

МИНИСТЕРСТВО МЕЛИОРАЦИИ И ВОДНОГО ХОЗЯЙСТВА СССР
Ордена Трудового Красного Знамени СРЕДНЕАЗИАТСКИЙ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ИРРИГАЦИИ
им. В. Д. ЖУРИНА С А Н И И Р И

ТРУДЫ С А Н И И Р И

Выпуск 125

Орошение, эксплуатация гидромелиоративных
систем

ТАШКЕНТ—1970

МИНИСТЕРСТВО МЕЛИОРАЦИИ И ВОДНОГО ХОЗЯЙСТВА СССР
ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ СРЕДНЕАЗИАТСКИЙ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ИРРИГАЦИИ
им. В. Д. ЖУРИНА С А Н И И Р И

418-153
Т Р У Д Ы С А Н И И Р И

В ы п у с к 1 2 5

Орошение, эксплуатация гидромелиоративных
систем



ТАШКЕНТ—1970

В книге даются исследования по технике полива; предлагаются мероприятия по борьбе с потерями воды в оросительных каналах; предлагаются методы механизации водоподъема в виде ветродвигательной установки на пустынных пастбищах Средней Азии; приводится сравнительная оценка экономической эффективности проводимых линий связи систем телеуправления и телеконтроля в водном хозяйстве; дается математический расчет затворов-автоматов расхода воды на оросительных каналах.

Книга рассчитана на научных работников, сотрудников проектных, строительных и эксплуатационных организаций области гидротехники и мелиорации.

Редакционная коллегия

Ф. Н. Наджимов (*отв. ред.*), Р. А. Алимов, Х. А. Аскарлов, К. И. Белоцерковский, Г. Г. Валентини, И. И. Горошков, А. А. Кадыров, С. И. Кеберле, Н. Т. Лактаев, А. М. Мухамедов, У. Ю. Пулатов (*зам. отв. ред.*), А. А. Рачинский (*зам. отв. ред.*), И. Б. Хамадов, Х. И. Якубов.

М.Д.ЧЕЛЮКАНОВ

РЕКОМЕНДУЕМЫЙ МЕТОД РАСЧЕТА ТЕХНИКИ ПОЛИВА
ХЛОПЧАТНИКА

Одним из важнейших элементов исследования техники полива по бороздам является определение скорости движения воды по сухой борозде.

Движение воды по сухой борозде характеризуется тем, что первоначальная скорость ее резко уменьшается по мере продвижения и затухает на определенном отдалении от головы борозды.

Наблюдения прошлых лет показали, что скорость движения струи по отдельным сухим бороздам, даже при равных головных расходах, различна и большую роль в этом играет разная степень уплотнения почво-грунта ложа борозды колесами трактора.

Полевые опыты заключались в определении времени пробега струи по сухим бороздам между пятидесятиметровыми створами каждого варианта (всего 9). Результаты опытов по добегам в разрезе борозд, вариантов и поливов представлены в табл. I.

Как видно из таблицы, время прохождения поливной струи в бороздах с одинаковым расходом различно и зависит от степени уплотнения ложа борозды колесами трактора. Разница достигает значительной величины при малых головных расходах и большей длине борозд. Например, в первом варианте при $Q = 0,35$ л/сек при поливе через междурядье для прохождения струи до конца борозды типа "6-2" при длине 250 м потребовалось в среднем 29 час., по бороздам типа "6-1" почти 46 час., т.е. на 17 часов больше, в то время как при $Q = 0,75$ л/сек (пятый вариант) при тех же условиях (7,5 и 9 час.) разница составила 1,5 часа. Во втором

Время добегает струи по сухой

Тип :Номер:		Полив I							
борозды :		50	100	150	200	250	300	50	100

Вариант I с $q = 0,35$ л/сек

6-2	1	0,50	4,00	13,00	19,00	32,1	50,1	0,46	2,15
6-1	2	1,20	5,06	15,35	26,00	43,4	-	0,58	3,50
6-2	3	1,17	4,40	13,10	18,35	31,1	46,1	0,46	2,35
6-1	4	1,40	5,40	15,25	25,20	43,0	-	1,15	4,39
6-2	5	0,55	3,15	9,55	16,20	26,0	44,1	0,48	2,18
6-1	6	1,30	5,45	17,2	30,25	44,35	-	1,05	4,54
6-2	7	0,55	2,41	7,25	14,50	28,30	44,2	0,47	2,30
6-1	8	1,35	5,50	16,1	32,15	51,4	-	1,25	5,05
6-2	9	1,00	3,12	8,25	14,10	18,1	41,2	0,56	2,45

Вариант II с $q = 0,35$ л/сек

6-0	1	1,50	5,50	13,5	19,2	28,2	39,3	1,25	5,55
6-2	2	0,55	2,50	6,55	11,3	17,2	29,1	0,56	2,20
6-0	3	1,50	6,25	12,2	19,0	29,3	41,1	1,15	5,45
6-1	4	1,30	6,08	10,4	18,1	25,3	35,4	1,15	4,03
6-0	5	1,46	4,43	9,55	18,3	27,2	38,1	1,40	4,30
6-2	6	1,00	2,59	7,25	11,4	15,2	21,2	0,58	2,28
6-0	7	1,50	5,53	10,4	18,3	28,1	39,4	1,35	5,20
6-1	8	1,21	6,10	11,2	18,5	25,0	32,3	1,20	4,25
6-0	9	2,02	6,51	11,5	20,1	28,0	40,0	1,50	5,50

Вариант III с $q = 0,5$ л/сек

6-1	1	0,44	1,57	5,40	12,1	21,4	35,1	0,39	1,35
6-2	2	0,35	1,25	3,15	6,45	10,3	18,3	0,21	1,20
6-1	3	0,44	2,45	6,10	12,1	18,4	31,2	0,40	2,20
6-2	4	0,40	1,54	4,50	11,0	13,5	28,1	0,30	1,30
6-1	5	0,50	2,53	8,55	14,1	19,4	41,4	0,30	2,35
6-2	6	0,40	2,23	7,50	11,5	14,5	23,2	0,27	1,40
6-1	7	0,45	2,35	8,15	15,1	22,1	34,3	0,40	2,10
6-2	8	0,33	1,44	5,50	9,10	15,2	21,3	0,28	1,41
6-1	9	0,35	1,34	6,05	12,1	18,1	30,4	0,30	1,25

борозде по створам, час

Полив 2				Полив 3			
: 150	: 200	: 250	: 300	: 50	: 100	: 150	: 200 : 250 : 300

при поливе через борозду

6,25	12,15	20,50	38,00	0,40	1,40	3,40	6,05	10,03	17,5
13,1	21,45	38,40	-	0,44	2,40	8,40	17,5	32,4	50,3
8,30	15,25	22,40	39,10	0,43	1,50	3,55	7,05	13,4	22,4
15,2	25,15	40,40	-	1,00	3,05	11,3	18,4	27,4	43,0
6,15	12,15	19,25	39,40	0,42	2,10	5,10	11,2	18,1	27,3
15,0	24,35	38,40	-	1,00	3,10	11,5	18,5	29,3	46,5
6,15	13,40	23,55	39,3	0,43	2,20	8,10	9,50	16,0	28,3
12,0	28,2	45,10	-	1,20	4,10	11,3	22,4	36,2	53,4
6,55	12,2	25,5	38,3	0,46	2,20	5,15	9,40	17,0	24,0

при поливе в каждую борозду

13,0	17,4	26,0	36,1	1,16	4,35	8,10	11,3	15,5	24,3
5,35	9,50	13,2	24,3	0,55	2,10	5,05	8,10	10,5	16,0
12,2	16,3	24,1	33,2	1,27	4,00	7,55	10,4	15,1	20,1
9,20	14,2	18,2	29,1	1,10	3,55	7,25	10,2	14,5	19,5
8,55	15,5	24,3	33,1	1,30	4,20	8,10	10,3	15,0	20,0
6,10	10,2	15,0	18,0	0,55	3,15	6,25	8,50	12,0	16,2
9,05	15,2	23,1	29,4	1,06	3,10	6,05	9,30	13,0	16,1
10,0	15,2	20,2	25,4	1,07	2,28	4,25	7,05	11,1	17,2
9,55	16,3	23,1	35,4	1,28	4,05	8,25	12,1	18,0	24,5

при поливе через борозду

5,0	10,5	19,5	27,5	0,35	1,26	4,45	9,15	15,1	21,1
2,55	4,35	7,30	17,2	0,18	0,55	1,55	4,25	7,05	13,2
5,40	10,0	15,3	28,3	0,30	1,35	5,15	9,40	15,2	22,0
3,40	6,45	10,3	19,1	0,21	1,03	2,40	6,05	10,2	16,4
9,05	15,5	20,4	28,4	0,47	2,25	5,50	10,5	15,1	22,2
4,10	8,20	11,3	19,5	0,25	1,03	3,35	7,15	11,1	17,4
7,35	14,2	19,3	28,2	0,30	2,00	4,20	7,10	12,3	21,0
4,20	6,50	10,5	18,3	0,24	1,10	2,55	5,45	9,30	13,5
4,45	9,50	16,4	28,4	0,23	1,05	3,55	6,20	10,1	19,3

Тип:Номер:		Полив I							
борозды		50	100	150	200	250	300	50	100
Вариант IV с $Q = 0,5$ л/сек									
6-0 1	I	1,10	4,55	9,35	13,3	17,4	23,1	1,00	4,05
6-1 2	2	0,47	3,20	6,35	9,55	12,0	16,4	0,30	1,55
6-0 3	I	1,10	4,45	8,45	13,1	16,2	22,4	0,55	3,18
6-2 4	4	0,42	2,10	5,05	8,25	11,2	14,0	0,29	1,20
6-0 5	I	1,00	4,08	6,45	10,0	13,2	18,4	0,50	3,58
6-1 6	6	0,53	3,88	6,30	10,1	12,2	17,2	0,29	1,53
6-0 7	I	0,59	4,43	8,30	13,0	16,1	22,0	0,51	4,15
6-2 8	8	0,42	2,15	4,40	7,10	9,45	13,1	0,30	1,30
6-0 9	I	1,20	5,15	9,55	14,1	19,2	26,3	0,59	4,20
Вариант V с $Q = 0,75$ л/сек									
6-1 1	I	0,21	1,45	3,15	5,00	8,15	10,4	0,18	1,00
6-2 2	2	0,21	1,35	3,00	5,15	8,15	10,5	0,16	1,15
6-1 3	I	0,25	1,47	3,20	5,40	9,10	14,0	0,22	1,10
6-2 4	4	0,21	1,23	3,10	5,25	8,10	10,1	0,17	1,00
6-1 5	I	0,22	1,28	2,51	6,20	10,3	14,5	0,21	1,15
6-2 6	6	0,22	1,08	3,15	5,10	7,50	10,1	0,16	0,55
6-1 7	I	0,22	1,50	3,40	5,50	9,05	13,4	0,19	1,15
6-2 8	8	0,21	1,17	2,40	4,30	7,20	9,50	0,17	0,55
6-1 9	I	0,23	1,25	3,50	5,20	8,20	11,3	0,22	1,05
Вариант VI с $Q = 0,75$ л/сек									
6-2 1	I	0,15	1,06	2,30	4,10	5,40	7,50	0,12	0,45
6-0 2	I	0,21	1,58	3,40	5,10	7,40	11,0	0,18	1,42
6-1 3	I	0,18	1,18	3,00	4,30	5,50	8,40	0,15	0,55
6-0 4	I	0,23	2,01	4,05	5,45	7,50	10,5	0,18	1,58
6-2 5	I	0,20	1,25	2,45	4,10	5,30	7,30	0,15	1,00
6-0 6	I	0,24	2,04	4,25	6,15	8,25	11,2	0,17	1,44
6-1 7	I	0,17	1,35	3,20	4,55	6,20	9,10	0,15	1,15
6-0 8	I	0,22	2,05	4,40	5,35	7,45	11,0	0,17	1,35
6-2 9	I	0,16	1,05	2,20	3,45	5,20	7,15	0,13	0,55

Примечание:

6-2 - борозды, дважды проходимые задними колесами трактора;

6-1 - борозды, один раз проходимые передним колесом;

6-0 - борозды, по которым трактор не проходил.

Продолжение таблицы I

Полив 2				Полив 3					
150	200	250	300	50	100	150	200	250	300
при поливе в каждую борозду									
8,45	12,3	15,1	20,1	0,49	2,50	4,35	6,30	9,15	17,3
5,25	8,00	9,35	14,1	0,22	1,25	3,20	5,00	7,15	11,0
6,25	10,3	15,5	22,2	0,40	2,40	4,45	7,25	10,5	16,4
2,45	5,00	6,35	9,05	0,19	1,13	2,22	4,21	6,10	8,20
7,30	10,4	13,2	17,2	0,40	2,40	4,40	8,20	12,3	18,4
5,25	8,30	10,3	15,0	0,25	1,40	3,40	5,55	8,20	12,1
7,40	11,1	14,3	20,1	0,40	2,20	4,46	8,25	12,4	18,4
3,20	5,40	8,15	12,1	0,25	1,18	3,15	5,10	6,40	8,40
8,45	12,4	18,0	24,4	0,45	3,00	6,15	10,0	17,3	22,5
при поливе через борозду									
2,50	4,40	8,00	10,3	0,16	0,55	2,00	3,40	7,00	9,15
2,46	4,55	6,35	8,25	0,15	0,56	2,06	3,40	5,38	7,15
3,00	5,00	8,25	13,0	0,20	0,58	2,10	3,53	7,10	9,35
2,02	4,00	7,15	9,25	0,15	0,52	1,50	3,10	6,00	7,55
3,05	6,05	10,2	14,3	0,18	1,08	2,35	5,35	9,45	14,0
1,55	3,45	5,40	8,25	0,15	0,48	1,05	3,05	5,25	7,15
3,03	5,25	8,25	12,5	0,19	0,50	1,55	3,20	7,35	11,5
2,10	3,40	6,20	8,25	0,15	0,50	1,50	3,20	5,48	8,10
2,35	5,00	7,48	12,2	0,20	0,57	2,01	3,30	6,00	9,05
при поливе в каждую борозду									
1,45	2,52	3,55	5,16	0,08	0,35	1,35	2,45	3,35	4,35
3,25	4,50	7,10	10,0	0,17	1,15	2,20	3,10	4,15	5,25
2,15	3,40	4,40	7,28	0,11	0,50	2,05	3,00	4,05	5,10
3,55	5,45	7,32	10,0	0,15	1,00	2,10	3,25	5,25	6,30
2,05	4,00	5,15	6,00	0,08	0,33	1,30	2,30	3,45	4,50
3,44	5,50	7,45	10,1	0,12	1,05	2,10	4,05	5,30	6,15
2,16	3,55	5,00	8,00	0,14	0,55	2,10	3,10	4,30	6,50
3,15	5,00	7,20	10,3	0,14	1,15	2,15	3,55	4,50	8,25
1,40	2,45	4,20	5,25	0,09	0,45	1,20	2,30	3,35	4,40

варианте с $q = 0,35$ л/сек на бороздах типа "6-2" на длину 300 м потребовалось в среднем 25,3 часа; "6-I" — 34 и "6-0" — 39,7. Такая же зависимость наблюдается при последующих поливах и вариантах. Если бы поставить задачу, во что бы то ни стало добиться одинаковой скорости продвижения воды во всех бороздах фронта полива, то пришлось бы в зависимости от уплотнения борозды ходовой частью механизма головные расходы борозд сделать различными и равными соответственно 0,5; 0,6; 0,65 л/сек.

