сек}; \quad Q_2 = 1,5 \text{ м}^3/\text{сек};$$

$$i = 0,0004; \quad b = 2,0 \text{ м}; \quad m = 1,5; \quad n = 0,03;$$

$$H = 1,53 \text{ м}; \quad H_1 = 1,03 \text{ м}; \quad H_2 = 0,96 \text{ м}; \quad b_{ш1} = 3,0 \text{ м};$$

$$b_{ш2} = 2,0 \text{ м}; \quad a_1 = 0,384 \text{ м}; \quad a_2 = 0,323 \text{ м}. \text{ Обозначения без индекса относятся к подводящему каналу, обозначения с индексом 1 относятся к водовыпуску, а с индексом 2 - к подпорно-сбросному (транзитному) сооружению (см. рис.1).}$$

Значения частных производных $\frac{\partial Q}{\partial H}$ и $\frac{\partial Q}{\partial a}$ получим из графиков производных, приведенных в работе [2]:

$$\text{для водовыпуска} \quad \frac{\partial Q_1}{\partial H} = 2,98; \quad \frac{\partial Q_1}{\partial a_1} = 10,0;$$

для подпорного сооружения:

$$\frac{\partial Q_2}{\partial H} = 1,49; \quad \frac{\partial Q_2}{\partial a_2} = 6,66.$$

Тогда для коэффициентов уравнения (2) после подстановки исходных значений и подсчетов будем иметь:

$$x_1 = 0,12; \quad x = 4,064; \quad c_1 = 0,0046; \quad d_1 = 4,03;$$

$$\sqrt{ab} = 0,00167; \quad a+b = 0,01294; \quad \mu = 3,87;$$

$$\lambda_1 = 0,0113; \quad N_1 = 1,54; \quad N_2 = 1,44;$$

$$K_4 = 0,071; \quad \alpha = 0,062; \quad \tau_2 = 0; \quad H_4 = -79,8;$$

$$\frac{L_4}{T_4} = 0,0123; \quad T_4 = 1360; \quad L_4 = 33,4.$$

При возмущении вида единичного скачка и указанных значениях коэффициентов для рассматриваемого примера уравнение (2) принимает вид:

$$Z = \frac{400,8 p + 0,85}{1360p + 1} \cdot A_2, \quad (3)$$

а передаточная функция объекта регулирования

$$W_{od}(p) = \frac{400,8 p + 0,85}{1360p + 1},$$

или, обозначив $a = 400,8$; $b = 0,85$; $T_4 = 1360$,
получим

$$W_{od}(p) = \frac{ap + b}{T_4 p + 1}. \quad (4)$$

2. Составление передаточной функции исполнительного устройства

Исполнительное устройство, состоящее из плоского затвора, редуктора и электродвигателя, описывается согласно [6] уравнением:

$$(T_3 p + 1) p A_2 = Z k_1, \quad (5)$$

где T_3 — постоянная времени электродвигателя, причем для рассматриваемых объектов $T_3 \ll T_{упр}$
($T_{упр}$ — длительность команды управления);

k_1 — коэффициент усиления (скорость перемещения) привода с затвором.

Полагая $T_3 = 0$, можно считать характеристику исполнительного устройства линейной. Тогда выражение (5) примет вид: $A_2 p = Z k_1$. Отсюда передаточная функция исполнительного устройства

$$W_{uy}(p) = \frac{A_2}{Z} = \frac{k_1}{p}. \quad (6)$$

3. Импульсный регулятор. Составление передаточной функции формирующего элемента

Стабилизация уровня воды в верхнем бьефе гидроузла осуществляется импульсным регулятором и позиционным датчиком уровня, передаточная функция которых определяется формирующим элементом импульсного типа (прерывистого действия) [4]:

$$W_{ф.т.}(p) = k_u \frac{1 - e^{-\gamma T p}}{p}, \quad (7)$$

где T — длительность цикла регулирования;

k_u — коэффициент усиления формирующего элемента
(для релейно-импульсного регулятора $k_u = 1$);

$\gamma = \frac{T_u}{T}$ — скважность импульсов;

T_u — длительность регулирующего импульса;

(γ, T, T_u — параметры настройки регулятора).

В дальнейшем для удобства будем рассматривать процессы в функции относительного времени $\bar{t} = \frac{t}{T}$,
где t — текущее время. При таком изменении масштаба

времени относительный интервал повторения будет равен единице, относительная длительность импульса — скважности γ , а моменты съема данных $\bar{t}$ будут равны n
($n = 0, 1, 2, 3, \dots, n$).

Передаточную функцию импульсного элемента (7) в относительном масштабе времени получим, заменив в (7) оператор $p = \frac{q}{T}$:

$$W_{\varphi}(q) = k_u \frac{1 - e^{-\gamma q}}{q}. \quad (7a)$$

4. Составление передаточной функции разомкнутой системы регулирования

Структурная схема рассматриваемой САР состоит из импульсного элемента и непрерывной части (рис.2). Непрерывная часть включает объект и исполнительное устройство, ее передаточная функция при разомкнутой САР, с учетом уравнений (1), (4) и (6), примет вид:

$$W_H(p) = \frac{ap + b}{T_4 p + 1} \cdot \frac{k_1}{p}. \quad (8)$$

Передаточную функцию непрерывной части разомкнутой системы в относительном масштабе времени получим, заменив оператор p на $\frac{q}{T}$:

$$W_H(q) = \frac{\left(\frac{a}{T}q + \beta\right) k_1 T}{\left(\frac{T_4}{T} + 1\right) q} \quad (8)$$

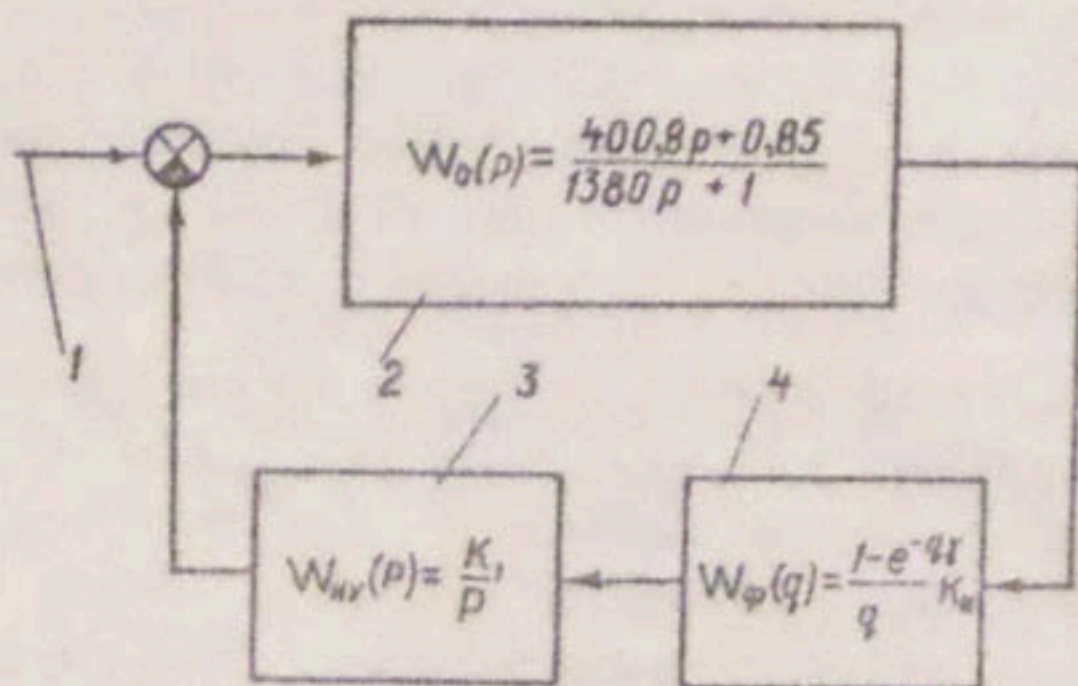


Рис. 2. Структурная схема САР:

1- возмущение; 2- объект регулирования;
3- исполнительное устройство (затвор с электроприводом); 4- формирующий импульсный элемент (авторегулятор с датчиком).

Введем обозначение $\beta = \frac{T}{T_4}$ и, умножив на β числитель и знаменатель выражения (8), получим:

$$W_H(q) = \frac{(aq + \beta T) k_1 \beta}{(q + \beta) q} \quad (10)$$

Передаточную функцию разомкнутой системы импульсного регулирования $W^*(q)$ (с учетом воздействия импульсного элемента на непрерывную часть системы) найдем из выражения (10) с учетом (7а):

$$W^*(q) = \frac{(aq + \beta T) k_1 \beta}{(q + \beta) q} \cdot \frac{(1 - e^{-qT})}{q} \quad (11)$$

Решение уравнения (11) при воздействии на систему последовательности импульсов в моменты времени $t = nT$ проводим, применяя принцип суперпозиции.