1. Сравнивая скорости движения разных бороздных струй по разным вариантам и поливам, подтверждаем следующие общеизвестные положения: скорости возрастают с увеличением поливной струи (вариант I и VI); скорость впитывания воды почвой от полива к поливу уменьшается, что, естественно, вызывает увеличение скорости движения воды по сухой борозде при тех же условиях (варианты I — VI).

2. Полив через междурядье увеличивает скорость впитывания воды почвой, что, в свою очередь, уменьшает скорость движения ее по сухой борозде (все варианты).

3. Время прохождения струи резко возрастает с сокращением длины борозды. Например, в первом варианте при первом поливе на пробег 100 м потребовалось 5 час.; 200 м — 23 часа и на длину 300 м — 54. Примерно в таких же величинах изменялась продолжительность пробега струи в других вариантах опыта.

4. Время пробега струи растет не пропорционально увеличению длины борозды, а значительно быстрее. Поэтому увлажнение по длине участка распределяется неравномерно, что создает различные условия для роста и развития растений.

При изучении скорости добега поливных струй мы определяли распределение поливной нормы по длине борозды. Известно, что увлажнение отрезков борозды происходит неравномерно и убывает от начального к последнему.

В таблице 2 приведены частные поливные нормы для каждого 50-метрового отрезка борозд по всей длине участка (300 м) и изменение расходов во времени. При изучении изменения увлажнения от головной части к концу борозды установили, что степень увлажнения при однообразном уклоне уменьшается, особенно при малых головных расходах (вариант I), а в концевой части ее несколько повышается и достигает иногда больших величин, чем на головном участке. Такое явление прослеживается в вариантах с большими головными расходами и значительной продолжительностью полива.

В некоторых случаях частная поливная норма последующего отрезка оказывается больше, чем даже на первом отрезке. Это объясняется наличием заметного перелома в продольном профиле борозды. Увеличение поливной нормы наблюдается также в замкнутых понижениях независимо от места расположения их по длине борозды. Характерный пример такого случая — III и IV варианты (таблица 2).

Аналогичные исследования, проведенные в условиях Голодной степи, также подтверждают вышеприведенные показатели.

Опытные данные послужили исходным материалом для проверки методики расчета элементов техники полива по бороздам.

Методика расчета элементов техники полива заключается в следующем.

Для каждого полива по фактическим добегам строим график $lq W_t = f(t)$, из которого определяем среднюю скорость впитывания W_t , и α — показатель, характеризующий впитываемую способность изучаемой почвы.

Определив основные параметры W и α , по нашим формулам производим расчет времени добегания поливной струи по створам и распределение увлажнения по длине борозды и сравниваем полученные опытным путем данные (таблицы 3, 4) с фактическими.

Распределение увлажнения по

Вариант	Поливная струя, л/сек	Номер полива	Время полива, час	Поливная 0-50
I	2	3	4	5
I. Через борозду	0,35	1	24	0,004 1340
			48	1760
		2	24	1140
			48	1700
		3	24	1120
			48	1600
II. В каждую борозду	0,35	1	24	0,004 2080
			32	2520
		2	24	1950
			32	2220
		3	24	1780
			32	2100
III. Через борозду	0,50	1	24	0,005 1540
			32	1920
		2	24	1320
			32	1220
		3	16	900
			24	1220

отрезкам борозд

Таблица 2

норма, м ³ /га				
50-100	100-150	150-200	200-250	250-300
6	7	8	9	10

Уклоны

0,002	0,002	0,003	0,0026	0,0015
1200	1040	560	-	-
1820	1700	1520	1380	492
1080	960	420	96	-
1740	1580	1340	1460	1060
1060	940	820	540	-
1700	1540	1480	1280	1160

Уклоны

0,003	0,002	0,004	0,002	0,0015
2240	1890	1600	920	-
2740	2420	2160	1930	460
2100	1920	1830	1660	648
2480	2260	2190	2020	1840
1920	1760	1520	1400	1200
2250	2140	1860	1800	1600

Уклоны

0,004	0,008	0,005	0,002	0,001
1420	1700	1220	1000	336
1720	2240	1660	1480	1180
1300	1580	1320	1140	1060
860	1220	800	660	216
1260	1460	1240	1160	960

I	2	3	4	5
---	---	---	---	---

IV. В каждую борозду		I	I6	0,005
			20	2080
	0,50	2	I6	2340
			I6	1840
		3	I6	I520
			I6	I520

V. Через борозду		I	I2	0,005
			I6	I300
	0,75	2	I6	I500
			I2	I080
		3	I6	I340
			I2	880
			I6	II60

VI. В каждую борозду		I	8	0,0054
			I2	940
	0,80	2	I2	I240
			8	960
		3	I2	I240
			8	740
			I2	960

6	7	8	9	10
---	---	---	---	----

Уклоны				
0,003	0,0010	0,0020	0,0020	0,001
I880	2260	I920	I340	420
2220	2580	2240	I730	I360
I700	2040	I760	I540	800
I460	2080	I880	I760	I000

Уклоны				
0,0027	0,0008	0,0020	0,0018	0,0020
II20	I080	720	620	280
I380	940	880	880	600
960	II20	I000	900	580
I220	I420	I320	I220	960
820	I040	960	800	460
I020	II80	II40	I060	820

Уклоны				
0,002	0,0005	0,005	0,0008	0,001
I000	I540	940	560	-
I360	I980	I380	I300	700
I020	I360	800	860	280
I360	I680	II40	I320	II80
780	II00	840	700	460
IIIO	I500	II40	II20	760

Сопоставление фактического
добега по отрезкам

Номер поли- ва	Бо- роз- да	ω , н ²	P, гп	Расход в бо- розду, л/сек	ω , м/мин
1	2	3	4	5	6

Колхоз "Большевик" Ахунбабаевского

I	6-2	0,0036	0,142	0,75	0,011
	6-1	0,0035	0,134	0,75	0,013
	6-0	0,0034	0,130	0,75	0,015
2	6-2	0,0036	0,142	0,75	0,010
	6-1	0,0035	0,134	0,75	0,012
	6-0	0,0034	0,130	0,75	0,014
3	6-2	0,0036	0,142	0,75	0,009
	6-1	0,0035	0,134	0,75	0,011
	6-0	0,0034	0,130	0,75	0,012

Таблица 3

и расчетного времени
борозд

ω	Время добега по отрезкам борозды, мин. В числителе - замеренное; знаменателе - расчетное					
	0-50	50-100	100-150	150-200	200-250	250-300
	7	8	9	10	11	12

р-на Ферганской области, 1966 год; $i = 0,003$

0,44	$\frac{9}{9}$	$\frac{64}{56}$	$\frac{138}{117}$	$\frac{246}{201}$	$\frac{324}{305}$	$\frac{450}{440}$
0,44	$\frac{11}{11}$	$\frac{74}{76}$	$\frac{186}{200}$	$\frac{265}{246}$	$\frac{363}{340}$	$\frac{511}{540}$
0,44	$\frac{13}{11}$	$\frac{121}{110}$	$\frac{247}{215}$	$\frac{325}{320}$	$\frac{451}{480}$	$\frac{660}{685}$
0,40	$\frac{8}{10}$	$\frac{32}{42}$	$\frac{90}{102}$	$\frac{187}{157}$	$\frac{258}{220}$	$\frac{320}{330}$
0,40	$\frac{9}{10}$	$\frac{63}{59}$	$\frac{129}{131}$	$\frac{208}{200}$	$\frac{275}{285}$	$\frac{446}{435}$
0,40	$\frac{10}{9}$	$\frac{87}{68}$	$\frac{200}{170}$	$\frac{313}{279}$	$\frac{436}{403}$	$\frac{606}{592}$
0,40	$\frac{5}{6}$	$\frac{24}{29}$	$\frac{77}{80}$	$\frac{141}{134}$	$\frac{203}{208}$	$\frac{265}{300}$
0,40	$\frac{7}{8}$	$\frac{31}{30}$	$\frac{64}{78}$	$\frac{183}{152}$	$\frac{250}{230}$	$\frac{360}{345}$
0,40	$\frac{9}{9}$	$\frac{32}{68}$	$\frac{128}{132}$	$\frac{204}{200}$	$\frac{300}{285}$	$\frac{383}{425}$

1	2	3	4	5	6
---	---	---	---	---	---

Совхоз "Фархад"

1	0,0013	0,112	0,25	0,0170
2	0,00112	0,105	0,21	0,0159
	0,0015	0,118	0,31	0,0159
3	0,0009	0,991	0,153	0,0145
	0,0016	0,119	0,31	0,0145

Совхоз № 6 им.Титова,

1	0,00116	0,106	0,21	0,0144
	0,0016	0,120	0,31	0,0144
2	0,00155	0,119	0,30	0,0135
			0,40	0,0135
3	0,00195	0,131	0,40	0,0128

7	8	9	10	11	12	13
---	---	---	----	----	----	----

р-М-2-5, 1960 год; $i = 0,008$

0,55	$\frac{40}{30}$	$\frac{120}{105}$	$\frac{203}{216}$	$\frac{365}{360}$	$\frac{530}{525}$	$\frac{1010}{980}$
10,50	$\frac{32}{35}$	$\frac{109}{125}$	$\frac{248}{260}$	$\frac{457}{470}$	$\frac{777}{790}$	$\frac{1012}{1110}$
0,50	$\frac{26}{20}$	$\frac{77}{73}$	$\frac{139}{153}$	$\frac{240}{260}$	$\frac{390}{410}$	$\frac{590}{620}$
0,47	$\frac{60}{70}$	$\frac{170}{158}$	$\frac{330}{330}$	$\frac{595}{580}$	$\frac{1017}{980}$	$\frac{1647}{1680}$
0,47	$\frac{18}{17}$	$\frac{53}{57}$	$\frac{115}{120}$	$\frac{193}{210}$	$\frac{298}{305}$	$\frac{393}{430}$

распределитель 6-У-26; $i = 0,003$

0,51	$\frac{36}{41}$	$\frac{130}{195}$	$\frac{366}{421}$	$\frac{786}{780}$	$\frac{1492}{1300}$	-
0,51	$\frac{25}{30}$	$\frac{91}{98}$	$\frac{208}{240}$	$\frac{441}{447}$	$\frac{881}{875}$	-
0,50	$\frac{21}{29}$	$\frac{80}{90}$	$\frac{171}{215}$	$\frac{780}{392}$	$\frac{776}{692}$	-
0,50	$\frac{17}{18}$	$\frac{63}{62}$	$\frac{113}{131}$	$\frac{212}{229}$	$\frac{432}{361}$	-
0,47	$\frac{18}{18}$	$\frac{62}{63}$	$\frac{112}{111}$	$\frac{208}{250}$	$\frac{430}{410}$	-

Сопоставление фактической и расчетной поливних

Номер поли- ва	Время: пода- чи, мин.	Уклон	Расход: в бо- розду, л/сек	W, м/мин	α	Впитывалось на отрезка замерено, в		
						0-50	50-100	100- 150

Совхоз "Фархад" В = 0,6 м,

I	I300	0,0089	0,21	0,017	0,53	$\frac{1200}{1170}$	$\frac{1030}{1000}$	$\frac{970}{870}$
	610					$\frac{10000}{10000}$	$\frac{870}{880}$	$\frac{770}{700}$
2	I417		0,21			$\frac{1080}{1090}$	$\frac{1060}{1100}$	$\frac{870}{950}$
	1100					$\frac{1040}{1150}$	$\frac{1050}{1110}$	$\frac{950}{1100}$
3	1840		0,153			$\frac{1100}{1180}$	$\frac{1000}{1150}$	$\frac{1000}{1070}$
	1560					$\frac{960}{1150}$	$\frac{810}{1090}$	$\frac{840}{1050}$

Совхоз № 6 им. Титова, 1963

I512	0,003	0,20	0,0144	0,51		$\frac{1270}{1430}$	$\frac{1170}{1360}$	$\frac{1430}{1210}$
						$\frac{1200}{1330}$	$\frac{1170}{1110}$	$\frac{1270}{1270}$
993		0,30						
I445		0,20	0,0135	0,50		$\frac{1230}{1390}$	$\frac{1130}{1320}$	$\frac{1330}{1300}$
						$\frac{1170}{1220}$	$\frac{1000}{1050}$	$\frac{1030}{970}$
876		0,30						
I435		0,25	0,0128	0,47		$\frac{1130}{1260}$	$\frac{1060}{1460}$	$\frac{1270}{1330}$
						$\frac{1080}{1060}$	$\frac{930}{1020}$	$\frac{930}{880}$
840		0,30						

норм по отрезкам борозд

борозд, м ³ /га; в числителе знаменателе - по расчету					:Всего пода- но, м ³ /га	:Сбро- шено, м ³ /га	:Кoeffи- циент равно- мерно- сти
150- 200	200- 250	250- 300	300- 350	350- 400			

1960 г.

$\frac{900}{820}$	$\frac{700}{670}$	$\frac{660}{500}$	-	-	910	30	0,55
$\frac{630}{600}$	$\frac{670}{530}$	$\frac{500}{420}$	-	-	880	55	0,50
$\frac{970}{1000}$	$\frac{900}{1000}$	$\frac{30}{500}$	-	-	980	45	0,80
$\frac{990}{1100}$	$\frac{925}{900}$	$\frac{850}{930}$	-	-	1190	220	0,81
$\frac{950}{970}$	$\frac{920}{900}$	$\frac{900}{500}$	-	-	970	-	0,81
$\frac{1040}{1020}$	$\frac{920}{950}$	$\frac{860}{500}$	-	-	1090	145	0,90

г.

$\frac{1090}{1200}$	$\frac{1100}{940}$	-	-	-	1260	30	0,96
$\frac{1160}{1170}$	$\frac{1120}{900}$	-	-	-	1240	55	0,93
$\frac{1020}{1020}$	$\frac{1140}{950}$	-	-	-	1240	67	0,82
$\frac{930}{970}$	$\frac{870}{820}$	-	-	-	1080	80	0,74
$\frac{1000}{1070}$	$\frac{1040}{800}$	-	-	-	1180	88	0,94
$\frac{900}{870}$	$\frac{830}{820}$	-	-	-	1030	97	0,77

Наибольшие отклонения расчетных величин от фактических составляют не более 15%.

Сопоставление расчетных и замеренных величин показывает правильность и достаточную точность расчетов, что позволяет нам:

1) выбирать по расчету наиболее рациональные элементы техники полива с учетом нормального распределения поливной нормы по длине борозды;

2) устанавливать надежные количественные соотношения между элементами техники полива в зависимости от параметров W_i и α , чего нельзя сделать в результате проведения только экспериментальных замеров;

3) распространить расчетные методы не только на отдельные борозды, но и на поливные деланки, объединяющие большее количество борозд;

4) дать следующую методику расчета элементов техники полива: длина борозды определяется по формуле

$$\alpha = atj(S);$$

$$\alpha = \frac{0,06 \cdot q_0}{\omega_{cp}}; \quad \beta = \frac{W_i \cdot \rho_{cp}}{\omega_{cp}},$$

где q_0 — расход в головной части борозды, л/сек;

ω_{cp} — живое сечение борозды, м²,

$$\omega_{cp} = 0,000525 \left(\frac{q}{\sqrt{t}} \right)^{0,71};$$

ρ_{cp} — периметр смоченной борозды, м,

$$\rho_{cp} = 0,71 \left(\frac{q}{\sqrt{t}} \right)^{0,267}.$$

Расчет длины борозды α сводится к нахождению для заданного q_0 величин a и b (имеются готовые таблицы).

Для определения величины $j(S) = f(S)$ устанавливаем S по формуле

$$S = \frac{1}{\beta t^{1-\alpha}}$$

Величина $j(S)$ для подсчета $x = f(t)$

S	$\alpha=0,3$	$\alpha=0,45$	$\alpha=0,50$	$\alpha=0,60$	$\alpha=0,70$	$\alpha=0,80$
0,01	0,010	0,0100	0,00995	0,0098	0,0099	0,009
0,02	0,0199	0,0198	0,0198	0,0197	0,0197	0,019
0,03	0,0298	0,0295	0,0295	0,0294	0,0293	0,0299
0,04	0,0395	0,0392	0,0392	0,0391	0,0389	0,0398
0,05	0,0492	0,0488	0,0476	0,0485	0,0482	0,0498
0,06	0,0589	0,0594	0,0582	0,0579	0,0575	0,0598
0,07	0,0685	0,0688	0,0675	0,0672	0,0666	0,0697
0,08	0,0780	0,0782	0,0768	0,0763	0,0756	0,0797
0,09	0,0874	0,0876	0,0859	0,0853	0,0845	0,0897
0,10	0,0968	0,0958	0,0950	0,0942	0,0932	0,0996
0,11	0,1061	0,1050	0,1039	0,1030	0,1018	0,1009
0,12	0,1154	0,1140	0,1128	0,1110	0,1103	0,1092
0,13	0,1246	0,1230	0,1215	0,1202	0,1186	0,1175
0,14	0,1337	0,1319	0,1302	0,1286	0,1268	0,1255
0,15	0,1419	0,1406	0,1387	0,1369	0,1349	0,1335
0,16	0,1517	0,1494	0,1472	0,1451	0,1428	0,1414
0,17	0,1606	0,1590	0,1555	0,1533	0,1506	0,1491
0,18	0,169	0,1665	0,1638	0,1613	0,1583	0,1567
0,19	0,1781	0,1750	0,1719	0,1692	0,1658	0,1641
0,20	0,1867	0,1832	0,1800	0,1769	0,1732	0,1715
0,21	0,1952	0,1915	0,1879	0,1846	0,1805	0,1804
0,22	0,2036	0,1996	0,1958	0,1922	0,1877	0,1860
0,23	0,2120	0,2076	0,2035	0,1997	0,1947	0,1930
0,24	0,2202	0,2155	0,2112	0,2071	0,2015	0,2005
0,25	0,2283	0,2234	0,2187	0,2144	0,2083	0,2067
0,30	0,2675	0,2615	0,2550	0,2494	0,2397	0,2394
0,35	0,3040	0,2959	0,2888	0,2818	0,2680	0,2657
0,40	0,3379	0,3288	0,3205	0,3103	0,2929	0,2981

Для расчета задаваемой величины t (мин.) высчитываем S по формуле (3) и для вычисленного S по табл.5 находим $j(S)$. Зная $a, t, j(S)$, по формуле (I) определяем x . После этого строим график $x = f(t)$ и $x = f(m)$.

Зная x и t , рассчитываем распределение увлажнения по длине борозды (данные приводим в табл.6), полив добоганием струи $q = 0,75$ л/сек, $i = 0,002$.

Таблица 6

$x,$ м	$t,$ мин.	$\frac{t}{T}$	ψ	$V,$ м ³	$\Delta V,$ м ³	$m,$ м ³ /га
Неуплотненная борозда $W_1 = 0,015, \alpha = 0,44$						
50	11	0,016	0,244	7,6	7,6	2500
100	110	0,160	0,480	14,6	7,0	2300
150	215	0,315	0,670	20,6	6,0	2000
200	320	0,467	0,795	24,4	3,8	1300
250	480	0,70	0,910	27,8	3,4	1130
300	685	1,00	1,0	30,8	3,0	1000
Уплотненная борозда $W_1 = 0,011, \alpha = 0,44$						
50	9	0,0205	0,23	4,6	4,6	1530
100	60	0,135	0,435	8,6	4,0	1330
150	117	0,167	0,620	12,3	3,70	1230
200	201	0,455	0,790	15,6	3,3	1100
250	305	0,695	0,910	18,0	2,4	800
300	440	1,0	4,0	19,8	1,8	600

Примечание: ψ определяется по табл.7 и зависит от отношения $\frac{t}{T}$ и величины

$$V = 0,06 q_0 T \psi,$$

$$m = \frac{10000 \cdot \Delta V}{8 \cdot t}.$$

Значение $W = \alpha \int_0^1 \left(\frac{1-z}{z} \right)^{1-\alpha} dz.$

$z = \frac{t}{T} : \alpha = 5/6$	$z = \frac{t}{T} : \alpha = 1/2$	$z = \frac{t}{T} : \alpha = 1/3$	$z = \frac{t}{T} : \alpha = 1/6$		
0,02	0,046	0,0938	0,178	0,338	0,610
0,03	0,067	0,1125	0,213	0,384	0,622
0,04	0,074	0,1450	0,252	0,422	0,640
0,05	0,095	0,1612	0,284	0,447	0,684
0,07	0,124	0,2038	0,333	0,500	0,730
0,10	0,161	0,2625	0,395	0,566	0,760
0,15	0,246	0,3412	0,480	0,650	0,800
0,20	0,310	0,4125	0,546	0,716	0,836
0,25	0,361	0,4662	0,608	0,742	0,862
0,30	0,420	0,5018	0,664	0,780	0,900
0,35	0,474	0,5912	0,705	0,826	0,912
0,40	0,513	0,6312	0,746	0,884	0,924
0,45	0,549	0,6825	0,786	0,880	0,938
0,50	0,626	0,7312	0,816	0,900	0,948
0,55	0,651	0,7600	0,876	0,920	0,960
0,60	0,700	0,8000	0,900	0,935	0,972
0,70	0,740	0,8582	0,925	0,964	0,980
0,80	0,800	0,9250	0,955	0,985	0,986
1,00	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

Здесь

ΔV — объем впитавшейся воды на 50-метровом отрезке;

B — ширина междурядья, м;

P — длина отрезка, м;

V — объем поданной в борозду воды, м³.

По полученному распределению увлажнения, времени полива и поливной норме выбираем необходимую длину борозды. Это позволяет при заданной поливной норме рационально назначать элементы техники полива (длину борозды, головной расход и время полива).

Указанные простейшие расчеты позволят правильно использовать воду и наладить водопользование в хозяйствах.

Г.В.ЕРЕМЕНКО, А.УСМАНОВ, А.З.ЛЫМАРЕВ

НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ
ПО ТЕХНИКЕ БОРОЗДКОВОГО ПОЛИВА В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ФЕРГАНЕ

Исследовательские работы по технике полива проводились на опытно-производственном участке закрытого дренажа в колхозе "Большевик" Алтыарыкского района, расположенном на новоосвоенных землях Центральной Ферганы.

Система закрытых дрен построена в 1959-1960 гг. на площади 350 га. Опыт работы показал, что в результате обособленного изучения закрытых дрен без одновременного исследования ряда взаимосвязанных вопросов (техники полива, к.п.д., режима орошения и др.) нельзя выработать обоснованных рекомендаций, необходимых для проектирования и освоения земель Центральной Ферганы.

Цель наших исследований — определить в полевых условиях оптимальные величины элементов техники бороздкового полива хлопчатника. Опыты проводились на поливном участке № II площадью 1,75 га.

Почво-грунты участка среднесуглинистые, гипсированные. С глубины от 0,8 до 1,6 м залегают небольшие по мощности глинистые прослойки, далее идут перемежающиеся слои суглинков, супесей и песков. Почвы средnezасоленные сульфатного типа. Грунтовые воды также сульфатного типа, минерализация по плотному остатку — 5-8 г/л, залегают на глубине 1,2-1,6 м.

Во время поливов грунтовые воды в течение двух суток поднимаются до 0,3-0,6 м от поверхности, спад же до первоначального уровня продолжается в течение 10-12 суток. Это явление вызвано напорным режимом работы закрытого дренажа, оно заметно отразилось на режиме орошения и технике полива.

Опыты по технике полива ставили в шести вариантах при трех различных расходах в борозду (0,75; 0,5;

0,35 л/сек). В первых трех вариантах полив проводили через междурядье, в трех остальных – в каждую борозду. Длина поливных борозд 350 м, уклон в среднем равен 0,003. Борозды были разбиты створами на 6 равных отрезков по 50 м. В каждом варианте исследовали 9 борозд, три (средние) опытные, остальные – защитные.

В голове и створах опытных борозд устанавливали треугольные водосливы, по которым учитывали изменения расходов по времени при постоянном головном. В первый час наблюдений замеры осуществляли через каждые 15 мин., затем через 1 час, а на вторые сутки и далее – через 2 часа.

Исследовательские работы заключались в определении времени пробега струи по сухим бороздам (по 9 бороздам) и изучении изменения величины струи во времени (по 3 бороздам) между створами каждого варианта. Если принять одну борозду за одну повторность, то получим в опытах по добегам 9 повторностей, в опытах по изучению динамики впитывания – 3 повторности. Можно считать, что осредненные данные будут иметь достаточную достоверность.

Результаты опытов по добегам (рис. I) представлены в табл. I и нанесены на график $\ell = f(t)$ в логарифмических координатах.

Время, необходимое для прохождения струи до конца борозды, резко сокращается с увеличением поливной струи. Например, во втором поливе при $q = 0,75$ л/сек для прохождения струи до конца борозды потребовалось 7 час., при $q = 0,5$ л/сек – 20 час., при $q = 0,35$ л/сек – 44 час., т.е. в 6,3 раза больше, чем при поливе с $q = 0,75$ л/сек. Величина же поливной струи в этом опыте уменьшилась только в 2,1 раза.

При одной и той же струе в последующих поливах продолжительность пробега уменьшается. Так во II варианте при первом поливе время пробега составило 32 час., при втором – 20 час., при третьем – 16 час., т.е. потребовалось вдвое меньше времени, чем для первого полива.

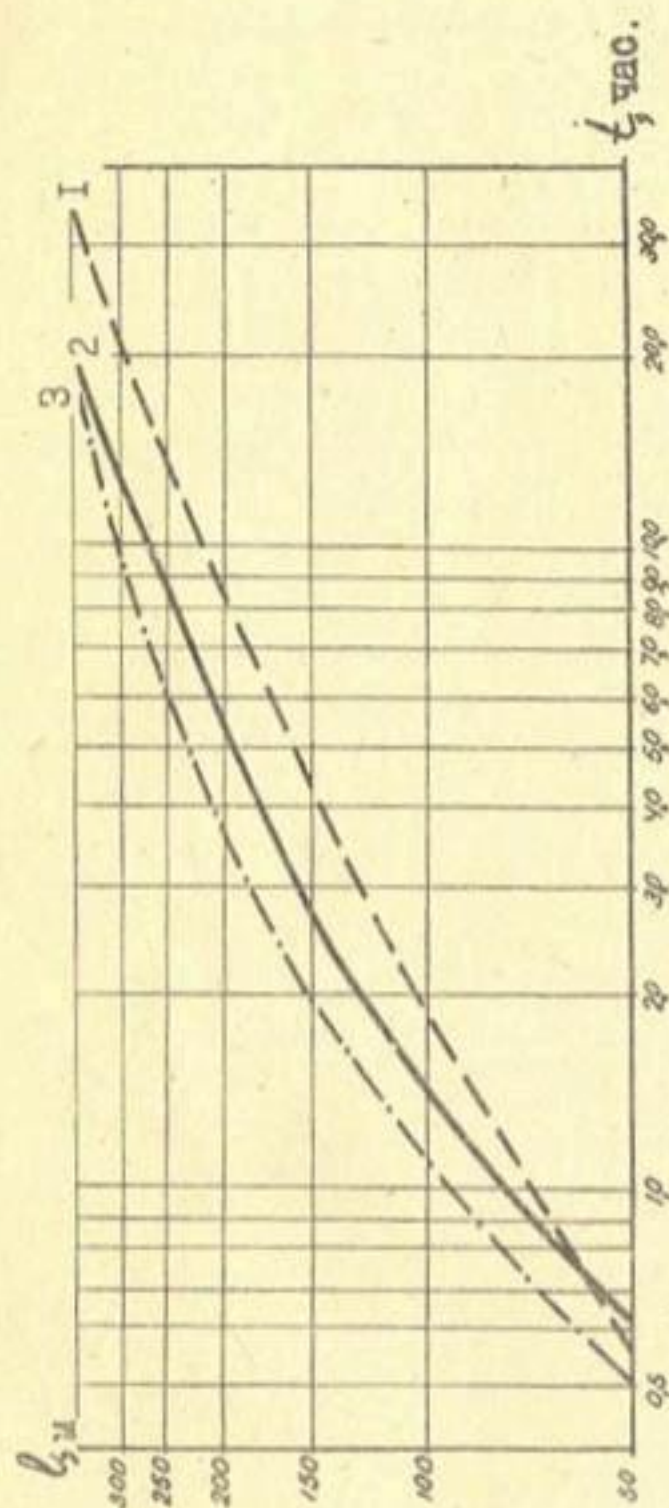


Рис. 1. График добега по сухой борозде ($Q = 0,50 \text{ м/сек}$, полив через борозду):

1-первый полив-3-5 июня; 2-второй полив-1-3 августа;
3-третий полив-3-5 сентября.

Опытные данные по добегам

Вариант	Поливная струя, л/с	Полив	Дата	Путь, пройденный струей				
				0,5	4	8	12	16
I	0,75	1	4-5.УП	50	180	260	320	
		2	3.УШ	55	280	360		
		3	4-5.ІХ	60	325	-		
II	0,50	1	3-5.УП	-	150	203	240	275
		2	1-3.УШ	50	185	250	290	325
		3	3-5.ІХ	55	200	280	315	340
III	0,35	1	3-5.УП	-	112	145	172	195
		2	1-3.УШ	-	175	225	260	290
		3	3-5.ІХ	-	195	245	270	295
IV	0,75	1	5.УП	58	215	300	360	
		2	1.УШ	60	240	360		
		3	4-5.ІХ	65	260	380		
V	0,50	1	3-5.УП	50	140	200	240	275
		2	1-2.УШ	50	185	260	310	335
		3	3-4.ІХ	55	200	270	340	360
VI	0,35	1	3-5.УП	-	108	150	175	195
		2	1-3.УШ	-	155	210	240	270
		3	3-5.ІХ	-	188	250	280	300

Таблица I

в зависимости от времени (час), м									
20	24	28	32	36	40	44	48	52	
300	320	335	348						
215	238	250	270	290	300	318	330	350	
305	315	330	336	340	345	350			
310	320	335	350						
300	325	335	350						
220	240	260	280	315	330	343		350	
300	325	335	350						
315	330	345							

Распределение увлажнения по

Вариант	Поливная струя, л/сек	Номер полива	Время полива, т, час	Увлажнение		
				0-50	50-100	
I	0,75	Уклоны		0,004	0,0034	
		I	12	790	845	
			16	1000	1040	
		2	10	800	730	
		3	12	910	840	
			16	1050	990	
II	0,50	Уклоны		0,005	0,0039	
		I	24	1460	1320	
			36	1810	1720	
		2	24	1040	980	
		3	36	1380	1280	
			24	1140	900	
III	0,35	Уклоны		0,004	0,003	
		I	24	1090	790	
			36	1400	1170	
			48	1600	1400	
		2	24	1020	900	
		3	36	1260	1040	
24	860		770			
IV	0,75	Уклоны		0,005	0,002	
		I	10	1560	1440	
			2	1540	1480	
			12	1650	1560	
		U	I	24	3100	2680
			0,5	36	4000	3500
2	24			2080	1920	
V	0,5	2	28	2300	2180	
			3	16	1600	1500
		3	20	1740	1710	
			Уклоны		0,004	0,0035
		0,35	I	24	1980	1790
				36	2470	2240
2	24		1740	1550		
3	36	2220	2120			
	24	1600	1380			
	36	2250	1960			

отрезкам борозд

Поливная норма, м ³ /га					Урожай, ц/га
I00-I50	I50-200	200-250	250-300	300-350	
0,0015	0,0001	0,004	0,004	0,003	24,3
870	1000	690	550	80	
1060	1200	840	750	670	
690	740	620	580	570	
960	890	810	650	620	
1040	1055	910	770	780	
0,0013	0,0001	0,0034	0,0035	0,003	32,2
1040	1040	700	340	50	
1480	1760	1040	600	320	
950	1140	920	680	410	
1400	1580	1380	1000	870	
1100	1230	1100	920	720	
1500	1610	1500	1400	1320	
0,002	0,0001	0,003	0,0064	0,003	29,7
700	850	290	-	-	
1000	1310	900	330	-	
1300	1580	1260	930	350	
700	920	660	400	120	
950	1270	860	750	530	
720	970	800	600	500	26,1
960	1340	1170	880	800	
0,0025	0,002	0,002	0,006	0,004	
1220	1020	1000	860	500	
1440	1280	1080	880	760	
1490	1360	1150	860	600	
0,0025	0,0015	0,003	0,005	0,004	29,0
2400	2200	1860	1160	300	
3300	3200	2920	2200	2300	
1800	1720	1600	1200	980	
2100	2100	1920	1760	1560	
1400	1230	1020	900	540	
1700	1600	1430	1230	850	26,7
0,0015	0,0001	0,003	0,004	0,005	
1740	1840	800	-	-	
2460	2660	1800	1140	130	
1800	2000	1700	1140	150	
2420	2660	2150	1910	1500	
1500	1680	890	800	260	26,7
2140	2420	1860	1500	1000	

При сравнении вариантов полива через борозду и в каждую при одной и той же величине струи оказалось, что разница во времени пробега незначительна.