Обозначим через $\varepsilon = \frac{\Delta t}{T}$ относительное время, изменяющееся в интервале от 0 до 1, где T — период повторения импульсов, Δt — время, отсчитываемое от начала каждого импульса. Для вычисления $W^*(q)$ представим уравнение (11) разомкнутой импульсной системы в смысле дискретного преобразования Лапласа [4]. Для значений ε лежащих внутри импульса, и для значений ε вне импульса имеем:

$$W^*(q, \varepsilon) = c_{00} + c_{01} \left(\varepsilon + \frac{\gamma}{e^q - 1} \right) + \sum_{\nu=1}^{\ell-1} c_{\nu 0} \frac{e^q - e^{\gamma_{\nu}(1-\gamma)}}{e^q - e^{\gamma_{\nu}}} \cdot e^{\gamma_{\nu} \varepsilon} \quad \left. \vphantom{\sum_{\nu=1}^{\ell-1}} \right\} \quad (12)$$

$$0 \leq \varepsilon \leq \gamma,$$

$$W^*(q, \varepsilon) = c_{01} \frac{\gamma e^q}{e^q - 1} + \sum_{\nu=1}^{\ell-1} c_{\nu 0} \frac{(e^{\gamma_{\nu} \gamma} - 1)}{e^q - e^{\gamma_{\nu}}} \cdot e^{\gamma_{\nu}(\varepsilon - \gamma)}, \quad \left. \vphantom{\sum_{\nu=1}^{\ell-1}} \right\} \quad (13)$$

$$\gamma \leq \varepsilon \leq 1.$$

В этих выражениях

$$\left. \begin{aligned} c_{00} &= \frac{d}{dq} \left[\frac{k_u P_H(q)}{Q_{H_1}(q)} \right]_{q=0}, \\ c_{01} &= \frac{k_u P_H(0)}{Q_{H_1}(0)}, \\ c_{\nu 0} &= \frac{k_u P_H(q_{\nu})}{Q'_{H_1}(q_{\nu}) q_{\nu}^2} \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

Для рассматриваемой системы в формулах (14) на основании выражений (7) и (11) следует принять:

$$P_H(q) = (aq + \beta T) k, \beta,$$

$$Q_{H_1}(q) = q + \beta,$$

$$k_u = 1,$$

$$q_0 = q_1 = -\beta,$$

$$P_H(q_1) = (-a\beta + bT) k_1 \beta,$$

$$Q'_H(q_1) = 1$$

Тогда получим:

$$\left. \begin{aligned} c_{00} &= \frac{a}{dq} \left[\frac{(aq + bT) k_1 \beta}{q + \beta} \right]_{q=0} = \frac{k_1 (a\beta - bT)}{\beta}, \\ c_{01} &= bT k_1, \\ c_{10} &= \frac{(bT - a\beta) k_1}{\beta}. \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

Для рассматриваемой системы функции (12) и (13) с учетом зависимостей (14) и (15) примут вид:

$$W^*(q, \varepsilon) = \frac{k_1 (a\beta - bT)}{\beta} + bT k_1 \left(\varepsilon + \frac{\gamma}{e^\gamma - 1} \right) + \frac{(bT - a\beta) k_1}{\beta} \cdot \frac{e^\gamma - e^{-\beta(1-\gamma)}}{e^\gamma - e^{-\beta}} \cdot e^{-\beta\varepsilon} \quad (16)$$

для значений $0 \leq \varepsilon \leq 1$,

$$\text{и } W^*(q, \varepsilon) = bT k_1 \frac{\gamma e^\gamma}{e^\gamma - 1} + \frac{(bT - a\beta) k_1}{\beta} \cdot \frac{(e^{-\beta\gamma} - 1) e^\gamma}{e^\gamma - e^{-\beta}} \cdot e^{-\beta(1-\gamma)} \quad (17)$$

для значений $\gamma \leq \varepsilon \leq 1$.

П. Составление передаточной функции замкнутой системы регулирования

Передаточная функция замкнутой системы определяет--

ся по формуле (4):

$$W_3^*(q, \varepsilon) = \frac{W^*(q, \varepsilon)}{1 + W^*(q, 0)} = \frac{P(q)}{G(q)}. \quad (18)$$

Найдем многочлен $P(q)$ для двух случаев:
 1) $0 \leq \varepsilon \leq \gamma$ и 2) $\gamma \leq \varepsilon \leq 1$.

Приведя к общему знаменателю функцию (18) и группируя, получим

$$1) \quad 0 \leq \varepsilon \leq \gamma$$

$$\begin{aligned} P(q) = W^*(q, \varepsilon) = & e^{2q} k_1 [(\beta T - a\beta)(e^{-\beta\varepsilon} - 1) + \beta T \beta \varepsilon] + \\ & + e^q k_1 \left\{ [1 + e^{-\beta}(1 + e^{-\beta(1-\gamma)})e^{-\beta\varepsilon}] (\beta T - a\beta) + \beta T \beta (\gamma - \varepsilon e^{-\beta} - \varepsilon) \right\} + \\ & + k_1 [(\beta T - a\beta)(e^{-\beta(1-\gamma)}e^{-\beta\varepsilon} - e^{-\beta}) - \beta T \beta e^{-\beta}(\gamma - \varepsilon)]. \end{aligned} \quad (19)$$

Аналогично из выражения (17) найдем:

$$2) \quad \gamma \leq \varepsilon \leq 1$$

$$\begin{aligned} P(q) = W^*(q, \varepsilon) = & e^{2q} k_1 [(\beta T - a\beta)(e^{-\beta\gamma} - 1)e^{-\beta(\varepsilon-\gamma)} + \beta T \gamma \beta] + \\ & + e^q k_1 [(\beta T - a\beta)(1 - e^{-\beta\gamma})e^{-\beta(\varepsilon-\gamma)} - \beta T \gamma \beta e^{-\beta}], \end{aligned} \quad (20)$$

при этом для $0 \leq \gamma \leq 1$:

$$\begin{aligned} G(q) = & e^{2q} \beta + e^q [k_1 (e^{-\beta} - e^{-\beta(1-\gamma)}) (\beta T - a\beta) + \\ & + \beta (\beta T \gamma k_1 - 1 - e^{-\beta})] + k_1 (\beta T - a\beta) (e^{-\beta(1-\gamma)} - e^{-\beta}) + \\ & + \beta e^{-\beta} (1 - \beta T \gamma k_1). \end{aligned} \quad (21)$$

Уравнение замкнутой импульсной системы имеет вид

[M] :

$$U^*(q, \varepsilon) = \frac{W^*(q, \varepsilon)}{1 + W^*(q, 0)} \cdot U^*(q, 0). \quad (22)$$

Учитывая функции (19), (20), (21), получим

1) для значений $0 \leq \varepsilon \leq \gamma$

$$U^*(q, \varepsilon) = \frac{e^{2q} k_1 [(\beta T - a\beta)(e^{-\beta\varepsilon} - 1) + \beta T \beta \varepsilon] + e^q k_1 \{[1 + e^{-\beta} - (1 + e^{-\beta(1-\gamma)})] e^{-\beta\varepsilon}\}}{e^{2q} \beta + e^q \{k_1 [1 + e^{-\beta} - (1 + e^{-\beta(1-\gamma)})] (\beta T - a\beta) +$$

$$\cdot (\beta T - a\beta) + \beta T \beta (\gamma - \varepsilon e^{-\beta} - \varepsilon)\} + k_1 [(\beta T - a\beta)(e^{-\beta(1-\gamma)} e^{-\beta\varepsilon} - e^{-\beta}) -$$

$$+ \beta(k, \beta T \gamma - 1 - e^{-\beta})\} + k_1 (\beta T - a\beta)(e^{-\beta(1-\gamma)} - e^{-\beta}) +$$

$$\frac{-\beta T \beta e^{-\beta} (\gamma - \varepsilon)]}{+ \beta e^{-\beta} (1 - \beta T \gamma k_1)} \cdot U^*(q, 0). \quad (23)$$

2) для значений $\gamma \leq \varepsilon \leq 1$

$$U^*(q, \varepsilon) = \frac{e^{2q} k_1 [(\beta T - a\beta)(e^{-\beta\varepsilon} - 1) e^{-\beta(\varepsilon - \gamma)} + \beta T \gamma \beta] +$$

$$e^{2q} \beta + e^q \{k_1 [1 + e^{-\beta} - (1 + e^{-\beta(1-\gamma)})] (\beta T - a\beta) + \beta(k, \beta T \gamma - 1 - e^{-\beta})\} +$$

$$+ e^q k_1 [(\beta T - a\beta)(1 - e^{-\beta\varepsilon}) e^{-\beta(\varepsilon - \gamma)} - \beta T \gamma \beta e^{-\beta}]}{+ k_1 (\beta T - a\beta)(e^{-\beta(1-\gamma)} - e^{-\beta}) + \beta e^{-\beta} (1 - \beta T \gamma k_1)}$$

$$\cdot U^*(q, 0). \quad (24)$$

Ш. Анализ устойчивости системы авторегулирования

На устойчивость переходных процессов в импульсной системе влияют скважность регулирующих импульсов γ , период квантования T (сек) и коэффициент усиления (скорость перемещения) регулирующего затвора K_1 (м/сек).

Для определения области устойчивости применим критерий Гурвица [4]. Исследуем характеристическое уравнение замкнутой системы (21).

Обозначим:

$$\begin{aligned} \omega &= e^{\rho}; \\ \left. \begin{aligned} a_0 &= e^{-\beta}(\beta + a\beta k_1 - bTk_1 - bTk_1\gamma\beta) + e^{-\beta(1-\gamma)}(bTk_1 - a\beta k_1); \\ a_1 &= -\beta - \beta e^{-\beta} + k_1 e^{-\beta}(bT - a\beta) + bTk_1\gamma\beta + k_1 e^{-\beta(1-\gamma)}(a\beta + bT); \\ a_2 &= \beta, \end{aligned} \right\} \quad (25) \end{aligned}$$

Система устойчива при выполнении условий:

$$\left. \begin{aligned} 1) \quad a_2 + a_1 + a_0 &> 0 \\ 2) \quad a_2 - a_1 + a_0 &> 0 \\ 3) \quad a_2 - a_0 &> 0 \end{aligned} \right\}, \quad (26)$$

или:

$$1) \quad (1 - e^{-\beta})bTk_1\beta > 0, \quad (27)$$

$$2) \quad 2\beta(1 - e^{-\beta}) + 2(e^{-\beta(1-\gamma)} - e^{-\beta})(bT - a\beta)k_1 - bT\gamma\beta(1 + e^{-\beta})k_1 > 0, \quad (28)$$

$$3) \quad \beta - e^{-\beta}(bT - a\beta - \beta) + bT\gamma\beta e^{-\beta}k_1 - (bT - a\beta)e^{-\beta(1-\gamma)}k_1 > 0. \quad (29)$$

Решение неравенства (27) дает тривиальное условие $k_1 > 0$. На основании решения неравенств (28) и (29) построим график области устойчивости системы в функции пара-

метров β , γ (рис.3), по которому выбираются параметры настройки авторегулятора.