Время прохождения струи с увеличением длины борозды резко возрастает. Во II варианте при первом поливе на пробег 110 м потребовалось 2 час., на длину 200 м — 8 час., а на длину 300 и 350 м — соответственно 20 и 32 час. Примерно в таких же величинах изменяется продолжительность пробега струи и в других вариантах опыта. Таким образом, время, потребное для прохождения струи по сухой борозде, возрастает не пропорционально увеличению длины борозды, а значительно быстрее. Поэтому происходит неравномерное распределение увлажнения по длине участка, что создает различные условия для роста и развития растений.

Из данных табл.2 видно, что увлажнение отрезков борозды происходит неравномерно и убывает от начального к последнему. Величина поливной струи по мере продвижения в связи со впитыванием части воды в почву постепенно убывает. В нашем опыте во II варианте при продолжительности первого полива 24 час., поливная норма на первом пятидесятиметровом отрезке составила 1460 м³/га, на втором — 1320 м³/га, на третьем и четвертом — 1040 м³/га, на пятом, шестом и седьмом соответственно — 700, 340 и 50 м³/га, т.е. до первого створа воды впиталось в 4 раза больше, чем на шестом участке. В данном случае на первом створе вода просачивается глубже корнеобитаемого слоя, в то время как начиная с 5-го створа почва недоувлажняется.

На створах борозд, имеющих заметный перелом в продольном профиле в замкнутых понижениях прослеживается переувлажнение почвы, повышенные же участки недоувлажняются.

Например, во II варианте второго полива при продолжительности 36 час. на четвертом отрезке с уклоном 0,0001 поливная норма составила 1580 м³/га, в то время как на первом отрезке (створе) с уклоном 0,0051 — 1380 м³/га.

Аналогичная закономерность наблюдается и в других вариантах опыта.

Надежным критерием при выборе размера струи в борозду служит степень выравнивания увлажнения участка по всей длине поливных борозд и потери воды на сброс. В табл.3 приведены возможные сочетания элементов по технике полива, полученные на основании эпюр увлажнения. С увеличением поливной струи и порядкового номера полива процент сброса возрастает.

Например, при $q = 0,75$ л/сек в первом поливе с продолжительностью в 12 час. и длиной борозды 250 м сброс составил 13%; при $q = 0,5$ л/сек того же полива, но с продолжительностью в 24 час. сброс уменьшился до 6,5%.

При одной и той же струе, продолжительности полива и длине борозды во II варианте при первом поливе сброс равен 6,5%, при втором и третьем соответственно — 12,5 и 24%.

Сопоставляя процент сбросной воды с борозд разной длины при одинаковом головном расходе, устанавливаем, что в длинных бороздах сброс уменьшается. Например, в I варианте первого полива по борозде длиной 250 м сброс составил 13%, а по борозде 300 м — 2%, во втором поливе по борозде 300 м и 350 м соответственно 17,5 и 6,4%. Такая же закономерность отмечена и в других вариантах полива.

Поливные нормы значительно сильно изменяются в зависимости от размера поливной струи, длины борозды и номера полива, они различны при поливе в каждое междурядье и при поливах через борозду. Как правило, при увеличении поливной струи норма впитывания уменьшается, продолжительность полива сокращается, возможная длина борозд возрастает. Например, в III варианте первого полива при

$q = 0,35$ л/сек, продолжительности полива 24 час. и длине борозды 200 м поливная норма брутто была $920 \text{ м}^3/\text{га}$ (сброс — 4,5%), а при поливной струе 0,75 л/сек того же полива, продолжительности 12 час. и длине борозды 300 м

Данные по сочетанию элементов техники полива

Ва- ри- ант	Номер поли- ва	Уклон	q , л/сек	Продол- жительность полива, час.	Дли- на бо- розд, м	Полив- ная норма нетто, м ³ /га	Полив- ная норма брутто, м ³ /га	Сброс, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9
I		0,0028	0,75	12	250	836	962	13
	I	0,0028	0,75	12	300	790	803	2
		0,0029	0,75	16	350	937	1060	11,8
		0,0028	0,75	10	300	682	827	17,5
	2	0,0029	0,75	10	350	666	710	6,4
		0,0028	0,75	12	300	840	1010	17
	3	0,0029	0,75	12	350	808	880	6,6
II	I	0,0028	0,5	24	250	1110	1190	6,5
		0,0028	0,5	24	250	1000	1150	12,5
	2	0,0029	0,5	24	300	950	1020	6,8
		0,0028	0,5	24	250	950	1250	24,0
	3	0,0029	0,5	24	300	910	1030	11,6
III	I	0,0028	0,35	24	150	895	1255	29
		0,0021	0,35	24	200	880	920	4,5
		0,0022	0,35	24	250	1154	1210	4,5
		0,0021	0,35	24	200	850	1120	23,3
	2	0,0022	0,35	24	250	842	930	9,3
		0,0021	0,35	24	200	800	1300	38
	3	0,0022	0,35	24	250	820	1040	21
		0,0030	0,35	24	300	780	840	7,5
IV	I	0,0032	0,75	10	300	1283	1408	9
		0,0034	0,75	10	350	1173	1210	3
		0,0032	0,75	10	300	1180	1380	14,2
	2	0,0034	0,75	10	350	1110	1180	6,2
		0,0032	0,75	12	300	1354	1504	11
	3	0,0034	0,75	12	350	1245	1290	3,3

I : 2 : 3 : 4 : 5 : 6 : 7 : 8 : 9								
У		0,0030	0,5	24	300	2230	2300	1,5
	I	0,0030	0,5	24	300	1725	1965	12
	2	0,0032	0,5	24	350	1608	1680	4,2
		0,0030	0,5	24	300	1585	1855	14,7
	3	0,0032	0,5	24	350	1485	1590	6,7
УІ	I	0,0023	0,35	24	200	1837	2037	9,8
		0,0023	0,35	24	200	1770	2500	29,6
	2	0,0024	0,35	24	250	1758	2000	12,5
		0,0026	0,35	24	300	1655	1675	1,1
		0,0023	0,35	24	220	1400	1810	22,7
	3	0,0024	0,35	24	250	1368	1593	14
		0,0026	0,35	24	300	1273	1325	4

поливная норма составила $803 \text{ м}^3/\text{га}$ (сброс - 2%), т.е. поливная норма уменьшилась на $120 \text{ м}^3/\text{га}$, продолжительность в 2 раза, а длина борозд увеличилась в 1,5 раза.

С ростом порядкового номера полива при одной и той же струе уменьшаются поливные нормы, что объясняется понижением водопроницаемости почвы в результате уплотнения. Сопоставление вариантов с одинаковой поливной струей при поливе через и в каждое междурядье показывает, что в первом случае, несмотря на повышенную водопроницаемость, поливные нормы значительно уменьшаются, так как количество поливаемых борозд вдвое меньше. Например, во II варианте третьего полива (через борозду) при длине борозды 300 м и продолжительности 24 часа поливная норма составила $1030 \text{ м}^3/\text{га}$ (сброс 11,6%), а в У варианте (в каждую борозду) при тех же элементах - $1855 \text{ м}^3/\text{га}$ (сброс 14,5%), в III и УІ вариантах соответственно - $840 \text{ м}^3/\text{га}$ (сброс 7,5%) и $1325 \text{ м}^3/\text{га}$ (сброс 4,2%).

Отметив взаимосвязь между элементами техники полива и возможные их сочетания, необходимо дать оценку вариантам опыта в зависимости от величины поливной струи.

Результаты I и IU вариантов (полив через борозду и в каждую) при поливной струе 0,75 л/сек свидетельствуют об экономном использовании воды и сокращении продолжительности полива, что казалось бы дает возможность несколько поднять производительность труда на поливе. Но в этих вариантах наблюдалась эрозия верхней третьей части поливной борозды, смыв плодородных частиц почвы, снизивший урожай хлопчатника. Кроме того, начиная с уклонов 0,001 и менее, поливная борозда не вмещала указанный расход. В наших опытах на таких участках гребни борозд поднимались вручную наблюдателями. Только по этим двум причинам рекомендовать производству такую поливную струю не следует.

Варианты II и У с поливной струей 0,5 л/сек чаще всего применяются в производстве, но при длине борозды 350 м полив затягивается, начальные части борозд переувлажняются, конечные недоувлажняются. При первом поливе следует ограничиться длиной 250 м, при последующих — 300 м. При хорошей планировке и положительном уклоне длину борозды можно увеличить на 50 м. Поливы целесообразно проводить через борозду в течение 20–24 часов с поливной нормой 1300 м³/га для первого полива и 1100–1200 м³/га — для последующих.

В период вегетации поливальщики применяют поливы через борозду на всем участке закрытого дренажа, причем на урожайность и соленакопление это не влияет (табл. 2, 4).

Варианты III–VI с поливной струей 0,35 л/сек не применимы, так как из-за малости струи полив продолжается около 3 суток и вода по некоторым бороздам вообще не доходит до конца. Велика разница в увлажнении между начальными и конечными отрезками, поливная норма большая. Поливы с такой величиной струи можно применять на бороздах длиной не более 200 м (на мелких поливных участках староорошаемых земель).

Таблица 4

Динамика запасов солей в метровом слое
почво-грунтов в вегетационный период 1965 г.
(среднее по 18 точкам)

Показатели	Первый полив		Второй полив		Третий полив		Перед промыв- кой
	до	после	до	после	до	после	
Начало полива		3/УП		1/УШ		3/IX	
Время солевой съемки	22/VI	10/УП	30/УП	8/УШ	2/IX	13/IX	14/XII
По плотному остатку							
т/га	261	247,4	262,7	217,8	258	237,1	237,2
% от веса	2,01	1,9	2,02	1,67	1,98	1,82	1,82
По иону хлора							
т/га	1,77	1,43	1,39	1,32	1,42	1,17	1,53
% от веса почвы	0,0136	0,011	0,0107	0,0101	0,0109	0,009	0,0118
Минерализация грунтовых вод, г/л	6,5	-	-	7,2	-	-	6,4

На нашем участке возможно применение гибких трубопроводов на бороздах длиной 400–450 м. Полив производится одновременно в два такта. Для этого на верхнюю часть участка подается поливная струя с расходом 0,5 л/сек, а на нижнюю часть с бороздами длиной 150–200 м – 0,35 л/сек. При такой схеме увлажнение выравнивается по всей длине, экономится поливная вода и повышается производительность труда на поливе.

На основании опытов получен большой фактический материал по динамике скорости впитывания воды почвой (рис.2). Скорость впитывания в начальный период пуска воды максимальная, а затем убывает, приближаясь постепенно к почти постоянной величине. Эта особенность впитывания позволяет достичь некоторого выравнивания увлажнения почвы по длине борозды.

В ы в о д ы

1. Существующий закрытый дренаж не в состоянии быстро отвести воду, поступающую в грунтовые воды во время полива и тем более во время промывок. В результате уровень грунтовых вод поднимается до 0,3–0,6 м от поверхности земли в течение 2 суток и сравнительно медленно снижается (8–12 суток) до исходной (средней) глубины 1,2–1,6 м. Увеличения солесодержания в почво-грунтах и минерализации грунтовых вод в межполивной период не происходит (табл.4).

Грунтовые воды после поливов слабоминерализованы, они вполне пригодны для питания растений в последующий межполивной период, благодаря чему сокращается число поливов, отпадает надобность полива в каждую борозду, экономится поливная вода и повышается производительность труда на поливе.

2. На новоосваиваемых среднесуглинистых почвах Центральной Ферганы с уклонами 0,0025–0,0035 оптимальными расходами в голове борозд являются 0,5–0,6 л/сек для первого полива и 0,4–0,5 л/сек – для всех последующих.

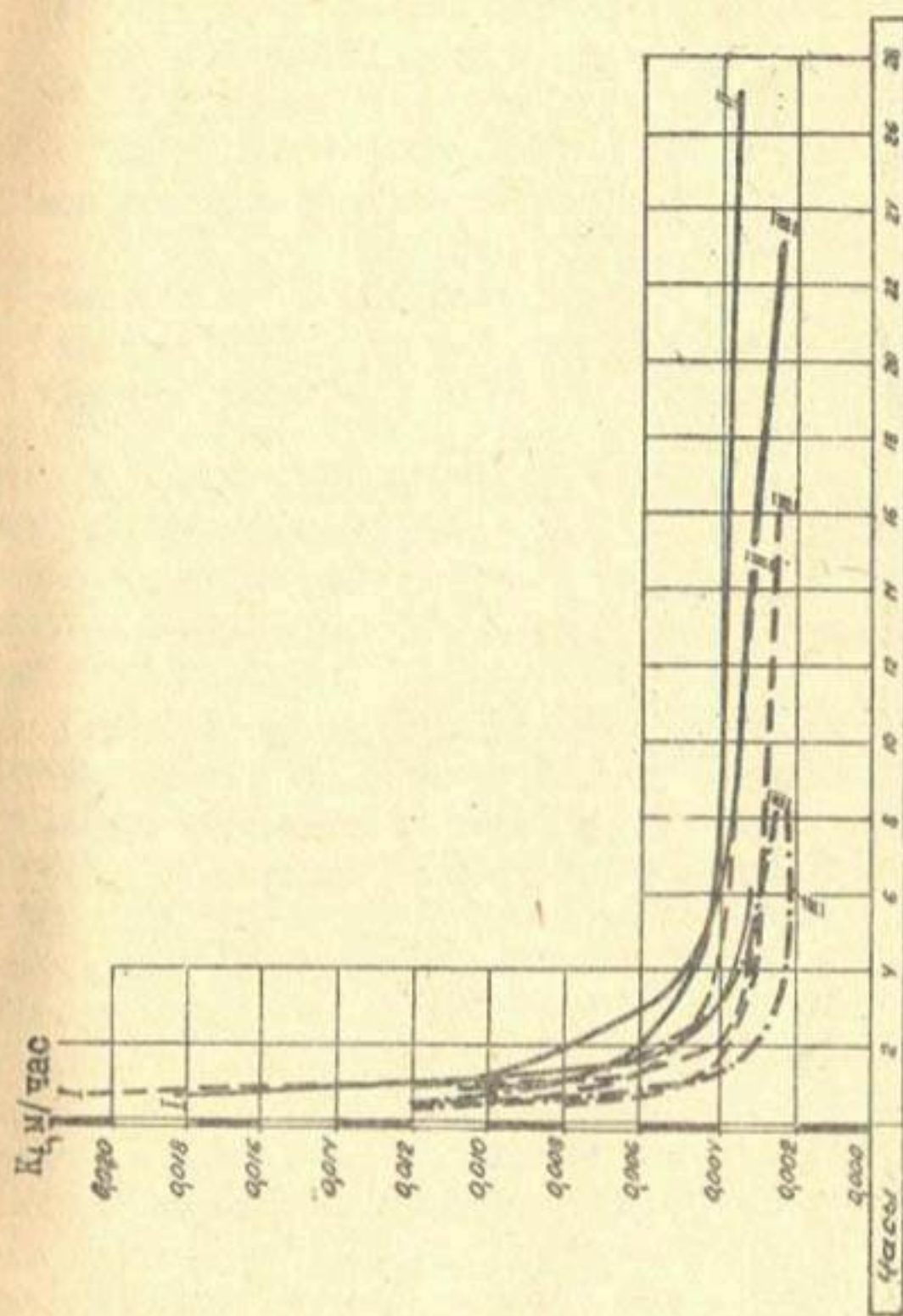


Рис. 2. График изменения коэффициента впитывания на участках бо-
розны по времени (I, II, III-номера вариантов):
_____ первый полив; --- второй полив; -.-.- третий по-
лив.

Поливы рекомендуем проводить через борозду в течение 20–24 час. Равномерное увлажнение поля по длине участка достигается при поливной норме брутто 1300–1400 м³/га для первого полива и 1100–1200 м³/га для последующих при длине борозды 250–300 м. При очередном поливе целесообразно чередовать поливные борозды. Урожайность при этом получена наивысшая (32,2 ц/га).

3. При поливной струе большей 0,65 л/сек и уклоне больше 0,003 происходит эрозия почв на верхней третьей части борозды, а начиная с уклона 0,001 и менее, поливная борозда не вмещает указанный расход.

4. На староорошаемых землях с мелкими поливными участками и длиной борозды 100–250 м величина поливной струи приемлема в пределах 0,30–0,35 л/сек. Только первый полив проводится через междурядье, последующие – в каждое.

На равномерное распределение увлажнения по длине борозды влияет уклон участка. Поэтому целесообразно при проектировании и производстве работ по планировке постепенно **уполаживать** концевую третью часть участка.

В.Н.МАШКОВ

О ВЫБОРЕ НЕКОТОРЫХ ПАРАМЕТРОВ ВЕТРОВОДОПОДЪЕМНЫХ УСТАНОВОК ДЛЯ ПУСТЫННЫХ ПАСТБИЩ СРЕДНЕЙ АЗИИ

В отечественном ветродвигателестроении всегда большое внимание уделялось созданию ветронасосных установок для сельскохозяйственного водоснабжения. Низкая эксплуатационная стоимость получаемой энергии и, главное, возможность использования ее в любом пункте сельскохозяйственных угодий давали основание полагать, что наиболее эффективно ветродвигатели могут быть применены для механизации водоподъема из шахтных колодцев на пустынных и полупустынных пастбищах, где водопойные пункты рассредоточены на громадных территориях.

Однако, если эксплуатация ветроводоподъемных установок вблизи населенных пунктов довольно хорошо освоена, то все попытки применить их для механизации водоснабжения на пустынных пастбищах Средней Азии и Казахстана окончились неудачей. Ветроводоподъемники выходили из строя в подавляющем большинстве случаев в первый же год эксплуатации. Так, из двух сотен ветронасосных агрегатов, установленных Узбекским пастбищно-мелиоративным строительным трестом в 1938-1940 гг. на пастбищах Узбекистана, большинство проработало менее года. Исключение составили ветродвигатели (их насчитывалось не более десяти), находящиеся в населенных пунктах или в непосредственной близости от них, где им был обеспечен систематический квалифицированный уход и надзор.

В 1954 г. колодцы Чиилийской скотопрогонной трассы в пустыне Бетпак-Дала были оборудованы ветронасосными установками ТВ-5 и ДДК-4. Обследования САНИИРИ (июль 1955 г.) показали, что преобладающее количество ветронасосных уста-

новок не работало уже в первые месяцы эксплуатации. Это свидетельствует о том, что при проектировании ветронасосных установок не учитывались специфические условия эксплуатации этих агрегатов на пастбищах в пустынях.

Для уточнения технических требований, которые должны предъявляться к ветроводоподъемным агрегатам, предназначенным к эксплуатации в условиях пустынь Средней Азии, в 1961–1962 гг. сотрудниками лаборатории гидромашин САННИРИ на пастбищах ККАССР проведены сравнительные испытания опытных образцов ветроводоподъемников марок ВПВ-5, ВБ-3, ДДК-4М и серийно выпускаемых ВП-3 и ВП-3М. В процессе исследований выявлены конструктивные недостатки этих машин, которые, по нашему мнению, и препятствовали их широкому применению.

Основные недостатки ветроводоподъемника ВПВ-5:

- а) возможность установки только на колодцах с большим столбом воды в водосборной части шахты вследствие больших габаритов водоподъемника вытеснения;
- б) ненадежность работы клапанов водоподъемника, особенно при агрессивных водах;
- в) сложность в монтаже, уходе и ремонте;
- г) невозможность использования других водоподъемных средств при выходе из строя данного ветроводоподъемника.

В ветроводоподъемнике ВБ-3 недостаточна прочность колонны водоподъемных труб. При возникновении поперечных колебаний колонны в местах соединения труб образуются трещины. Для устранения поперечных колебаний колонны труб необходимы монтажные работы в глубине колодца и длительное кропотливое регулирование. Употребить другие водоподъемные средства при выходе агрегата из строя весьма трудно.

Наиболее приспособленным к условиям пустынных пастбищ Узбекистана оказался ветроводоподъемник ВП-3М. Однако

необходимость монтажа его рядом с оголовком колодца требует в большинстве случаев долбления опорной железобетонной плиты шахтного колодца, что особенно тяжело при высоком оголовке колодца. Из-за недостаточной прочности ветроколеса и крепления нижнего редуктора, а также ненадежности конструкции нижнего натяжного устройства этот ветроводоподъемник нельзя рекомендовать для широкого использования.

Ни один из ветроводоподъемных агрегатов, испытанных на пастбищах Каракалпакии, не может работать на колодцах старого типа с саксаульным креплением шахты колодца: ВПВ-5 — ввиду недостаточности столба воды в колодце, ВБ-3 — вследствие опасности крепления штанг водоподъемных труб с помощью растяжек к стенкам колодца (возможен обвал шахты), ВП-3 — из-за трудности установления ветроводоподъемника рядом с колодцем (также возможен обвал).

Для использования ветроводоподъемников на шахтных колодцах старого типа необходимо переоборудовать так, чтобы их можно было установить на расстоянии не менее 1,5 м от оголовка колодца и чтобы они не передавали знакопеременных нагрузок на оголовок и стенки колодца.

Испытания показали, что при определенной конструкции, учитывающей специфические особенности эксплуатации на пустынных пастбищах Средней Азии, ветроводоподъемные установки с успехом могут быть применены для механизации подъема воды из шахтных колодцев.

В настоящее время основное средство механизации водоподъема на пастбищных пустынях Средней Азии — ленточные водоподъемники с приводом от двигателя внутреннего сгорания, которые уже более шести лет серийно выпускаются нашей промышленностью. Ими оборудовано более 90% водопойных пунктов.

Ленточные водоподъемники обладают следующими особенностями:

а) могут быть эффективно использованы практически на всем диапазоне глубин колодцев, имеющих на пастбищах Средней Азии и Казахстана, причем с увеличением глубины колодцев их к.п.д. возрастает;

б) наличие взвешенных частиц не оказывает существенного влияния на работу водоподъемника;

в) срабатывание статического запаса воды в водосборной части колодца не приводит к срыву работы водоподъемника, так как он плавно снижает производительность до величины дебита шахтного колодца при динамическом уровне воды, совпадающего примерно с осью блока нижнего натяжного устройства, и затем продолжает работать с подачей, равной дебиту колодца;

г) конструкция водоподъемника позволяет эксплуатировать его без технического ухода и надзора в течение длительного времени (одного года);

д) надежность работы всех узлов ленточного водоподъемника обеспечивает его нормальную работу в условиях пустынных пастбищ без ремонта в течение пяти лет и более;

е) монтаж и демонтаж водоподъемника не требует проведения каких-либо работ в шахте или переделок на оголовке колодца; он настолько прост, что может быть произведен чабанской бригадой в течение 1-2 час.

Опыт механизации водоподъема на пустынных пастбищах республик Средней Азии и Казахстана показал, что использование ленточных водоподъемников с приводом от двигателей внутреннего сгорания позволяет сократить расходы на водопой овец в два раза и более по сравнению с подъемом воды ковгой. Поэтому ветроводоподъемные установки смогут найти применение лишь тогда, когда стоимость подъема воды при их использовании будет ниже, чем при

применении ленточных водоподъемников.

За основной критерий при выборе способа механизации водоподъема на участке пастбищ или пастбищном массиве, по нашему мнению, следует принимать стоимость водопоя овец, выпасаемых на данной территории. При расчете следует учитывать как эксплуатационные затраты, так и капитальные вложения, необходимые для осуществления вариантов механизации водоподъема. Вариант выбирается по минимуму расчетных затрат, т.е. к ежегодным эксплуатационным расходам прибавляются капитальные вложения, помноженные на коэффициент их эффективности, и сравниваются, исходя из условий, что каждый из них должен обеспечивать гарантированное ежедневное снабжение водой в заданном объеме.

Очевидно, при использовании ветроводоподъемных установок для механизации подъема воды из шахтного колодца капитальные вложения будут большими, чем при оборудовании ленточными водоподъемниками с приводом от двигателя внутреннего сгорания; эксплуатационные же затраты, по-видимому, — меньшими, так как при работе агрегата присутствие человека не требуется, а ветродвигатели могут быть весьма долговечными и надежными.

Капитальные вложения при механизации водопойного пункта с помощью ленточных водоподъемников почти не изменяются при возрастании глубины колодца, так как стоимость агрегата (за исключением стоимости рабочего органа), его монтаж и транспортные расходы постоянны для колодцев любой глубины.

С увеличением глубины колодцев для обеспечения заданной производительности требуется лишь повышение мощности двигателя. Однако ввиду того, что наша промышленность в настоящее время не выпускает двигателей внутреннего сгорания общего назначения мощностью менее 3 л.с., из всех

двигателей мощностью 3—6 л.с. только ЗИД-4,5 более или менее приспособлен к эксплуатации в условиях пустынь. Поэтому заводы выпускают ленточные водоподъемники с одним типом двигателя марки ЗИД-4,5, мощность которого (4,5 л.с.) позволяет использовать этот агрегат для подавляющего большинства шахтных колодцев (глубиной до 60 м) на пастбищах Узбекистана.

Несколько иначе обстоит дело с капитальным вложением при оборудовании водопойных пунктов ветроводоподъемными установками. Мощность ветродвигателя при работе на аккумулирующий бассейн должна обеспечить подъем воды в объеме, гарантирующем ежедневный нормальный водопой при ветровом режиме данного района.

Как показал опыт эксплуатации, ветроводоподъемник ВП-3 с диаметром ветроколеса 3 м в условиях пустынных пастбищ Узбекистана со среднегодовыми скоростями ветра 4 м/сек может быть рационально использован на колодцах глубиной до 15 м. Для подъема воды из более глубоких колодцев необходимо повысить мощность ветродвигателя, т.е. увеличить диаметр ветроколеса, что влечет за собой возрастание веса ветроводоподъемника и соответственно его стоимости. Отсутствие ветродвигателей большей мощности, чем ВП-3, пригодных для эксплуатации на пастбищах, не позволяет при экономическом сравнении пользоваться данными об их стоимости, поэтому стоимость таких ветродвигателей определяется по аналогии с изменением веса и стоимости ветроводоподъемников старых типов при увеличении диаметра их ветроколес с поправкой на современное конструктивное исполнение.

При установке ветроводоподъемников необходимо у колодца строить аккумулирующий бассейн для обеспечения водопоя скота в безветренные дни.

По данным института энергетики АН УзССР, для ветровых условий севера Бухарской области и ККАССР емкость аккумуляющего бассейна при среднем водопотреблении на водопойном пункте должна быть $30+50 \text{ м}^3$.

Вместо аккумуляющего бассейна на колодце может быть установлен резервный водоподъемник с приводом от двигателя внутреннего сгорания, запускаемый в работу в безветренные дни. В этом случае емкость бассейна может быть уменьшена до размеров суточного водопотребления на данном водопойном пункте.

Для определения технико-экономических показателей механизации водоподъема существующими водоподъемными средствами мы рассмотрели три варианта.

1. На шахтных колодцах одного хозяйства устанавливаются ветроводоподъемники. Рядом с колодцами строятся крытые аккумуляющие бассейны емкостью $10-40 \text{ м}^3$. Бассейны монтируются из сборного железобетона.

2. Шахтные колодцы оборудуются ветроводоподъемниками с тепловым резервом на случай безветрия. Емкость аккумуляющего бассейна равна суточному водопотреблению на данном водопойном пункте. В качестве теплового резерва используется двигатель внутреннего сгорания марки ЗИД-4,5.

3. Водопойный пункт механизруется с помощью ленточных водоподъемников; привод их осуществляется от двигателей внутреннего сгорания.

Расчетные затраты при использовании ленточных водоподъемников с увеличением глубины колодца изменяются столь незначительно, что не выходят за пределы точности расчета (10%); при ветроводоподъемных установках они растут прямо пропорционально увеличению диаметра ветроколеса.

Приближенные расчеты показывают, что область рационального использования ветроводоподъемников с аккумуляющими бассейнами (если принять средний для Узбекистана необ-

ходимый объем аккумулирующего бассейна за 30 м³) ограничена двигателями с диаметром ветроколеса до 3,6 м. Это позволяет применять их в условиях пастбищ Узбекистана на колодцах глубиной до 20–25 м.

У ветроводоподъемников с диаметром колеса до 4,2 м и менее, имеющих тепловой резерв, расчетные затраты ниже, чем у ленточных водоподъемников с приводом от ДВС, т.е. они могут эффективно использоваться на колодцах глубиной до 25–35 м. Кроме того, ветроводоподъемные агрегаты с тепловым резервом более надежны и удобны в эксплуатации по сравнению с другими вариантами, так как одновременный выход из строя и ветродвигателя, и ДВС маловероятен, а при ремонте одного из двигателей можно использовать резервный.

Область применения ветроводоподъемников для пустынных пастбищ Узбекистана ограничивается колодцами глубиной 25–35 м. Однако в районах, где запас воды в водосборной части шахтных колодцев и их дебит невелики, а увеличению объема водосборной части колодца препятствуют гидрогеологические условия, агрегаты могут эффективно использоваться и на более глубоких колодцах. На таких водопойных пунктах подъем необходимого количества воды требует длительной работы установки с производительностью, примерно равной дебиту колодца.