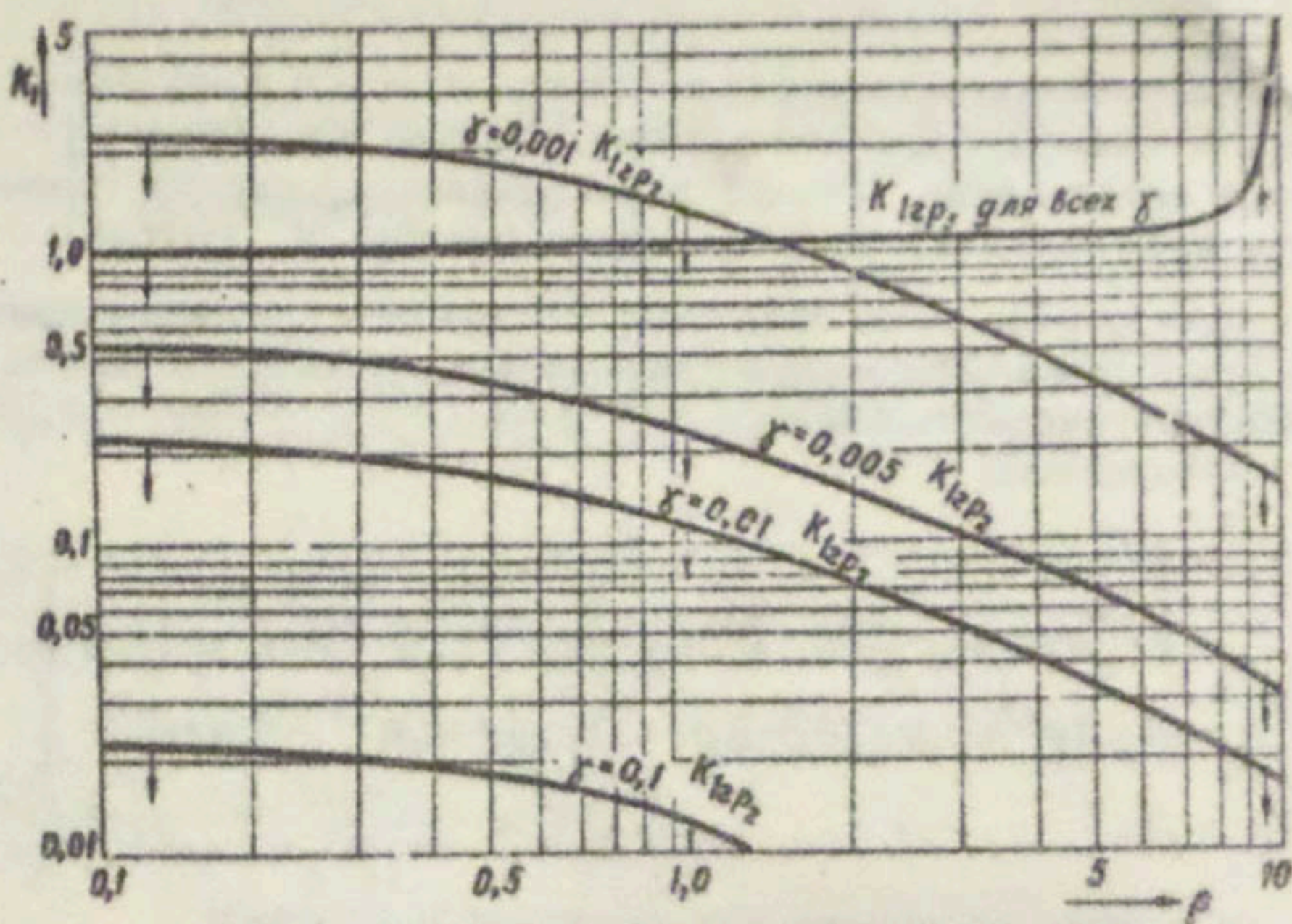


Рис. 3. График области устойчивости САР.

1У. Построение, анализ переходных процессов и выбор настроек регулятора

Качество регулирования в системе определяют по форме переходных процессов при стандартном возмущающем воздействии, например, единичным скачком. Качество переходного процесса при этом оценивается следующими основными критериями:

- динамическая ошибка переходного процесса,
- время регулирования,
- статическая погрешность,
- степень устойчивости процесса (скорость его затухания)

Качество процесса тем выше, чем меньше значения первых трех параметров и чем больше значения последних двух параметров.

Рассмотрим процессы регулирования при нескольких различных (например пяти) настройках регулятора, определяемых параметрами γ и T , в том числе и для автоколебательно-го режима работы системы.

Расчет динамики проведен по непрерывной части подстановкой принятых вариантов настройки авторегулятора. Исходные данные вариантов расчета приведены в таблице (рис. 4).

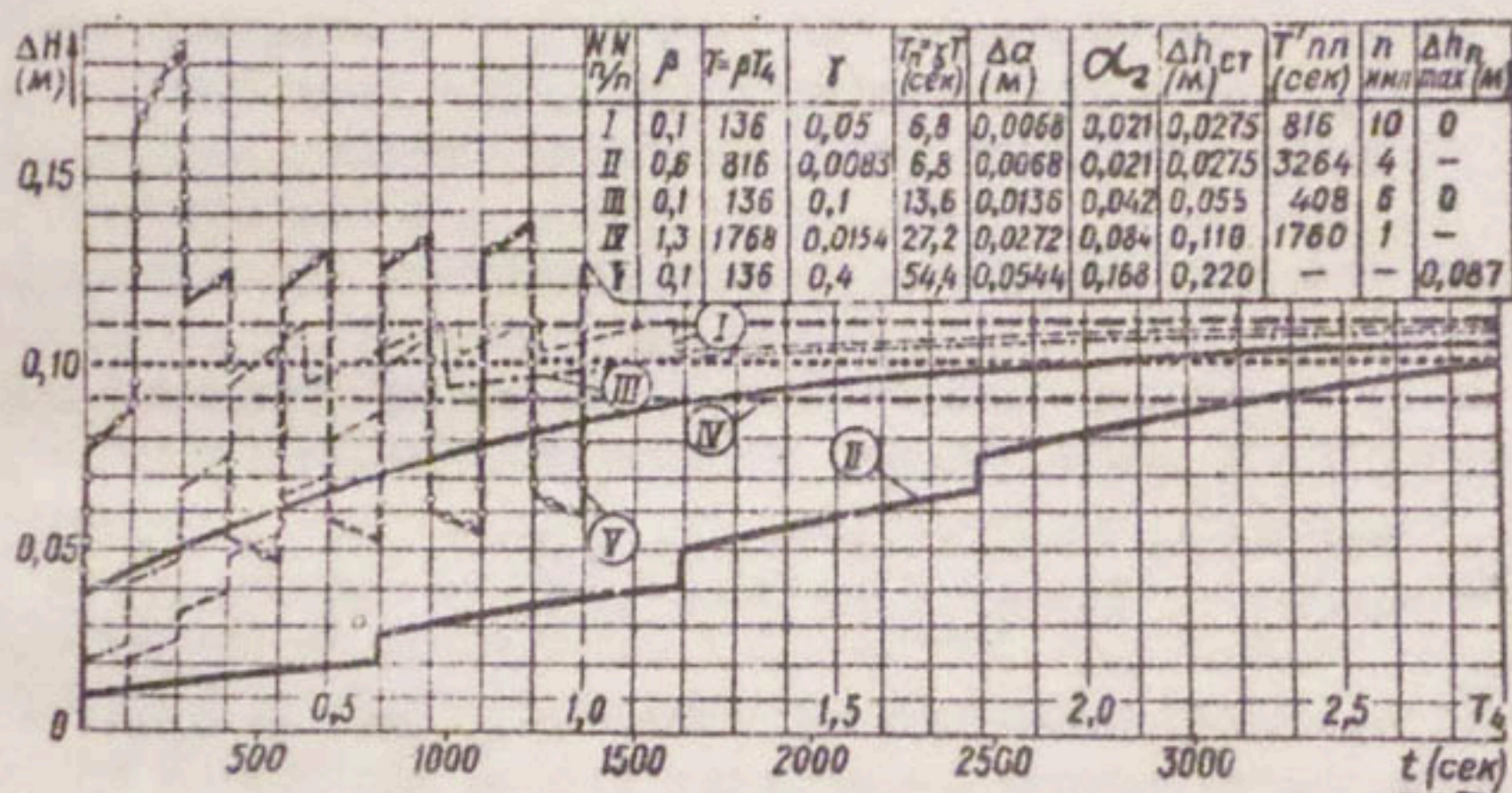


Рис. 4. График переходных процессов.

Из выражений (2), (6) и (7) находим $A_2 \rightarrow \alpha_2, \alpha_2 = \frac{K_1 T_u}{\alpha_2}$,

$T_u = \gamma \beta T_4$, тогда вместо уравнения непрерывной части системы (8) к расчету можно принять уравнение объекта (2). Решение уравнения (2) имеет вид [5]:

$$z = \left[\beta k_4 \left(1 - e^{-\frac{t}{T_4}} \right) + \alpha_2 \frac{L_2}{T_4} e^{-\frac{t}{T_4}} \right] \frac{\gamma_1}{x_2} N_2 \alpha_2, \quad (30)$$

где $z = \frac{\Delta H}{H}$,

$$\beta = 1,$$

$$\alpha = 1.$$

Расчет динамики проведен при возмущении вида единичного ступенчатого воздействия, т.е. изменения задания регулятору, например на $\Delta H = 0,1$ м.

Для рассматриваемого объекта выражение (30) принимает вид

$$y = \left[0,853 - 0,57 e^{-\frac{t}{13,66}} \right] \alpha_2. \quad (31)$$

Решение уравнения (31) для пяти вариантов с применением метода суперпозиции [6] графически изображено на рис. 4 (при зоне нечувствительности регулятора 0,02 м) и представляет собой характеристики переходных процессов системы.

Анализ полученных процессов позволяет сделать следующие выводы:

1. Устойчивый автоколебательный режим (вариант У) не может быть рекомендован из-за того, что:

а) при больших амплитудах колебаний уровня воды возникает опасность разрушения (размыва или оползания) дамбы канала;

б) при любых амплитудах колебаний, превышающих зону нечувствительности, происходит частое включение электродвигателя подъемника регулирующего органа, что приводит к преждевременному износу оборудования;

в) в случае наложения нескольких возмущений система может перейти в неустойчивый режим.

2. Для устойчивого, монотонного режима работы системы с релейно-импульсным регулятором должен назначаться импульс такой длительности, чтобы реакция объекта по приращению уровня в статике не превышала величины зоны нечувствительности системы. Следовательно, чем выше требуемая точность стабилизации, тем продолжительнее будет переходный процесс при одинаковом периоде квантования и при прочих равных условиях для регуляторов без коррекции импульса.

3. Длительность переходного процесса сокращается с уменьшением периода квантования (кривые I и III). Такие режимы могут быть рекомендованы при электроприводе малой мощности.

4. В некоторых случаях можно примириться с увеличением продолжительности переходного процесса, если не допускается частое включение электропривода (кривая II). Такой режим может быть рекомендован для локальных систем авторегулирования.

5. Кривая IV показывает возможный режим работы системы при применении пропорционально-импульсного регулятора.

Приведенная методика расчета переходных процессов и настроек САР с использованием принципа суперпозиции применена при расчете конкретной системы [7], где расчетные параметры процесса отличаются от практических примерно на 5%. Такую методику целесообразно применять для расчета и анализа динамики локальных объектов с большими значениями постоянной времени и взаимосвязанных систем с порядком уравнения САР не выше третьего. Уравнения более сложных систем, например каскадных, составляемые на основе исходных уравнений, аналогичных вышеприведенным, решаются с помощью аналоговых вычислительных машин, например типа ЭМУ-10.

ЛИТЕРАТУРА

1. Э.Э.Маковский, В.В.Волчкова. Динамика систем каскадного регулирования. Сб. "Гидравлические системы автоматизации ирригационных объектов". Фрунзе, изд-во "Илим", 1965.
2. Э.Э.Маковский, В.В.Волчкова. Статические характеристики гидравлических регуляторов расходов и уровней воды. Сб. "Системы каскадного регулирования ирригационных объектов". Фрунзе, изд-во "Илим", 1967.
3. В.А.Рожнов. Системы каскадного регулирования на ирригационных объектах с электрической обратной связью. Сб. "Каскадное регулирование на ирригационных объектах". Фрунзе, изд-во "Илим", 1970.

4. Я.З.Цыпкин. Теория линейных импульсных систем. М., ГИФМЛ, 1963.
5. Э.Э.Маковский. Граничные условия объектов регулирования оросительных систем. Сб. "Автоматизация объектов ирригационных систем". Фрунзе, изд-во "Илим", 1964.
6. М.В.Мееров. Введение в динамику автоматического регулирования электрических машин. М., изд-во АН СССР, 1956.
7. Научно-технический отчет за 1965 г. "Подбор, доработка конструкций и исследование работы внутрихозяйственной ирригационной сети с гидро- и электроавторегулированием". Архивные материалы Средазгипроводхлопка.

УДК 626.822 : 621.078

Б.С.ПЛУТНО
Н.Г.ЛУЧИНИН

АВТОМАТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА СТУПЕНЧАТОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ГОРИЗОНТОВ ВОДЫ НА ИР- РИГАЦИОННЫХ КАНАЛАХ

В настоящее время широко применяются автоматические системы регулирования на каналах постоянных горизонтов воды верхнего бьефа (А.Р.В.Б.), нижнего бьефа (А.Р.Н.Б.) и смешанного типа (А.Р.См.). Все они описаны в литературе [1].

Разработка этих систем связана со стремлением обеспечить гибкое и безаварийное водораспределение на основе планового водопользования.

Сущность А.Р.В.Б. заключается в том, что затворы на перегораживающих сооружениях автоматически поддерживают горизонт воды в верхнем бьефе на одном уровне. Это облегчает водораспределение и позволяет забирать стабилизированные расходы. Транзитный расход пропускается в нижний бьеф. Режим работы канала определяется расходом головного сооружения, который не связан автоматически с потребляемым в системе расходом. При колебании потребляемого расхода в системе может иметь место как недостаток воды, так и излишек, который приходится сбрасывать.

Система А.Р.Н.Б. избавлена от этих недостатков благодаря наличию зависимости между потребляемым расходом и расходом головного сооружения. Каждый затвор перегораживающего сооружения, поддерживая горизонт воды в нижнем

бьефе постоянным, реагирует на любое изменение потребляемого ниже расхода; эта реакция распространяется до головного сооружения, корректируя забор воды в систему. А.Р.Н.Б. позволяет создавать в канале резервные объемы воды. Недостатком системы являются повышенные объемы строительных работ из-за необходимости возведения горизонтальных дамб и сбросных сооружений в каждом бьефе, чтобы избежать аварийного переполнения канала при выходе из строя любого затвора.

Система А.Р. См. сочетает положительные качества А.Р.В.Б. и А.Р.Н.Б. и при нормальном режиме работает, как система А.Р.Н.Б. При выходе из строя какого-нибудь затвора нижележащие переходят на режим системы А.Р.В.Б. и транспортируют избыток воды в конец канала, где она удаляется в сброс. Так же, как системе А.Р.Н.Б., ей присущи повышенные объемы строительных работ.

Рассмотренные системы рациональны в условиях самотечного орошения, но не приспособлены к машинному, имеющему некоторые особенности.

Высокая стоимость оросительной воды требует особо бережного отношения к ней.

Насосные станции регулируют расходы, как правило, не плавно, а дискретно, ступенями, соответствующими производительности агрегатов.

При сочетании насосной станции как головного сооружения с каналом, работающим в режиме А.Р.В.Б., неизбежны холостые сбросы. Применение на таком канале систем А.Р.Н.Б. или А.Р.См. вообще невозможно, так как насосная станция не способна реагировать на каждое изменение в водопотреблении.

Очевидно, для решения задачи автоматизации машинных каналов необходимо создать на выходе насосной станции резервную емкость, способную перераспределять сток. Это позволило бы за ее счет покрыть неравномерность водопотребления в системе, автоматизированной по любой из вышеописанных схем (А.Р.В.Б., А.Р.Н.Б. или А.Р.См.), и сравнительно нечасто автоматически регулировать производительность насосной станции, меняя число работающих агрегатов.

Создать такую емкость можно несколькими путями. При наличии в непосредственной близости от напорного резервуара

станции или в районе первого бьефа канала естественного резервуара подходящего объема это не составляет труда. Относить ее на значительные расстояния нецелесообразно, так как это затруднит оперативность использования резерва. Можно разместить эту емкость непосредственно в первом бьефе машинного канала. Но в этом случае при больших неравномерностях водопотребления, чтоб избежать частых переключений агрегатов, необходимо иметь весьма значительный резервный объем.

Размеры бьефа при этом сильно увеличиваются, а оперативность использования резерва остается недостаточной. II в первом, и во втором случае наличие сконцентрированной массы почти неподвижной воды приведет к быстрому заплыву емкости. И, наконец, можно распределить эту емкость по всей длине машинного канала и с помощью специальной системы автоматического регулирования связать все бьефы канала с насосной станцией.

Такое решение значительно повысит оперативность использования резерва.

К системе автоматического регулирования в этом случае предъявляются особые требования. Она должна:

- 1) обеспечить потребителей водой при минимальных горизонтах в канале;
- 2) позволить накопить в канале резервный объем воды;
- 3) позволить использовать этот резерв в любом из бьефов, где возникла такая необходимость;
- 4) ограничить максимальную величину этого объема;
- 5) в случае возникновения аварийной ситуации транспортировать аварийный расход к сбросному сооружению;
- 6) при минимальных и максимальных горизонтах в канале автоматически включить или выключить один или несколько агрегатов.

Одним из возможных вариантов такой системы является система автоматического регулирования ступенчатого типа (А.Р.Ст.).

Впервые в Советском Союзе она была применена в институте "Средазгипроводхлопок" в 1968 г. в проектом задании автотелемеханизации и организации эксплуатации II очереди орошения таджикской части Дагъварзинской степи.

В то же время была предложена Укргипроводхозом си-

стема, близкая к описываемой [2], [3]. В проработках этой организации она называется системой регулирования постоянного перепада напоров.

Рассмотрим принцип работы системы А.Р.Ст. на примере канала машинного орошения, состоящего из трех бьефов и имеющего в качестве головного сооружения насосную станцию.

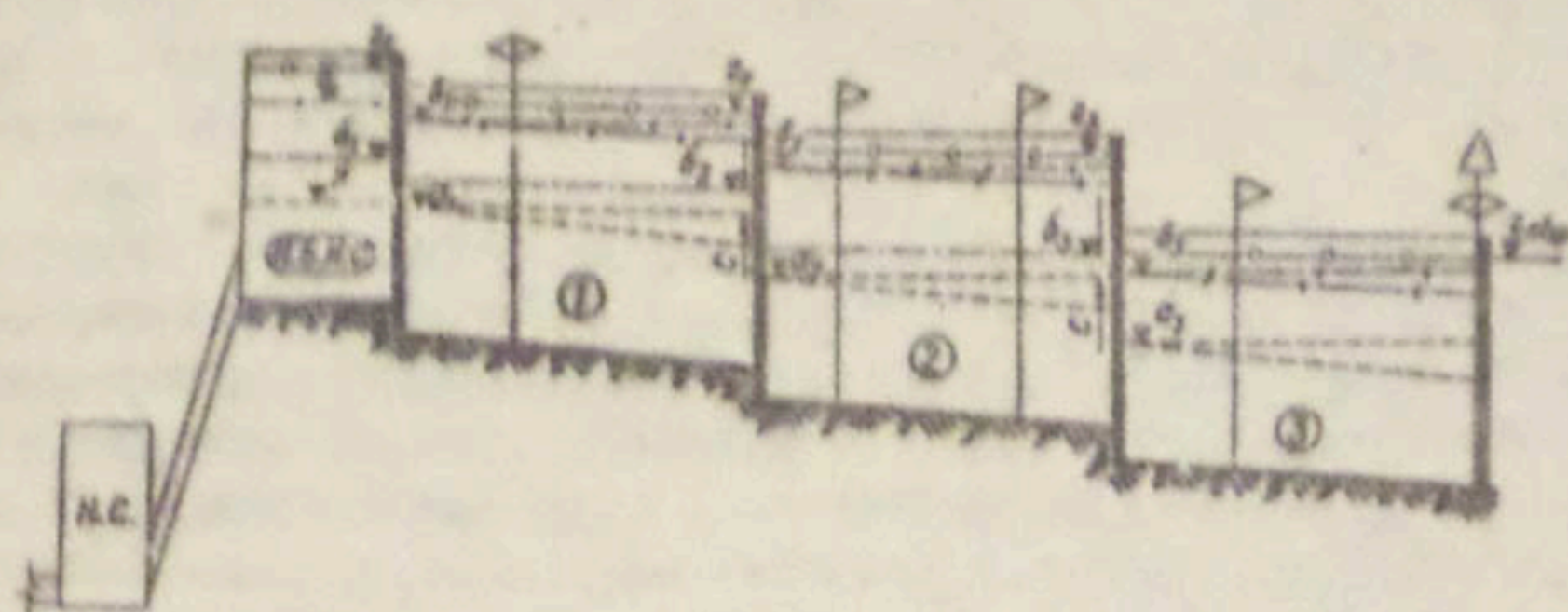
А.Р.Ст. осуществляется с помощью автоматизированных затворов ступенчатого действия, устанавливаемых на перегородивающих сооружениях.