Использование водоподъемников с приводом от двигателей внутреннего сгорания, когда необходимо присутствие обслуживающего персонала, нецелесообразно, так как расходы на обслуживание, составляющие 50% и более от всех затрат, пропорциональны времени работы водоподъемников, т.е. обратно пропорциональны их производительности.

При работе ветроводоподъемников не требуется присутствия обслуживающего персонала, и стоимость поднятой ими воды мало зависит от времени их работы.

Ввиду отсутствия в большинстве случаев технических навыков у чабанов-животноводов возложить на них надзор и технический уход за ветроводоподъемными агрегатами невозможно. С организацией специальной технической службы для осуществления систематического ухода и надзора резко увеличиваются эксплуатационные затраты.

Для обеспечения широкого использования агрегатов на пустынных пастбищах Средней Азии необходимо повысить надежность работы как ветродвигателя, так и водоподъемника. Наиболее надежным средством механизации водоснабжения в условиях пустынных пастбищ являются ленточные водоподъемники, поэтому использование их в ветроводоподъемном агрегате безусловно положительно скажется на его надежности.

Один из эффективных путей увеличения надежности ветродвигателей — упрощение их конструкции за счет уменьшения движущихся частей, особенно в труднодоступных местах на головке ветродвигателя.

В ы в о д ы

I. Приведенные результаты технико-экономического сравнения вариантов различных способов механизации водоподъема получены при осредненных (по республике) данных, поэтому могут быть использованы лишь при определении потребности в различных средствах механизации на весьма больших пастбищных массивах. При выборе водоподъемных агрегатов для одного хозяйства принятые в расчете дальность перевозки, стоимость техобслуживания и капитального ремонта могут изменяться в больших пределах, что безусловно должно сказаться на конечных выводах по технико-экономическим расчетам. Поэтому при выборе средств механизации для одного хозяйства или даже целого района необ-

ходимы проверочные расчеты применительно к конкретным условиям.

2. На территории пастбищ Узбекистана с благоприятным ветровым режимом (Бухарская обл. и ККАССР) для механизации водоподъема из шахтных колодцев могут быть использованы ветроводоподъемные агрегаты. Технико-экономические сравнения дают основание полагать, что наиболее приемлемым для пастбищ Узбекистана — ветроводоподъемники с тепловым резервом с диаметром ветроколеса, не превышающим 4—4,5 м.

3. Для обеспечения возможности широкого использования ветроводоподъемных агрегатов необходимо повысить надежность их работы, создав возможность эксплуатировать их без систематического технического надзора и ухода, что позволит значительно снизить расходы по эксплуатации.

Один из эффективных путей увеличения надежности — упрощение конструкции ветродвигателя и использование надежных водоподъемных средств, например, ленточного типа водоподъемников.

В.Н.МАШКОВ

ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНОГО ВАРИАНТА МЕХАНИЗАЦИИ ВОДОПОДЪЕМА НА ПУСТЫННЫХ ПАСТБИЩАХ СРЕДНЕЙ АЗИИ

Водоснабжение пастбищ в пустынных и полупустынных районах Средней Азии базируется преимущественно на использовании подземных вод. На пастбищах Узбекистана насчитывается более 4 тыс. шахтных колодцев и около тысячи буровых скважин.

Лабораторией гидравлических машин САНИИРИ произведена технико-экономическая оценка различных способов механизации водоподъема, рекомендованных для водоснабжения пустынных пастбищ. Основные факторы, влияющие на выбор способа механизации водоснабжения на пустынных пастбищах Узбекистана, следующие: 1) средняя кормовая емкость, предопределяющая расстояние между колодцами при двухотарной нагрузке на каждый водопойный пункт (2000 голов) в 8-12 км; 2) шахтные колодцы, дебиты и запасы воды в водосборной части которых позволяют использовать высокопроизводительное водоподъемное оборудование (выше 1,5 л/сек) для единовременного подъема воды в объеме 5 м³ и более, встречаются на пастбищах очень редко и составляют не более 25%; 3) средняя скорость передвижения автотранспорта на большинстве пастбищных массивов — 10-20 км/час.

На пустынных пастбищах Средней Азии применяют главным образом три схемы эксплуатации механизированных водопойных пунктов: а) шахтный колодец оборудуется водоподъемниками с приводом от двигателя внутреннего сгорания; их обслуживают чабанская бригада и разъездные механики; б) к группе колодцев прикреплена передвижная водоподъемная установка, смонтированная на автомашине; в) воду из высокодебитного источника развозят на автоцистернах по

пунктам, не имеющим водоисточников.

Ввиду многообразия гидрогеологических условий залегания подземных вод каждый из перечисленных способов эксплуатации механизированных водопойных пунктов целесообразен для конкретных территорий пастбищ.

Критерием эффективности при выборе способа организации водоснабжения на отдельных участках пастбищ может служить стоимость 1 м³ воды (с учетом капитальных вложений для осуществления этого способа) при условии гарантированного ежедневного обеспечения нормального водопоя на всех пунктах рассматриваемого участка.

Для правильной эксплуатации пастбищного участка (стравливания) и обеспечения рационального режима выпаса овец необходимо, чтобы на одном водопойном пункте базировалось не более трех отар овец. Средняя по республике загруженность одного водопойного пункта — две отары по 1000 голов каждая.

При различных способах организации механизированных водопойных пунктов возникают особые требования как к параметрам и конструктивным особенностям водоподъемного оборудования, так и к параметрам водоисточников. Так, при установке на одиночном колодце водоподъемника с приводом от двигателя внутреннего сгорания для обеспечения рационального режима его работы нужно, чтобы за время, зоотехнически необходимое для водопоя одной отары (1–1,5 часа), водоподъемник поднимал объем воды, достаточный для нормального водопоя. При численности отары в 1000 голов и водопотреблении на одну овцу пяти литров производительность водоподъемника составит 1,0–1,5 л/сек. При этом нет необходимости одному из чабанов заранее отлучаться от отары для заблаговременного запуска в работу водоподъемника. Но дебиты подавляющего большинства колодцев не превосходят 0,5 л/сек, так что для обеспечения нормальной работы агре-

гата необходимо в водосборной части иметь определенный запас воды.

Содержать специального человека (механика) для обслуживания одного водоподъемного агрегата, работающего 1-3 часа в сутки, безусловно, нецелесообразно. Для сокращения расходов на обслуживание водопойного пункта необходимо на колодцах данной группы устанавливать такие водоподъемные агрегаты, заправку, запуск в работу и остановку которых можно было бы возложить на чабанов. Это возможно лишь в случае, когда эти машины предельно просты по конструкции и не требуют специальных навыков и знаний для их эксплуатации.

Водоподъемные агрегаты должны быть максимально надежны в работе и долговечны, а также нетребовательны к техническому уходу — это диктуется оторванностью водопойных пунктов от ремонтных баз и крайне жестким графиком водопотребления.

Если параметры колодца не обеспечивают подъема требуемого количества воды за время водопоя, то при эксплуатации водоподъемных агрегатов чабанами не представляет особенных затруднений (ввиду того, что отара обыкновенно выпасается на небольшом расстоянии от колодца) подъемный агрегат пустить в работу дополнительно в период между двумя водопоями.

Из-за низкой технической квалификации чабанского состава необходимо периодически производить осмотр и мелкий ремонт водоподъемных агрегатов силами колхозных (или совхозных) механиков. Наиболее рационально, по-видимому, выделить специального механика для обслуживания 10-15 механизированных водопойных пунктов, снабдив его транспортными средствами. Водоподъемное оборудование, ввиду относительной простоты устройства, желательно ремонтировать в мастерских хозяйств, а двигатели — на специализированных

предприятиях. В хозяйствах нужно иметь запасные водоподъемные агрегаты, а на специализированных предприятиях — обменный фонд двигателей.

Работа специализированных ремонтных предприятий тем эффективней, чем меньше номенклатура ремонтируемых машин. Значительного удешевления ремонта и упрощения ремонтной службы можно достигнуть сокращением до минимума типов эксплуатируемого водоподъемного оборудования в пределах крупных пастбищных массивов и даже в пределах областей. Для этого необходимо, чтобы водоподъемное оборудование, предназначенное к эксплуатации на отгонных пастбищах, эффективно работало в большом диапазоне глубин колодцев и обладало способностью изменять производительность без замены двигателя.

Механизированному водопойному пункту для обслуживания водопоя одной отары требуется в среднем около 600 л бензина в год. При общих эксплуатационных расходах, составляющих около 900 руб., доля энергетических затрат на водопойном пункте относительно невелика — 10–15%.

Таким образом, к.п.д. водоподъемного оборудования не является определяющим в выборе типа машин для механизации водоподъема на пастбищах при установлении источника энергии на каждом колодце. Кроме того, к.п.д. водоподъемного оборудования значительно отличается от полного к.п.д. водоподъемной установки. Например, наиболее высоким к.п.д. из используемых в настоящее время водоподъемных средств обладают погружные и центробежные насосы при размещении их в шахтных колодцах. Однако как первый, так и второй требуют электрического привода, а электрическая энергия на подавляющем большинстве водопойных пунктов отсутствует, и для привода этих насосов необходимо специально устанавливать небольшие электростанции на базе дизеля или бензинового двигателя; к.п.д. генераторов и электродвигателей не-

большой мощности равен 0,7–0,8.

Таким образом, общий к.п.д. установки с погружными насосами небольшой производительности составляет около 0,3–0,35 и с центробежными – 0,35–0,4, т.е. примерно такие же, как к.п.д. гидроэлеваторов спирально-цепочных и ленточных водоподъемников.

Необходимость установки электростанции на водопойном пункте приводит к значительному росту стоимости водоподъемной установки и повышению требований к квалификации обслуживающего персонала (т.е. к возрастанию затрат и на обслуживание); при этом увеличивается вероятность выхода агрегата из строя, так как с введением дополнительных элементов в трансмиссию от двигателя к водоподъемнику в виде преобразователей энергии (генератора и электродвигателя) снижается ее надежность.

Выход водоподъемного агрегата из строя повлечет за собой внеплановый рейс автомастерской для устранения неисправностей. Средняя скорость машины по грунтовым дорогам на пастбищах Узбекистана в районе песчаных барханов – не более 15–20 км/час. Если принять среднее расстояние от ремонтной базы до водопойного пункта за 100 км и средний расход бензина 20 л/час, то для осуществления одного рейса авторемонтной мастерской потребуется 200 л бензина, т.е. 1/3 годового расхода горючего на механизированном водопойном пункте, обслуживающем одну отару.

Затраты на два-три вынужденных рейса автомастерской в течение года для устранения неисправностей водоподъемного агрегата равносильны снижению его к.п.д. в два раза. Ущерб в период вынужденного простоя установки в отдельных случаях значительно превосходит затраты на ремонтные работы.

Таким образом, при выборе водоподъемного оборудования для одиночных шахтных колодцев основным критерием яв-

ляется не его к.п.д., а способность длительное время работать без квалифицированного ухода и надзора, а также простота обслуживания, позволяющая возложить эксплуатацию этого оборудования в основном на чабанов.

В настоящее время наиболее полно условиям эксплуатации на пустынных пастбищах (при обслуживании механизированных водопойных пунктов чабанами) соответствуют ленточные водоподъемники с приводом от двигателя внутреннего сгорания при подъеме воды из шахтных колодцев и шнуровые подъемники при водозаборе из трубчатых колодцев.

При механизации водоподъема из шахтных колодцев (или скважин) с помощью передвижной установки возможны два варианта.

1. На автомашине установлена дизель-электростанция и лебедка для опускания водоподъемного агрегата. Машина подъезжает к колодцу, и водоподъемный агрегат опускают в колодец или скважину. Вода подается по гибким шлангам. После откачки требуемого количества воды агрегат поднимают лебедкой и грузят на машину. На следующем водоподъемном пункте цикл повторяется.

2. На машине устанавливается только дизель-электростанция. Каждый из обслуживаемых колодцев или скважин оборудуется водоподъемными агрегатами с электрическим приводом. Машина подъезжает к колодцу, запускается в работу электростанция и подключается электродвигатель водоподъемного агрегата.

Эффективность механизации водоподъема зависит главным образом от количества водопойных пунктов, которые за смену обслуживает передвижная установка; число обслуживаемых водопойных пунктов — от расстояния между колодцами, качества дорог и времени, за которое откачивают требуемый объем воды.

Наиболее эффективно, по-видимому, использовать описываемый метод организации эксплуатации водопойных пунктов на участках пастбищ с большой кормовой емкостью, которая в основном диктует густоту водопойной сети, при наличии дорог хорошей проходимости и при больших дебитах водоисточников (или запасов воды в водосборной части).

Первый вариант отличается от второго меньшими капитальными вложениями: требуется всего один водоподъемный агрегат на несколько колодцев, тогда как по второму варианту ими необходимо оборудовать каждый колодец. Однако эксплуатационные затраты по первому варианту будут выше, чем по второму, так как на подъем и опускание водоподъемного агрегата требуется затратить определенное время, и при равной производительности водоподъемного агрегата число обслуженных водопойных пунктов при первом варианте будет меньше, чем при втором.

Если водоисточники позволяют использовать водоподъемные агрегаты высокой производительности (наиболее эффективный вариант), а значит и большего веса, то опускать и поднимать их вряд ли сможет один человек, а при обслуживании передвижной установки двумя работниками возрастут эксплуатационные затраты.

Первый вариант передвижной водоподъемной установки рационально использовать на территориях пастбищ с кратковременным содержанием поголовья (например, скотопрогонные трассы).

При длительном содержании овец на пастбищах, прилегающих к водопойному пункту, по-видимому, более эффективен второй вариант.

Использование передвижных водоподъемных установок предопределяет постоянное присутствие во время работы водоподъемного оборудования шофера-механика достаточно высокой квалификации. Это создает возможность при выборе

установки отодвинуть на задний план требования простоты конструкции и технического ухода за ним. Следовательно, можно использовать наиболее современное водоподъемное оборудование с высоким к.п.д. Для первого и второго вариантов наиболее подходящими при подъеме воды из скважин являются погружные электронасосы. При заборе воды из колодцев для первого варианта можно использовать центробежные поплавковые насосы (типа ПНУ), для второго — поплавковые или вихревые, установленные в нише в глубине шахты колодца.

Употребление погружных насосов для шахтных колодцев нерационально, так как они требуют большого "мертвого" запаса воды в колодце ввиду необходимости погружения электродвигателя и насоса. Кроме того, они менее надежны и имеют меньший к.п.д., чем центробежные поплавковые насосы.

При установлении насосов в нише, устроенной над водосборной частью шахты колодца, создается возможность использования других водоподъемных средств без демонтажа вышедшего из строя насоса (например, использование ленточного водоподъемника или подъем воды с помощью ковги). Обычно в нишах закрепляют вихревые электронасосы, не требующие предварительных операций (заливки и т.п.) при пуске с положительной высотой всасывания. Центробежные насосы имеют более высокий к.п.д., чем вихревые, однако для их запуска нужно предварительно заполнить водой всасывающую трубу и полость насоса. Это связано с дополнительной тратой времени и требует постоянного ухода за клапаном всасывающей трубы, неисправности которого часто являются причиной отказа в работе агрегата. Осуществлять уход за клапаном, находящимся в глубине колодца, сложно.

Развозить воду в автоцистерне по водопойным пунктам можно лишь в том случае, если имеется водоисточник с достаточно высоким дебитом. При перевозке воды автомашинами как и в случае использования передвижных водоподъемных

установок, главными факторами, определяющими эффективность этого способа, следует считать расстояние между источниками и водопойными пунктами, качество дорог между ними и емкость автоцистерны, так как стоимость 1 т/км снижается при увеличении грузоподъемности автомашины.