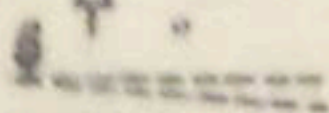
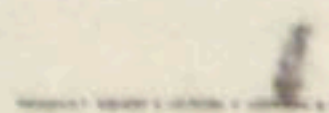
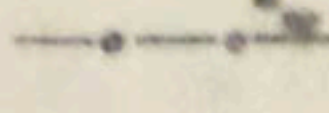
Эти затворы по мере наполнения канала поддерживают постоянный горизонт сначала в нижнем бьефе на отметке "а", затем в верхнем бьефе на отметке "б", открывают подщитовое отверстие, не препятствуя прохождению расхода через него, и, наконец, при максимальном наполнении канала в их нижнем бьефе опять переходят на регулирование постоянного горизонта воды нижнего бьефа на отметке "в". При аварийном переполнении верхнего бьефа до отметки "г" затворы снова должны переключиться на поддержание постоянного горизонта воды верхнего бьефа на этой отметке. Аварийную функцию можно возложить и на сифоны, автоматически сбрасывающие воду в нижний бьеф сооружения.

При опорожнении канала эти процессы протекают в обратном порядке.

Работа канала складывается из двух периодов — наполнение и опорожнение резервного объема, каждый из которых состоит из нескольких этапов.

Первый период начинается с включения насосной станции при пустом канале. Как правило, производительность насосной станции при этом превышает возможное потребление всех водопользователей на величину $Q_1 = Q_{\text{нас}} - \sum Q_{\text{водопольз.}}$. В соответствии с программой работы затворы ступенчатого действия как автоматы нижнего бьефа не препятствуют прохождению воды в концевую часть канала, откуда начинается заполнение его. Это продолжается до тех пор, пока горизонт в начале третьего бьефа не достигнет отметки "а" (см. рисунок). Автоматический затвор начинает поддерживать уровень на этой отметке. Излишки скапливаются во втором бьефе до тех пор, пока горизонт воды в его начале не достигает отметки "а₂" и стабилизируется на ней



- Н.С. - насосная станция;
 Н.В.Н.С. - напорный бассейн насосной станции;
 ② - бьеф № 2;
 - перегораживающее сооружение с автоматизированным затвором ступенчатого действия;
 - водовыпуск из канала;
 - сбросное сооружение;
 - возможные положения горизонтов воды в бьефах при работе канала в режиме регулирования по нижнему бьефу в нижнем пределе;
 - то же при работе канала в режиме регулирования по верхнему бьефу;
 - то же при работе канала в режиме регулирования по нижнему бьефу в верхнем пределе;
 - положение горизонтов воды в бьефах при пропуске аварийного сбросного расхода.

автоматом второго перегораживающего сооружения. Аналогичный процесс происходит и в первом бьефе. Этим заканчивается первый этап наполнения. Канал работает по типичной схеме А.Р.Н.Б. Пунктирная линия на рисунке иллюстрирует первый этап.

Избыток подачи насосной станции поднимает горизонт воды напорного бассейна, из которого берет начало первый бьеф, до отметки "б₁". Автоматический затвор первого перегораживающего сооружения, переключившись на работу по верхнему бьефу, не позволяет горизонту воды превысить ее. Излишки сбрасываются в первый бьеф, пока уровень воды в его конце не поднимется до отметки "б₂" и второй автомат переключается на режим А.Р.В.Б. Подобный процесс протекает во втором и в третьем бьефах. Второй этап наполнения заканчивается переходом всего канала на режим А.Р.В.Б.

Отметки уровней "б₁", "б₂" и т.д. выбираются с учетом, что кривая подпора в бьефе должна быть выше максимального горизонта воды первого этапа на величину "С", равную $5 + 10$ см.

Излишки подачи насосной станции транспортируются в последний бьеф и накапливаются в нем. Горизонт растет и, наконец, делает невозможной работу автоматического затвора в режиме А.Р.В.Б. С этого момента, согласно программе, автомат открывается, не препятствуя прохождению воды в последний бьеф и накоплению в нем максимально необходимого резерва. Аналогичный процесс переходит из бьефа в бьеф, пока не заполнится весь резервный объем канала. Как только горизонт воды в последнем бьефе достигнет отметки "в₃", положение которой определяется технико-экономическими соображениями, затвор начинает поддерживать этот уровень постоянным. Подобный процесс происходит затем во втором и в первом бьефах. Так заканчивается третий этап, характеризующийся переходом всех бьефов канала на режим А.Р.Н.Б. при заполненном максимально необходимым резервном объеме.

Излишки подачи станции скапливаются в напорном бассейне, уровень в нем поднимается до отметки "к", на которой устанавливается датчик авторегулятора, уменьшающего производительность насосной станции выключением одного или нескольких агрегатов. На этом заканчивается период напол-

нения. Очевидно, в период наполнения потребление из канала может меняться в любых пределах. От этого будет меняться скорость наполнения, но это не повлияет на качество водопользования и режим работы насосной станции.

Если на конечном этапе наполнения в системе возникнет аварийная ситуация и горизонт воды в каком-нибудь из бьефов достигнет отметки "г", включается аварийная защита по верхнему бьефу, аварийный расход транспортируется в последний бьеф и удаляется в сброс.

В наиболее вероятном общем случае подача насосной станции после выключения части агрегатов становится меньше потребляемого в системе расхода на величину $Q_2 = \sum Q_{\text{водопотр}} - Q_{\text{нас}}$. Наступает второй период работы системы А.Р.Ст. — период опорожнения.

Вначале система работает в режиме А.Р.Н.Б., поэтому недостаток воды Q_2 покрывается за счет небольшого резерва напорного бассейна и за счет запаса первого бьефа. Как только горизонт воды в первом бьефе станет падать, первый автоматический затвор перестает поддерживать горизонт нижнего бьефа, позволяя расходовать основную часть резервного объема первого бьефа между отметками "в₁" и "б₂".

Падение уровня в первом бьефе приведет к тому, что затвор второго перегораживающего сооружения не сможет поддерживать горизонт второго бьефа постоянным и позволит расходовать резерв второго бьефа.

Опорожнение резерва напорного бассейна приостановится, когда горизонт воды в нем опустится до отметки "б₁". Первый затвор перейдет на поддержание постоянного горизонта на указанной отметке. Аналогичное произойдет и в первом бьефе, когда уровень в конце его достигнет отметки "б₂", — второй затвор переключится на поддержание постоянным этого горизонта.

Процесс распространяется из бьефа в бьеф, пока весь резервный объем, заключенный между отметками бьефов "в" и "б", не будет израсходован; система перейдет в режим А.Р.В.Б. Дальнейшее использование остатков запаса последнего бьефа приводит к падению горизонта в его начале до отметки "а₃", с которой затвор последнего перегораживающего сооружения переходит на поддержание горизонта воды своего ниж-

него бьефа на указанной отметке. Недостаток воды покрывается за счет резерва второго бьефа, заключенного между отметками "б₃" и "а₂". Уровень второго бьефа падает до отметки "а₂", и процесс повторяется до тех пор, пока все резервы канала не будут израсходованы и он снова не перейдет в режим А.Р.Н.Б.

Дальнейшее покрытие разности Q_2 приводит к быстрой сработке небольшого резерва напорного бассейна, заключенного между отметками "б₁" и "Н". На отметке "Н" располагается датчик авторегулятора, управляющего включением дополнительных агрегатов.

Цикл наполнение — опорожнение повторяется.

В описанном выше режиме работы системы А.Р.Ст. резервные объемы накапливаются и опорожняются произвольно во времени, по мере необходимости. Возможен и иной режим работы — по определенной программе, когда резервный объем заполняется, скажем, ежедневно в намеченное время, выгодное по каким-либо соображениям, а расходуется по мере необходимости.

Система А.Р.Ст. может быть применена и на каналах машинного орошения, имеющих несколько ступеней подъема.

Ее можно применять и на самотечных каналах в случаях, когда возникает необходимость создать в них значительные резервные объемы.

Таким образом, описанная в настоящей статье система обладает всеми преимуществами систем А.Р.Н.Б. и А.Р.См. и имеет, кроме того, ряд дополнительных положительных качеств:

- 1) позволяет создавать в канале резервные объемы значительной величины;
- 2) использование резервного объема отличается гибкостью и оперативностью;
- 3) обеспечивает надежное сопряжение дискретного режима насосной станции с произвольным режимом водопотребления без сбросов и недостатка воды.

Вместе с тем в этой системе усугубляются некоторые недостатки, присущие системам А.Р.Н.Б. и А.Р.См.:

- 1) значительно увеличивается строительная высота канала и объемы строительных работ;

2) возрастает опасность вывадения наносов и зарастания канала.

Применение системы А.Р.Ст. требует решения ряда вопросов, связанных с разработкой и исследованием средств автоматического регулирования, которые способны выполнить заданную программу, с выбором оптимального количества агрегатов насосной станции и их производительности, с разработкой возможности частого включения и выключения электродвигателей насосных агрегатов и др. Решение поставленных задач оправдывается большим объемом предстоящих работ по машинному орошению.