Перевозка воды, по-видимому, обходится дешевле при большой кормовой емкости пастбищ и удовлетворительной проходимости дорог между источником и водопойными пунктами, особенно на участках с кратковременным содержанием скота и на скотопрогонных трассах.

Шахтные колодцы с их малым дебитом, за редким исключением, не пригодны для использования в качестве базового водисточника. При развозке воды им служит обычно буровая скважина или открытый источник.

При обслуживании 5-6 водопойных пунктов, если статический уровень воды в скважине расположен не глубже 30 м, как подъемное средство могут быть употреблены шнуровые водоподъемники или водоструйные насосы.

При большей нагрузке на водисточник или в случае более низкого уровня воды в скважине наиболее эффективны погружные электронасосы.

Некоторое усложнение в обслуживании, связанное с необходимостью установки электростанции (обычно с приводом от двигателя внутреннего сгорания), при эксплуатации базового источника — препятствие несущественное, так как водоподъемное оборудование на базовых источниках работает довольно длительное время (в течение суток).

Буровые скважины на воду, расположенные на пастбищах, обычно обсажены трубами диаметром 5, 6 или 8 дюймов. Производительность агрегатов для скважин с таким диаметром труб (1-3 л/сек) явно недостаточна. На базовом водисточнике необходимо иметь аккумулирующий бассейн со специальной подъездной площадкой, позволяющей самотеком подавать

воду из бассейна в цистерну; это создает возможность сократить до минимума время простоя автоцистерны под заливкой и, кроме того, позволяет выбирать наиболее рациональный режим и график работы водоподъемного оборудования.

Для выявления области рационального использования каждого из рассмотренных выше вариантов водоснабжения на пастбищах нами проведены технико-экономические сравнения способов водоснабжения трех пастбищных массивов с различной кормовой емкостью. Для упрощения расчета расположение водопойных пунктов нами принято по углам квадратов, стороны которых равны 5, 10 и 15 км.

При расстоянии между водопойными пунктами, равном 5, 10 и 15 км, на одну овцу приходится соответственно 1,1; 4,5 и 10,5 га пастбищ. На каждом участке круглогодично выпасается две отары по 1000 голов каждая. Суточное водопотребление — 5 л на одну овцу. Принятая нами средняя скорость передвижения транспорта — 10, 20 и 30 км/час. Для осуществления первого способа обслуживания водопойных пунктов предполагается установить на каждом колодце ленточный водоподъемник с приводом от двигателя внутреннего сгорания. Двигатель заправляет, пускает в работу и останавливает один из членов чабанской бригады, ежемесячно получающий доплату в размере 20 руб. В расчетном случае общая доплата составляет 40 руб. в месяц. Технический уход и текущий ремонт агрегатов осуществляется механиком, который обслуживает 10 водопойных пунктов. В распоряжении механика имеется автомашина ГАЗ-63.

Качество водоисточников таково, что для обеспечения подъема 10 м^3 воды из скважины простой передвижной электростанции на водопойном пункте составляет в первом случае 2 часа, во втором — 1 час, в третьем — 0,5 часа, а для подъема 5 м^3 воды из шахтных колодцев — 1 и 0,5 часа.

Передвижная установка представляет собой автомашину ГАЗ-63, на которой установлен дизель-генератор 2 Ч 10,

5/13-2А мощностью 12 квт или 4А 10, 5/13-1 мощностью 6 квт. Установку обслуживает один человек, являющийся и шофером и механиком.

При расчете стоимости развозки автоцистернами установлено, что набор воды и опорожнение (с подготовительными и заключительными операциями) производится за 15 мин.; емкость цистерны равна 3,5; 5,0 и 10 м³, что соответствует примерно грузоподъемности автоцистерн на шасси автомобилей соответственно ЗИЛ, МАЗ и ЯАЗ. На базовом водоисточнике установлен электропогружной насос 8 АП и дизель-генератор 24 10,5/13-2А2. Обслуживает его механик-моторист.

Рядом с источником располагают аккумулирующий наземный бассейн емкостью 20 м³ с подъездной площадкой, способствующей быстрому наполнению автоцистерны самотеком из бассейна.

Сравнение вариантов проводилось по расчетным затратам, которые представляют собой ежегодные эксплуатационные расходы плюс капитальные вложения, необходимые для осуществления варианта, помноженные на нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений для данной отрасли народного хозяйства. При определении расчетных затрат мы приняли коэффициент эффективности, равный 0,286 (что соответствует сроку окупаемости 3,5 лет, рекомендованному ВНИИГимом для работ по обводнению пастбищ).

Следует отличать выбор рационального варианта механизации водоснабжения на эксплуатируемом участке со сложившейся сетью водоисточников от выбора эффективного водоснабжения на вновь осваиваемом пастбищном массиве, где водоисточники только проектируются.

В первом случае при выборе способа механизации капитальные вложения на строительство колодцев и скважин в расчет не принимаются, учитываются только средства, необ-

ходимые на реконструкцию водоисточников и наземных сооружений (если они по своим параметрам не соответствуют требованиям, предъявляемым эксплуатацией по выбранному варианту механизации), и капитальные вложения на механизацию водоподъема.

Для водопойных пунктов с передвижной электростанцией характерно постоянное возрастание расчетных затрат, приходящихся на один водопойный пункт при увеличении расстояния между источниками (рис. I). При уменьшении скорости автомашины расчетные затраты в зависимости от расстояния между водопойными пунктами возрастают более интенсивно. В случае перевозки воды в автоцистернах они повышаются прямо пропорционально расстоянию между базовым водоисточником и водопойным пунктом; это расстояние влияет на увеличение расчетных затрат больше, чем при использовании передвижных водоподъемных установок (кривые имеют больший угловой коэффициент). При снижении скорости автомашины расчетные затраты также возрастают быстрее, чем при употреблении передвижных водоподъемных установок. Кроме того, уменьшение грузоподъемности автоцистерн сказывается на расходах примерно так же, как и снижение скорости их передвижения.

Если коэффициент эффективности капитальных вложений (рис. I) ϵ равен 0,286, то в условиях Узбекистана, где среднее расстояние между водопойными пунктами составляет 8-15 км, ни один из рассмотренных способов механизации водоподъема не может конкурировать (в пределах больших пастбищных массивов) с наиболее распространенными в настоящее время ленточными водоподъемниками, приводящимися в действие от двигателей внутреннего сгорания.

Таким образом, перевозка воды и передвижные водоподъемные установки применимы лишь для определенных групп водопойных пунктов.

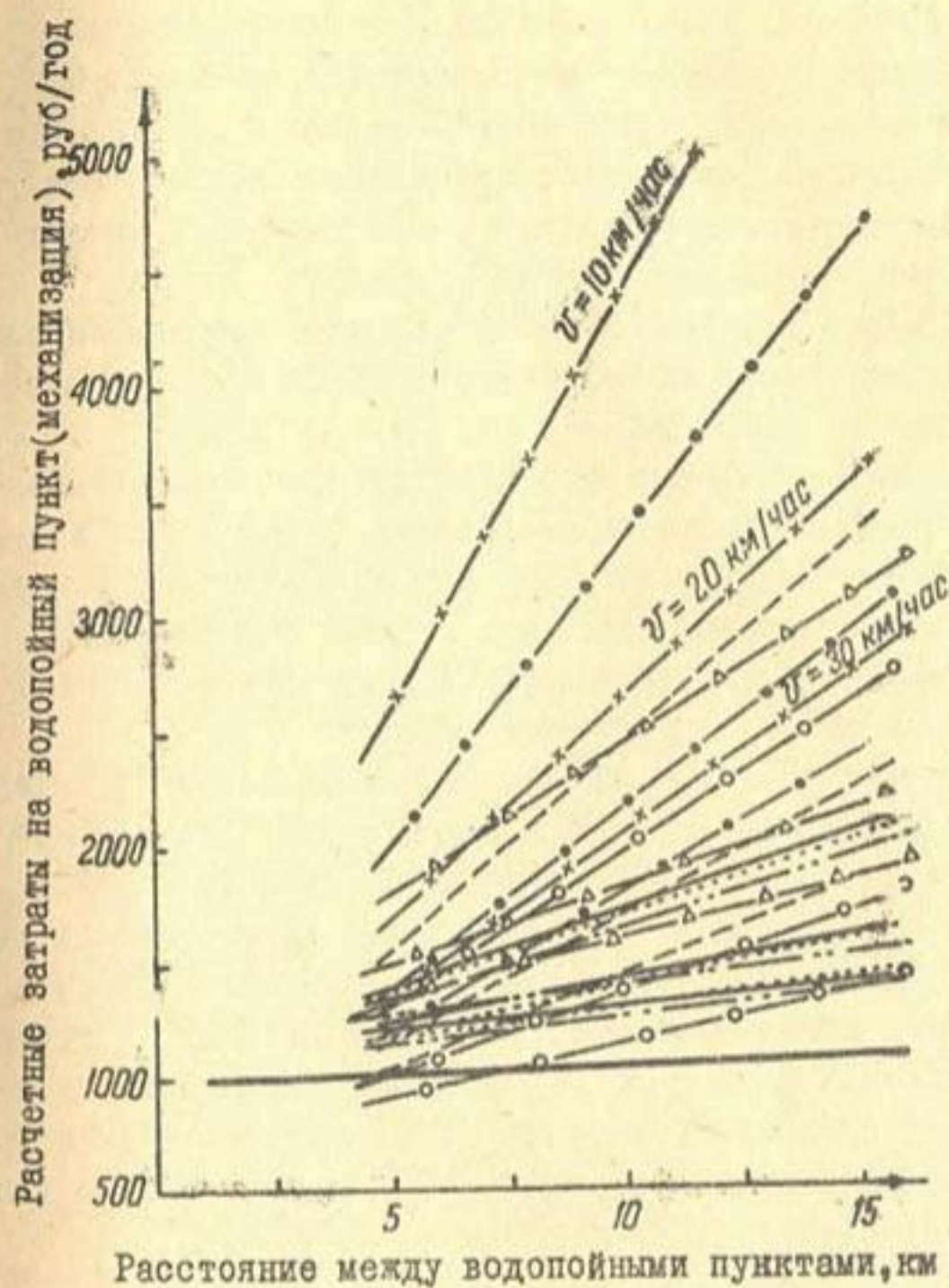


Рис. I

—•—•— ЗИЛ; —•—•— МАЗ; —•—•— ЯАЗ; — 2 часа;
 —•—•— 1,5 часа; —•—•— 1 час; 0,5 часа (скв.);
 —•—•— 0,5 часа (кол.); — лент. водоподъемник;
 $\epsilon = 0,286$

Если принять коэффициент эффективности капиталовложений близким к среднему межотраслевому и равным 0,1, то характер зависимостей несколько изменится (рис.2). При наиболее капиталоемком способе механизации водоподъема (передвижные электростанции) расчетные затраты получают большее снижение, чем при других вариантах.

При высокодебитных водоисточниках и хорошем состоянии дорог передвижные водоподъемные установки могут вполне конкурировать с ленточными.

Изменение коэффициента эффективности незначительно влияет на взаимное расположение кривых, относящихся к перевозке воды автоцистернами и к ленточным водоподъемникам, так как капиталоемкость этих двух вариантов механизации мала по отношению к передвижным водоподъемным установкам и незначительно отличается друг от друга.

В связи с тем, что при перевозке воды автоцистернами капиталовложения в строительство и затраты на эксплуатацию базового водоисточника распределяются на 8 водоподъемных пунктов, доля расчетных затрат, приходящихся на один водопойный пункт, относительно небольшая. Поэтому при освоении новых пастбищных массивов перевозка воды в цистернах может служить пионерным вариантом до окончания строительства водоисточников, необходимых для осуществления другого, более экономичного варианта, принятого в данном конкретном случае.

В ы в о д ы

I. Приведенные расчетные затраты при различных способах механизации водоподъема на пустынных пастбищах Узбекистана содержат ряд допущений, не учитывают некоторых факторов, влияющих на эти затраты (расходы на административно-хозяйственный персонал, хозяйственно-жилищное строительство и т.п.), поэтому результаты расчетов не могут служить

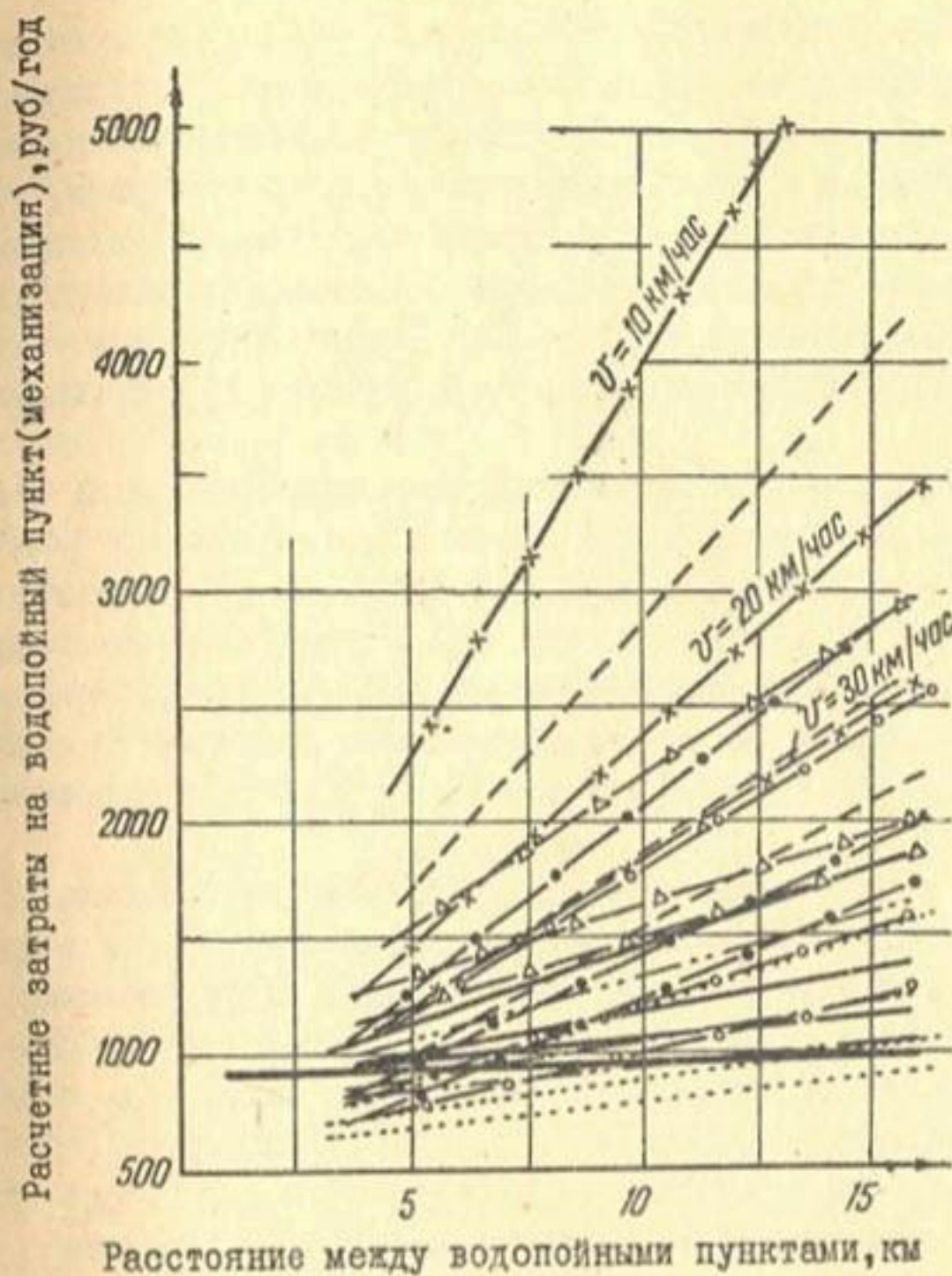


Рис. 2

—x—x— ЗИЛ; —•—•— МАЗ; — — — — ЯАЗ; ————— 2 часа;
 —▽—▽— 1,5 часа; — — — — 1 час; 0,5 часа (скв.);
 —○—○— 0,5 часа (кол.); ————— лент. водоподъемник;
 $\epsilon = 0,1$

нормативными данными. Сравнение различных способов эксплуатации механизированных водоподъемных пунктов необходимо для выявления характера изменения расчетных затрат в зависимости от расположения водопойной сети на пастбищах, параметров водоисточников и скорости передвижения автотранспорта для ориентировочного определения области рационального использования различных способов организации эксплуатации механизированных водопойных пунктов на используемых пастбищах.