ЛИТЕРАТУРА

1. И.Б.Хамадов, Ф.Я.Эйягори, Л.А.Ом. Системы гидравлического авторегулирования на оросительных каналах. "Гидротехника и мелиорация", 1967, № 3.
2. П.И.Коваленко. Исследование устройств для автоматического регулирования уровней воды в каналах оросительных систем (на примере Украинской ССР). Автореферат диссертации на соискание ученой степени канд. техн. наук, Ровно, 1970.
3. Временные указания по проектированию автоматизации водораспределения на оросительных системах, Книга I. Проект. Киев. Укргипроводхоз, 1970.
4. М.З.Гайкин. Автоматизация и телемеханизация мелиоративных систем. М., "Колос", 1965.
5. Г.Я.Дзевенцкий. Автоматизация ирригационных систем Узбекистана и методы определения ее экономической эффективности. Ташкент, Мнисельхоз УзССР. Институт экономики и организации с.-х. производства, 1961.
6. Средазгипроводхлопок. Проектное задание автоматизации и телемеханизации водораспределения на совхозном распределителе ЮР-18-3. Том II, книга I. Ташкент, 1964.
7. Средазгипроводхлопок. Проектное задание автоматизации и организации эксплуатации II очереди орошения таджикской части Дальварзганской степи. Том V, книга 4. Ташкент, 1968.

УДК 621.3.083.7

Г.Г.КУНДЕЛЕКОВ
Ш.С.КАРИМОВ

ЧАСТОТНЫЙ ДАТЧИК ТЕЛЕИЗМЕРЕНИЯ

В настоящее время в различные отрасли народного хозяйства все шире внедряются средства телемеханики, позволяющие оперативно управлять производственными процессами на значительном расстоянии от контролируемых объектов. Система телемеханики выдает диспетчеру, управляющему технологическим процессом, сведения о величине параметра в контролируемой точке, характере его изменения, скорости изменения, наличии аварийной ситуации и т.д.

Диспетчеризация производственных процессов в энергетике, газовой промышленности, ракетостроении, ирригации требует надежных систем телемеханики. И если эта задача практически решена в энергетике и ракетостроении, то в газовой промышленности и ирригации сделаны лишь первые шаги.

Разветвленная сеть ирригационных каналов с ее многочисленными сооружениями предъявляет специфические требования к системам телемеханики и ее элементам, чем и обусловлена необходимость создания специальных телесистем для ирригации. Опытные экземпляры одной из них — ТЧР-61, выпускаемой Нальчикским заводом телемеханической аппаратуры для ирригационных и газовых сетей, установлены и работают на Невинномысском канале и канале ТМ-1 в Таджикской части Голодной степи. Сделана попытка использовать ТЧР-61 на трассе газопровода в Ташкентском управлении

магистральных газопроводов.

Одним из наиболее важных элементов системы телемеханики является датчик, преобразующий величину контролируемого параметра в частотный сигнал, который принимается и расшифровывается на диспетчерском пункте. От чувствительности и точности преобразования датчика зависит точность измерения величины контролируемого параметра, а следовательно, и точность регулирования оператором технологического режима в контролируемой точке канала или газопровода.

Телемеханический датчик для контроля параметров ирригационных систем должен отвечать следующим основным требованиям:

быть простым по конструкции;

быть удобным в эксплуатации и иметь простую настройку;

иметь привязку к наиболее употребительным типам первичных датчиков, регистрирующих механические перемещения;

иметь высокую стабильность параметров при изменениях питающего напряжения, колебаниях температуры окружающей среды и повышенной влажности воздуха (согласно требованиям ГОСТа);

иметь достаточную "разрешающую способность", или чувствительность, позволяющую с необходимой степенью точности улавливать изменения технологического режима на всем диапазоне измерения;

иметь линейную характеристику преобразования;

иметь небольшую потребляемую мощность.

Для преобразования величины измеряемого параметра в частотный сигнал в ТЧР-31 используются универсальные телеизмерительные приставки УТП-1а.

Паспортные технические данные УТП-1а

Угол поворота входной оси

минимальный

6°

максимальный

26°

Момент на входной оси

не более 25 г·см

Частотный диапазон генератора

2000-2700 гц

Напряжение питания (ток постоянный)

22,5 ± 10% в

Потребляемая мощность

0,05 вт

Основная погрешность

1,5 %

Принцип действия УТП-1и основан на преобразовании линейных перемещений ферритового стержня в поле трансформатора резонансного контура в пропорциональные им изменения частоты генератора. Усилие, действующее на входную ось УТП-1и, с помощью регулируемых рычагов передается на ферритовый стержень, вызывая его перемещение в поле трансформатора резонансного контура.

Лабораторные испытания телеизмерительных приставок УТП-1и, проведенные в отделе гидротехнических исследований института "Средазгипроводхлопок", а также опыт производственной эксплуатации их на Невинномысском и ТМ-1 каналах и на газопроводах в Ташкентском управлении магистральных газопроводов позволили выявить ряд недостатков в устройстве УТП-1и и его работе. Наиболее существенные из них:

1. Невозможность практически получить паспортную точность преобразования измеряемых параметров приставкой в частотный сигнал. Максимальный диапазон перемещения сердечника, соответствующий максимальному углу поворота входной оси приставки (20°), у разных экземпляров УТП-1и различен и равен 7-9,5 мм. При точности преобразования 1,5% приставка должна быть чувствительна к перемещениям сердечника в 0,1-0,14 мм, что соответствует углу поворота входной оси в $0,3^{\circ}$. Однако наличие зазоров и сил трения при сравнительно больших геометрических размерах рычажных передач, а также некачественная обработка поверхностей трущихся деталей в местах их сопряжений значительно понижают чувствительность реальных приставок УТП-1и. Это особенно заметно при замерах на "прямом" и "обратном" ходах, когда контролируемый параметр совершает небольшие колебания. В приводимой таблице даны показания величины давления на трассе газопровода-отвода к городам Алматы-Ахангарану, снятые визуально с манометра в точке замера и с выхода телеизмерительной приставки УТП-1и, сопряженной с манометром.

Замер давления на 32-м километре трассы
газопровода-отвода к городам Алмалыку и
Ахангелану

Величина давления по манометру, ати	Показания УТП-1а, перес- читанные в давление по формуле $\frac{(F - 2000) \times 40}{700}$ ати:	Погреш- ность, %
--	---	---------------------

27,4	26,4	3,7
28,4	27,2	4,2
27,0	25,4	3,9
27,5	26,4	4,0
27,4	26,4	3,7
28,0	28,0	3,7
28,0	28,0	3,7
34,1	32,8	4,2
30,0	28,8	4,0
27,0	28,0	3,7
35,0	33,8	4,2
35,0	32,8	6,3
28,2	27,2	3,7
27,0	28,0	3,7
28,5	25,4	4,0
35,0	36,8	5,1

F — частота на выходе УТП-1а, гц.

В качестве первичного датчика для визуального контро-
ля величины давления использован манометр на $P = 40$ ати,
заводской номер 355745, класс точности — 1,5%. Указанный
экземпляр УТП-1а при лабораторной настройке имел паспорт-
ную погрешность по всему диапазону измерений. Как видно
из таблицы, расхождения в показаниях доходят до 1-2 ати,
т.е. 3-5% от диапазона.

2. Изменение параметров приставки во времени при
эксплуатации вследствие износа трущихся поверхностей ее
конструктивных узлов. Это особенно заметно при работе
системы трущихся деталей "флажок" — "тарелка". Из-за до-

вольно большого момента (25 г.см) и наличия острой кромки у "тарелки" последняя нарезает бороздку на рабочей поверхности "флажка", что приводит к дополнительным погрешностям преобразования, сравнимым с основной погрешностью преобразователя.

3. Нелинейность характеристики преобразователя, определяемая неравномерностью характеристики резонансного трансформатора, которая должна компенсироваться нелинейностью рычажной передачи. Однако из-за некачественно изготовленных деталей нелинейность характеристики резонансного трансформатора не компенсируется.

4. Сложность настройки приставки.

Нами исследовались существующие схемы управляемых генераторов с целью применения их в качестве датчиков - преобразователей для частотных систем телеизмерения. Наиболее приемлемой оказалась схема генератора, управляемого током. Основные узлы датчика: первичный преобразователь, - потенциометр, усилитель тока и генератор (рис.1).

Преобразование угловых и линейных перемещений в частоту происходит следующим образом. Усилие от вала, связанного с поплавком или каким-либо другим датчиком механических перемещений, передается на ось потенциометрического преобразователя, включенного на входе усилителя постоянного тока. Изменение напряжения на входе усилителя постоянного тока приводит к изменениям тока в обмотке подмагничивания резонансного трансформатора генератора, что, в свою очередь, изменяет частоту генератора.

В качестве потенциометрических преобразователей используются прецизионные потенциометры ПЛ1-1 или ПЛ1-2. Еще большую точность преобразования можно получить при применении многооборотных потенциометров за счет исключения погрешностей редуктора.

Высокая точность и линейность намотки потенциометра, малые усилия для поворота его входной оси (≤ 3 г.см), сравнительно небольшие геометрические размеры делают возможной его привязку к большинству чувствительных первичных датчиков и регистрирующих приборов. Привязка телемеханических преобразователей к датчикам с потенциометрическим преобразователем, применяемым в настоящее время

в ирригации [1], [2], вообще не представляет трудностей, так как в этих приборах применены указанные потенциометры.

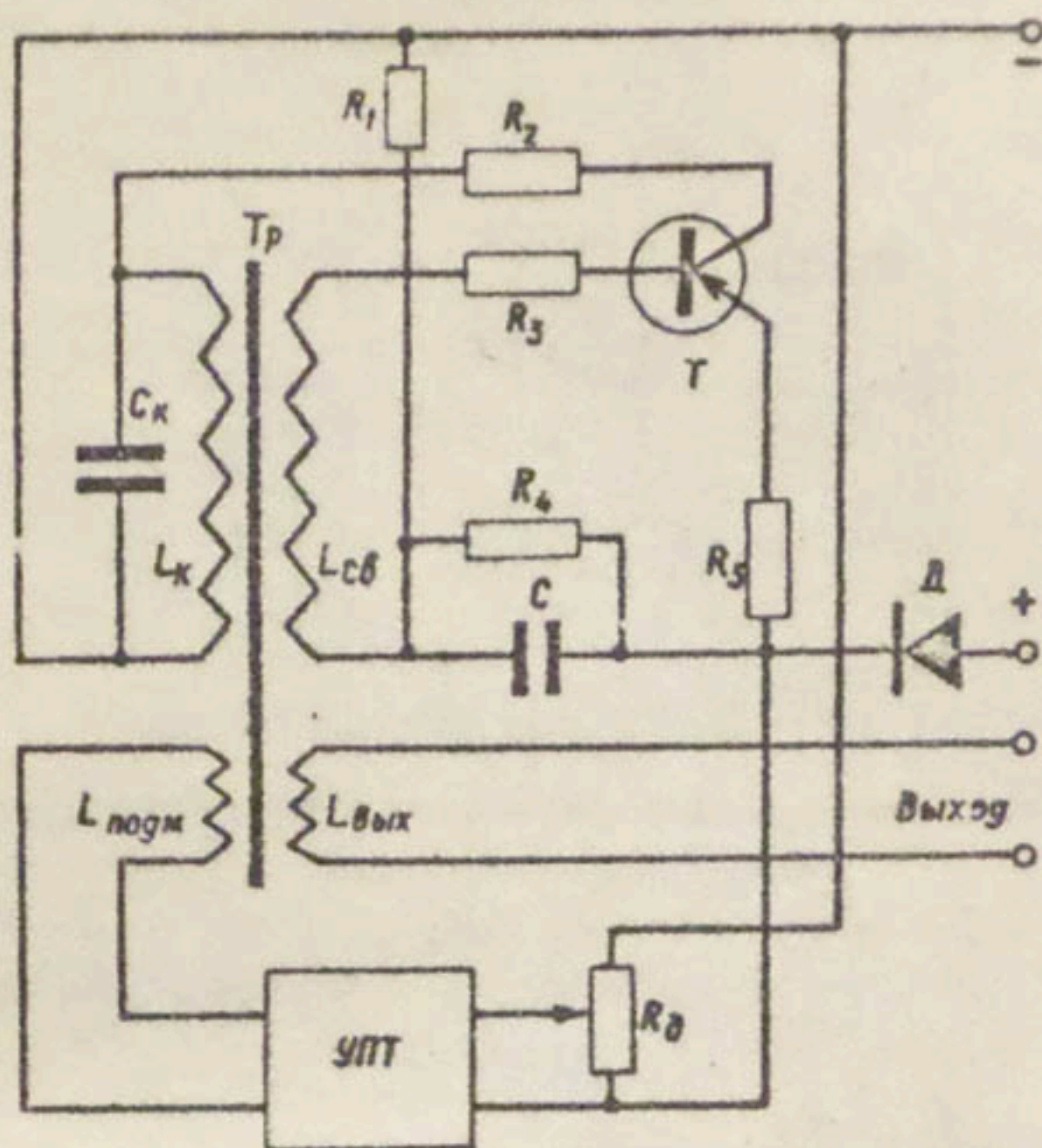


Рис.1. Электрическая схема частотного датчика телеизмерения.

Усилитель постоянного тока выполнен на полупроводниковом триоде и представляет собой обычный эмиттерный повторитель с включенной на его выходе обмоткой подмагничивания резонансного трансформатора генератора.

Основным элементом генератора, преобразующим ток в частоту, является резонансный трансформатор, включенный в колебательный контур генератора. Сердечник трансформатора Ш-образный, выполнен из магнитномягкого материала — пермаллоя. На рис. 2 показана схема расположения обмоток резонансного трансформатора. Обмотка подмагничивания наматывается на средний стержень сердечника, остальные обмотки — на крайние стержни; на каждый из них приходится половина витков рабочей обмотки.

В зависимости от силы тока, протекающего по обмотке подмагничивания, меняется магнитная проницаемость сердеч-

ника, что приводит к изменению индуктивности, а следовательно, и частоты генератора, в колебательный контур которого включена индуктивность резонансного трансформатора.

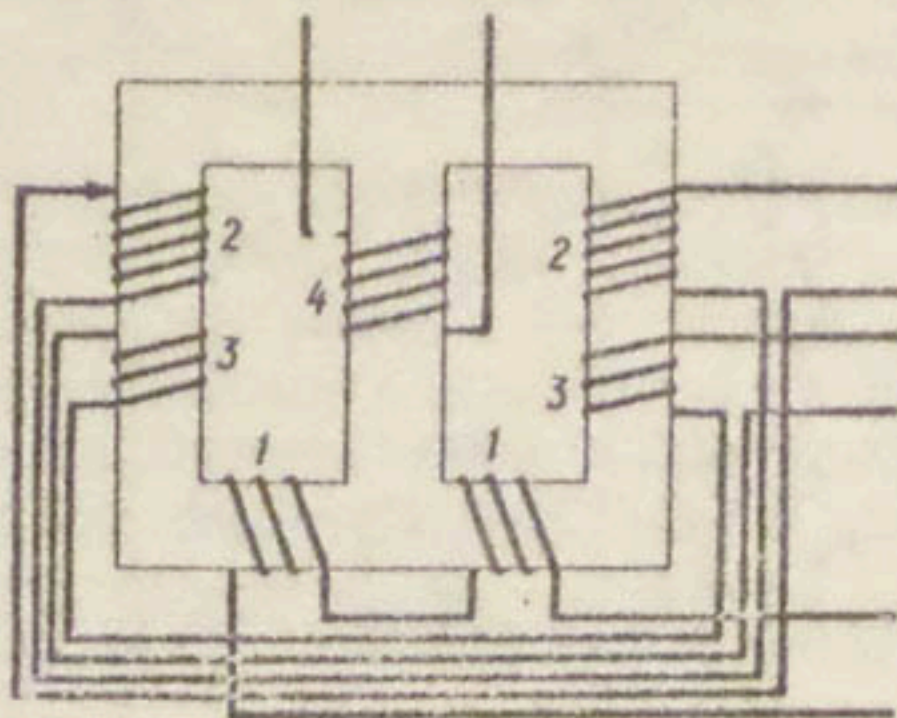


Рис.2. Схема трансформатора частотного датчика телеизмерения:

1- обмотка контура; 2- обмотка обратной связи; 3- выход; 4- обмотка подмагничивания.

На рис.3 представлены кривые изменения частоты генератора в зависимости от угла поворота входной оси для нескольких экземпляров телемеханической приставки УТП-1и и описываемого частотного датчика телеизмерения. Кривая, снятая с выхода указанного частотного датчика телеизмерения, выгодно отличается от кривых, снятых с выхода телемеханических приставок УТП-1и.

Описываемый частотный датчик телеизмерения отличается также простотой настройки и перестройки в диапазоне частот от 50 гц до 100 кгц. Перестройка осуществляется изменением тока подмагничивания с помощью дополнительных корректирующих резисторов, включенных или на входе, или на выходе усилителя постоянного тока.

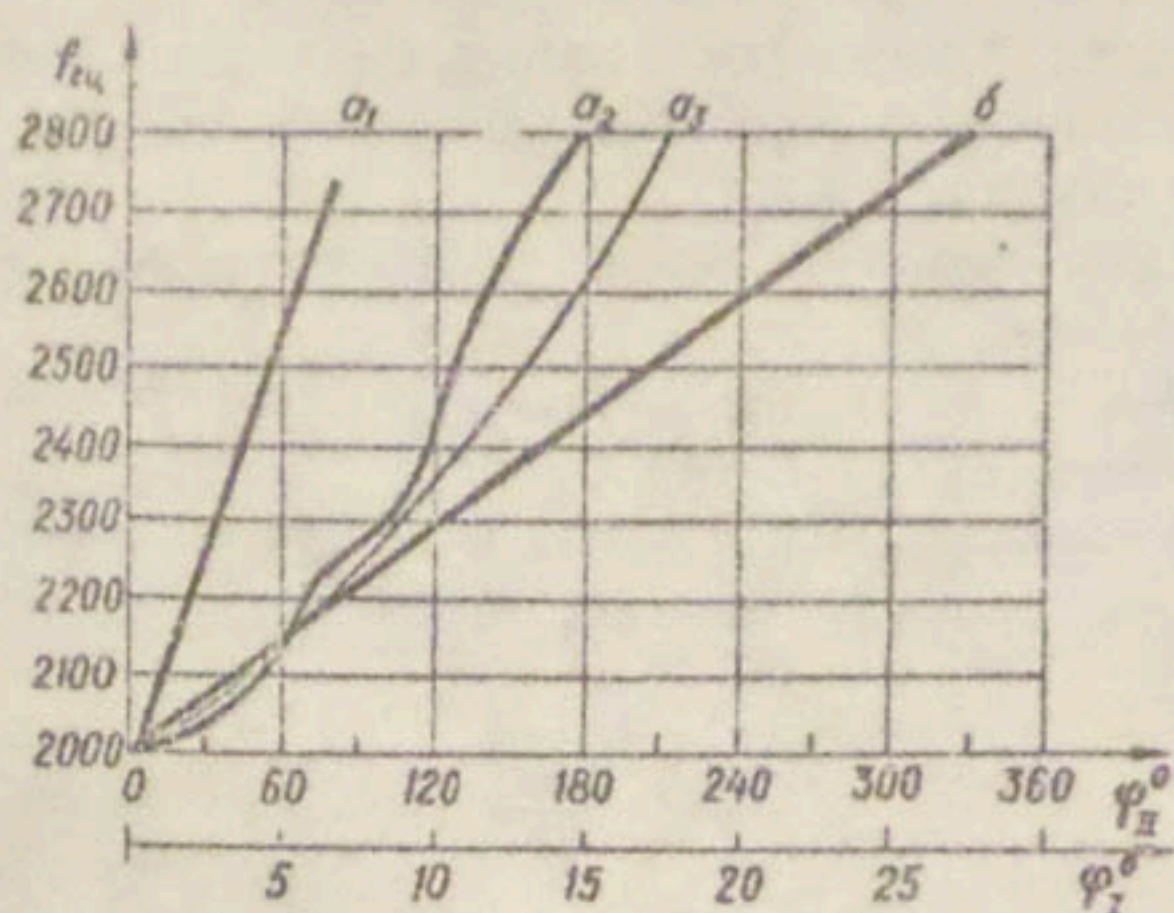


Рис.3. Сравнительный график выходных параметров телеизмерительных приставок УТП-1и и описываемого частотного датчика телеизмерения:

a_1, a_2, a_3 - выход УТП-1и; б- выход датчика.

Технические данные частотного датчика телеизмерения

Угол поворота входной оси максимальный	330 °
Момент на входной оси	3 г.см
Частотный диапазон генератора	2000-2700 гц
Напряжение питания (ток постоянный)	22,5 ± 10% в
Потребляемая мощность	0,07 вт
Основная погрешность	0,5 %

ЛИТЕРАТУРА

1. В.М.Плотников, И.В.Купецкий. Датчики телеизмерения технологических параметров ирригационных сооружений. Автоматизация и телемеханизация магистральных газопроводов. М., ЦНТИ Газпрома СССР, 1983.

2. В.М.Плотников, А.Л.Брайнин. Новая аппаратура для контроля и регулирования уровней и расходов воды на гидротехнических сооружениях оросительных систем. Экспресс-информация. Серия 5, вып.6. ЦБНТИ Гипроводхоза, 1968.
3. Монтажная эксплуатационная инструкция УТП-1и. ЗТА. Нальчик.
4. М.З.Ганкин. Автоматизация и телемеханизация мелиоративных систем. М., "Колос", 1965.
5. Д.Н.Атейкин, Е.М.Костина, Н.Н.Кузнецова. Датчики контроля регулирования. М., Машиностроение, 1965.

АННОТАЦИИ СТАТЕЙ,
ПОМЕЩЕННЫХ В ТРУДАХ

УДК 626.822

АБСОЛЮТНОЕ ГИДРАВЛИЧЕСКИ НАИВЫГОДНЕЙ-
ШЕЕ СЕЧЕНИЕ ТРАПЕЦЕИДАЛЬНЫХ ЛОТКОВ

Фримерман Л.А.

"Труды института "Средазгипроводхлопок", вып.2,1971

В статье описано найденное сечение лотковых каналов с минимально возможным значением смоченного периметра, которому присвоено наименование абсолютного гидравлически наивыгоднейшего. Определены наивыгоднейшие сечения в зависимости от заложения откосов для заданной ширины лотков по дну. Выведены формулы для расчета. Приведены примеры расчета лотковых каналов.

Иллюстраций 8, таблиц 4, библиографий 3.

УДК 627.81

К ВОПРОСУ ОБ УСТОЙЧИВОСТИ ВОДОСЛИВНОЙ
ПЛОТИНЫ ФАРХАДСКОЙ ГЭС

Файзуллин Р.Ф., Русанов А.Ф.

"Труды института "Средазгипроводхлопок", вып.2,1971

В статье приведено описание фархадской водосливной плотины и причины, вызывающие необходимость повышения ее устойчивости. Рассмотрены варианты усиления водосливной плотины и рекомендован в качестве основного метод предварительно напряженной анкеровки в скальное основание.

Иллюстраций 6, библиографий 11.

УДК 627.81

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ПОВЫШЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ БЕТОННЫХ ПЛОТИН НА СКАЛЬНОМ ОСНОВАНИИ

Дианов В.Г.

"Труды института "Средазгипроводхлопок", вып.2, 1971

В статье рассматриваются вопросы повышения устойчивости бетонных плотин на скальном основании путем их анкерования. Приводятся формулы для определения величины предварительного натяжения анкеров в условиях сейсма, необходимой глубины заделки анкера в трещиноватую и монолитную скальные толщи. Дается обоснование оптимальной ориентации анкера к расчетной плоскости скольжения. В качестве примера анкерования приводится водосливная плотина Фархадской ГЭС.

Иллюстраций 5, библиографий 9.

УДК 627.51

МОНТАЖ МЕХАНИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ И МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ КАЗАЛИНСКОГО ГИДРОУЗЛА НА СЫРДАРЬЕ

Ибрагимов Ю.А.

"Труды института "Средазгипроводхлопок", вып.2, 1971

В статье говорится о монтаже закладных частей плотин в штрабах с дополнительным раскреплением их при помощи саморасклинивающихся анкеров, о монтаже козлового крана и накатке его по наклонной насыпи на проектную отметку, а также о монтаже затворов в вертикальном положении.

Иллюстраций 1.

УДК 627.51

ИЗ ОПЫТА СКОРОСТНОГО МОНТАЖА МЕХАНИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ И МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ ВОДОВЫПУСКА КАТТАКУРТАНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Ибрагимов Ю.А.

"Труды института "Средазгипроводхлопок", вып.2, 1971

В статье освещается скоростной монтаж укрупненными марками закладных частей, металлической облицовки-опалубки, затворов и подъемных механизмов действующего водовыпуска позволивший значительно сократить сроки строительных работ.

Иллюстраций 3.

УДК 621.67

МЕТОДИКА РАСЧЕТОВ ПЕРЕХОДНЫХ РЕЖИМОВ ОСЕВЫХ ПОВОРОТНОЛОПАСТНЫХ НАСОСОВ

Гречушкин Г.А.

"Труды института "Средазгипроводхлопок", вып.2, 1971

В статье кратко изложена сущность переходных процессов, дана методика расчета переходных процессов осевых насосов, приведены примеры расчета пуска и остановки агрегата.

Таблиц 2.

УДК 627.8

МОДЕЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПЛОТИНЫ С
КОМБИНИРОВАННЫМИ ЗАТВОРАМИ КОН-
СТРУКЦИИ ИНЖЕНЕРА В.Ф.ПОЯРКОВА

Толстов В.Ф.

"Труды института "Средазгипроводхлопок", вып.2, 1971

В статье приводится сопоставление результатов исследований, выполненных ТИИИМСХ в 1959 г., научно-исследовательским сектором Сельскохозяйственной академии им. К.А.Тимирязева в 1960-1961 гг. и автором данной статьи в 1968г., по определению способности сооружения с помощью водозаборных лотков на затворах плотины защитить водозаборные отверстия от донных наносов при различных процентах водозабора.

Библиографий 3.

УДК 626.822 : 621.078

РАСЧЕТ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИ-
РОВАНИЯ НА ОРОСИТЕЛЬНЫХ КАНАЛАХ С ПРИ-
МЕНЕНИЕМ УСТРОЙСТВА "ПРОТОС"

Мансуров А.Р.

"Труды института "Средазгипроводхлопок", вып.2, 1971

В статье кратко изложены основные технические данные и варианты использования в практике автоматизации оросительных каналов разработанного в институте "Средазгипроводхлопок" авторегулятора "Протос". Описаны два упрощенных способа расчета релейно-импульсных систем авторегулирования с "Протосом". Даны примеры расчета САР.

Иллюстраций 10, таблиц 11, библиографий 12.

УДК 628.8 : 621.078

РАСЧЕТ И АНАЛИЗ ИМПУЛЬСНОЙ СИСТЕМЫ АВТОРЕГУЛИРОВАНИЯ ИРРИГАЦИОННОГО ОБЪЕКТА

Тюменев Р.М.

"Труды института "Средазгипроводхлопок", вып.2, 1971

В статье приведена методика аналитического расчета системы автоматического регулирования ирригационных объектов при применении релейно-импульсных электрических регуляторов. Анализируется устойчивость системы авторегулирования. Приводится построение, анализ переходных процессов и выбор настроек авторегулятора.

Иллюстраций 4, библиографий 7.

УДК 628.822 : 621.078

АВТОМАТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА СТУПЕНЧАТОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ГОРИЗОНТОВ ВОДЫ НА ИР- РИГАЦИОННЫХ КАНАЛАХ

Плутно Б.С., Лучинки Н.Г.

"Труды института "Средазгипроводхлопок", вып.2, 1971

В статье рассматриваются вопросы, связанные с особенностями автоматизации водораспределения в каналах с машинным питанием, показано, что существующие методы автоматического регулирования верхнего бьефа, нижнего бьефа и смешанного типа не приспособлены к машинному орошению, описан метод автоматического регулирования, названный ступенчатым. Этот метод обеспечивает надежное сопряжение дискретного режима работы насосной станции с произвольным режимом водопотребления без сбросов и недостатков воды.

Иллюстрация 1, библиографий 7.

ЧАСТОТНЫЙ ДАТЧИК ТЕЛЕИЗМЕРЕНИЯ

Кунделеков Г.Г., Каримов Ш.С.

"Труды института "Средазгипроводхлопск", вып.2, 1971

В статье дано описание одного из элементов систем телемеханики – частотного датчика-преобразователя, сконструированного и испытанного в отделе гидротехнических исследований института.

Иллюстраций 3, таблиц 1, библиографий 5.

СОДЕРЖАНИЕ

Стр.

П.А.Фримерман. Абсолютное гидравлически невыгоднейшее сечение трапецеидальных лотков	3
Р.Ф.Файзуллин, А.Ф.Русанов. К вопросу об устойчивости водосливной плотины Фархадской ГЭС	15
В.Г.Дианов. Некоторые вопросы повышения устойчивости бетонных плотин на скальном основании	31
Ю.А.Ибрагимов. Монтаж механического оборудования и металлоконструкций Казалинского гидроузла на Сырдарье	50
Ю.А.Ибрагимов. Из опыта скоростного монтажа механического оборудования и металлоконструкций водовыпуска Каттакурганского водохранилища	54
Г.А.Гречушкин. Методика расчетов переходных режимов осевых поворотнолопастных насосов	60
В.Ф.Толстов. Модельные исследования плотины с комбинированными затворами конструкции инженера В.Ф.Пояркова	71
А.Р.Мансуров. Расчет систем автоматического регулирования на оросительных каналах с применением устройства "Протос"	80
Р.М.Тюменев. Расчет и анализ импульсной системы авторегулирования ирригационного объекта	112
Б.С.Плутно, Н.Г.Лучинин. Автоматическая система ступенчатого регулирования горизонтов воды на ирригационных каналах	131
Г.Г.Кунделеков, Ш.С.Каримов. Частотный датчик телеизмерения	140
Аннотации статей, помещенных в трудах	149

Т р у д ы
института "Средазгипроводхлопок"
Выпуск 2

Гидротехнические сооружения, автоматизация
и телемеханизация

Ташкент - 1971

Редакторы Ц.И.Медовар, Е.Н.Макушенко

Подписано к печати 13/УШ-1971 г. Бумага типографская № 1.
Формат 60х90 ¹/16. Печ.л. 10,25. Уч.-изд. л.9,3+5 вкл.

Тираж 500 экз. Цена 75 коп.

Р. 10974. Заказ 4597.

Офсетная мастерская института "Средазгипроводхлопок".
Ташкент, 11, Навои, 44.