2. Кормоемкость пустынных пастбищ Узбекистана предопределяет расстояние между водопойными пунктами в 8–12 км, и подавляющее большинство шахтных колодцев не позволяет откачивать 5 м^3 воды менее чем за 1,5 часа, поэтому основной способ механизации подъема воды здесь – использование на каждом водопойном пункте установок с приводом от автономного двигателя, обслуживание которых осуществляется чабанами.

3. Вариант механизации водоподъема на пастбищах с помощью передвижной электростанции (или передвижной водоподъемной установки) может быть принят в случае наличия: а) группы колодцев или скважин, расположенных на небольшом расстоянии друг от друга, обычно в долинах (или саях), часто встречающихся на пастбищах севернее Ташкентской области, например, в долине Ачисай; б) высокодебитных колодцев или колодцев с большим запасом воды в сборной части шахты (такими параметрами обладают колодцы, отрытые колодцекопательными машинами КШК); в) дорог (хорошей проходимости), соединяющих водопойные пункты; г) механизации водоподъема на скотопрогонных трассах во время кратковременного использования ее в течение года.

4. Другой вариант механизации – перевозка воды в автоцистернах – можно применять при: а) наличии дорог хорошей проходимости на пастбищах большой кормовой емкости;

б) сезонном использовании пастбищ, в особенности при кратковременном содержании овец на данном массиве; в) глубоком залегании первого воденосного горизонта с плохой водоотдачей и низким качеством воды и возможности вскрытия более глубоких горизонтов с хорошим дебитом и качеством воды путем бурения скважин.

При освоении новых пастбищных массивов вариант перевозки воды должен быть рассмотрен во всех случаях, когда для водозабора необходимы буровые скважины.

5. Для повышения эффективности использования передвижных электростанций следует реконструировать шахтные колодцы с целью увеличения их дебита и запаса воды в водосборной части.

6. Для улучшения перевозки воды необходимо поставить вопрос об изготовлении автоцистерн повышенной проходимости грузоподъемностью 10 т и более.

И.А.ЕНГУЛАТОВ

ЧАСТНЫЙ СЛУЧАЙ РАСЧЕТА ИЗМЕНЕНИЙ
В ПОДЗЕМНОМ ВОДООБМЕНЕ $\Delta\Pi$

В работе /4/ нами дано уравнение для расчета задания по регулированию режима грунтовых вод

$$\Delta D = \Delta K_0 + \Delta K - \Delta W - \Delta \Pi, \quad (I)$$

где ΔD — дополнительный дренажный сток (в общем случае задание на регулирование режима грунтовых вод);

ΔK_0 — испарение грунтовых вод при их проектной глубине залегания;

ΔK — то же при бытовой глубине;

ΔW — изменение запасов грунтовых вод;

$\Delta \Pi$ — изменение в подземном водообмене, вызванное изменением уровня грунтовых вод.

Имеется в виду, что все перечисленные слагаемые выражены в $\text{м}^3/\text{га}$ и относятся к известному расчетному интервалу времени.

Формирование рассматриваемого слагаемого $\Delta \Pi$ на оросительных системах возможно, в силу наличия подземного водообмена между рассматриваемой и окаймляющей территориями, напорных вод и, наконец, питания территорий фильтрационными водами оросительных каналов. Таким образом, игнорирование в расчетах слагаемым $\Delta \Pi$ при всех условиях может привести к ошибочным результатам.

В данной статье излагается методика расчета этого трудноопределяемого слагаемого для случая, когда его формирование обязано изменениям потерь воды на фильтрацию из оросительных каналов. При этом имеется в виду, что изменения потерь воды на фильтрацию вызваны изменениями уровня грунтовых вод.

В основу вывода расчетной схемы нами положено дифференциальное уравнение

$$KT \frac{d^2 y}{dx^2} = q, \quad (2)$$

где K — средний коэффициент фильтрации водоносного слоя;
 T — средняя мощность грунтового потока;
 q — испарение грунтовых вод, по расчету которого имеется ряд зависимостей. Из них рассмотрим формулу С.Ф.Аверьянова /1/

$$q = q_0 \left(1 - \frac{\Delta}{\Delta_0}\right)^n, \quad (3)$$

где q_0 — максимальная интенсивность испарения при $\Delta = 0$
 Δ_0 — глубина, с которой прекращается доступ грунтовой воды к испаряющей поверхности;
 Δ — глубина грунтовых вод.

Поскольку формулой (3) характеризуется зависимость между испарением и глубиной грунтовых вод, входящие в нее составляющие q_0 , Δ_0 и n мы будем считать параметрами.

Значения параметров q_0 , Δ_0 и n в каждом случае могут быть установлены по фактическим данным. В частности для условий староорошаемых земель Голодной степи $q_0 = 13000 \text{ м}^3/\text{га}/\text{год}$, $\Delta_0 = 11 \text{ м}$ и $n = 14/4/$.

Решение уравнения (2) при показателе степени $n = 14$ крайне затруднительно, поэтому закономерность испарения грунтовых вод мы характеризуем формулой

$$q = q_0 e^{-\delta \Delta}, \quad (4)$$

где q_0 , δ — параметры, устанавливаемые на фактическом материале.

Причем в уравнении (2) С.Ф.Аверьянов буквой q обозначает разность между питанием и испарением грунтовых вод.

Последнее требует учета и фильтрационных потерь воды из оросительной сети, вследствие чего оперирование лишь лизиметрическими данными подчас становится невозможным. Так, при рассмотрении территорий между основными распределительными каналами мы сталкиваемся с необходимостью учета потерь воды во внутрихозяйственной оросительной сети.

Поскольку задача правильной оценки потерь воды во внутрихозяйственной оросительной сети как в методической, так и в практической части не решена, то установление фактического значения q прямыми методами становится невозможным. В рассматриваемом случае для этих целей нами использован косвенный метод [3]. Значение параметров зависимости (4), установленные на этом материале, составляют $q_0 = 13000 \text{ м}^3/\text{га}/\text{год}$ и $\beta = 1,4$.

Таким образом, с учетом зависимости (4) уравнение (2) переписывается так

$$a \frac{d^2 y}{dx^2} = q_0 e^{-\beta \Delta}; \quad (a = \kappa T). \quad (5)$$

Из рисунка следует, что $y = H_0 - \Delta$. Дифференцируя эту зависимость по аргументу Δ дважды и учитывая уравнение (5), получим

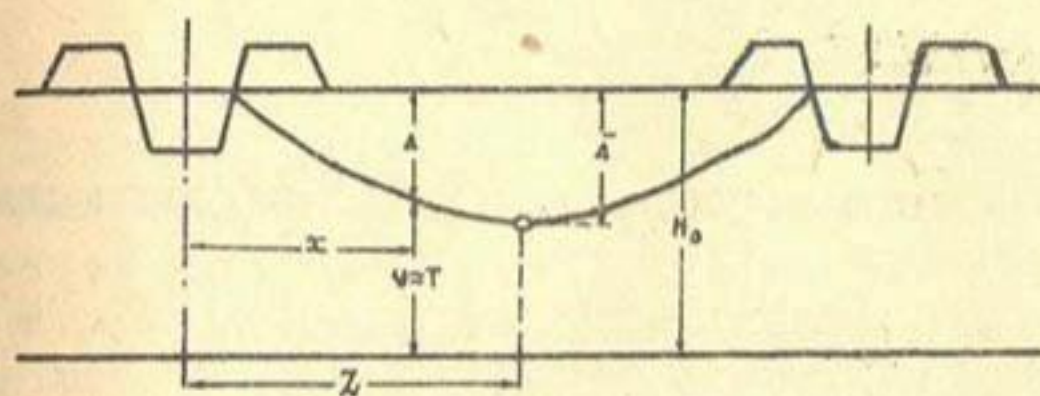
$$\frac{d^2 \Delta}{dx^2} = -\beta e^{-\beta \Delta}; \quad \beta = \frac{q_0}{a}. \quad (6)$$

Последнее уравнение решаем методом понижения порядка путем введения новой переменной P

$$\Delta' = P, \quad \Delta'' = P \frac{dP}{d\Delta}.$$

С учетом новой переменной P уравнение (6) приводится к виду

$$P dP = -\beta e^{-\beta \Delta} d\Delta.$$



Интегрирование последнего дает

$$\frac{p^2}{2} = \frac{\beta e^{-\delta \Delta}}{\delta} + C, \quad (7)$$

Постоянную интегрирования находим в случае, если в створе дрены будут выполнены условия

$$\Delta = \bar{\Delta}, \quad a \frac{dy}{dx} = -a \frac{d\Delta}{dx} = Q_{\partial p},$$

откуда

$$2C_1 = \frac{Q_{\partial p}^2}{a^2} - \frac{2\beta e^{-\delta \bar{\Delta}}}{\delta}.$$

В таком случае уравнение (7) будет иметь вид

$$\int dx \int \frac{d\Delta}{\sqrt{\frac{2\beta}{\delta}} \cdot \sqrt{e^{-\delta \Delta} + \left(\frac{\delta Q_{\partial p}^2}{2\beta a^2} - e^{-\delta \bar{\Delta}}\right)}}.$$

Для интегрирования правой части последнего уравнения пользуемся подстановкой вида

$$z = e^{-\delta \Delta}; \quad dz = -\beta e^{-\delta \Delta} d\Delta; \quad d\Delta = -\frac{dz}{\beta z};$$

$$\int dx = -\sqrt{\frac{1}{2\beta\delta}} \int \frac{dz}{z \sqrt{z + \left(\frac{\delta Q_{\partial p}^2}{2\beta a^2} - e^{-\delta \bar{\Delta}}\right)}}.$$

Введя обозначение

$$K_1 = \frac{\delta Q_{\partial p}^2}{2\beta a^2} - e^{-\delta \bar{\Delta}},$$

получим

$$\int dx = -\sqrt{\frac{1}{2\beta\delta}} \int \frac{dz}{z \sqrt{z + K_1}}.$$

Последний интеграл имеет следующее решение:

$$x = -\sqrt{\frac{1}{2\beta\delta K_1}} \ln \frac{(\sqrt{Z+K_1} - \sqrt{K_1})(\sqrt{1+K_1} + \sqrt{K_1})}{(\sqrt{Z+K_1} + \sqrt{K_1})(\sqrt{1+K_1} - \sqrt{K_1})}.$$

Учитывая, что при $x = L$, $\tau = e^{-\beta\bar{\Delta}}$, получим окончательное решение в виде

$$L = \sqrt{\frac{1}{2\beta\delta K_1}} \ln \left[\frac{1}{e^{\beta\delta} (\sqrt{e^{-\beta\delta} + K_1} - \sqrt{K_1})^2 (\sqrt{1+K_1} + \sqrt{K_1})^2} \right]. \quad (8)$$

Переходя к решению практической задачи для условий Сырдарьинского района УзССР, предварительно приведем реальную оросительную систему к расчетной, состоящей из системы параллельных каналов и дрен, вытянутых в одном направлении. В соответствии с решаемой задачей за основу построения расчетной схемы берем коллекторно-дренажную сеть (КДС). Согласно имеющимся сведениям Управления оросительных систем, протяженность КДС в Сырдарьинском районе составляет 965 км, или 16,5 пог.м/га. При означенной удельной длине междреннее расстояние будет 600 м. Располагая оросительные каналы между дренами, получим $L = 300$ м.

В уравнении (8) $Q_{др}$ означает поступление воды на 1 пог.м дрены с одной стороны, его определяем через дренажный модуль. По материалам Управления оросительных систем (УОС), средний дренажный модуль на вегетационный период, уточненный по нашему методу /4/, для района составляет $q = 0,12$ л/сек/га, или $W = 1900$ м³/га за вегетацию. Относя этот сток на 1 пог.м дрены, получим

$$Q_{др} = 0,0001 \cdot L \cdot W = 57 \text{ м}^3 \text{ за вегетацию.}$$

По материалам УОС, в современных условиях зеркало воды в КДС залегает ниже поверхности земли в среднем на $\bar{\Delta} = 1,8$ м. Остальные исходные параметры, необходимые для решения задачи, согласно изложенному выше, со-

ставляют $Q_0 = 1,05$ м/вег. и $\beta = 1,4$.

Задачу будем решать поэтапно. На первом этапе, используя уравнение (8), определим удельную проводимость — 15000 м²/га за вегетацию. На втором этапе, задавшись величиной понижения Δh уровня воды в дренах, определим дренажный расход $Q_{др}$, соответствующий заданному положению уровня воды в дренах $\bar{\Delta}_n$. Размер $\bar{\Delta}_n$ связан в свою очередь с рекомендованной для района критической глубиной грунтовых вод. Мы ограничимся лишь теми критическими глубинами грунтовых вод, которые в свое время были приняты Б.А. Михельсоном (институт Узгипроводхоз), для составления проекта развития дренажа. Согласно этому проекту, средняя проектная глубина грунтовых вод для Сырдарьинского района составляет 2,1 м.

Для обеспечения этой средней глубины грунтовых вод необходимо поддерживать уровень воды в КДС в среднем на глубине не менее $\bar{\Delta}_n = 2,4$ м. Иными словами, уровень воды в дренажной сети следует опустить дополнительно на 0,6 м. При этих условиях дренажный расход $Q_{др3}$, установленный по формуле (8), будет составлять 85 м³ за вегетацию.

Возрастание фильтрационных потерь ΔQ на 28 м³ за вегетацию влечет изменение в подземном водообмене на величину

$$\Delta \Pi = \frac{\Delta Q_{др}}{0,0001 \cdot T \cdot 86,4} = \frac{28}{0,0001 \cdot 300 \cdot 183 \cdot 86,4} = 0,06 \text{ л/сек/га},$$

где T — число суток за вегетационный период.

В заключение отметим, что мы показали решение поставленной задачи на примере всего Сырдарьинского района, однако ее можно решать в разрезе мелиоративных районов, выделенных по определенному принципу.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аверьянов С.Ф. Горизонтальный дренаж при борьбе с засолением орошаемых земель, М., 1959.
2. Вавилов А.П. Методика полевого определения коэффициента фильтрации грунтов при расчете действия горизонтальных дрен, Тезисы научно-произв.конф. проф.-преподават.состава ТИИИМСХ, Ташкент, 1964.
3. Енгулатов И.А. Определение испарения грунтовых вод методом расчетов, сб. Вопросы гидротехники, вып.28, Ташкент, 1965.
4. Енгулатов И.А., Еременко Г.В. Дренажный сток и методы его определения, сб. Вопросы гидротехники, вып.29, Ташкент, 1965.
5. Костяков А.Н., Фаворин Н.Н., Аверьянов С.Ф. Влияние оросительных систем на режим грунтовых вод, М., 1956.

И.А.ЕНГУЛАТОВ

ИЗМЕНЕНИЕ В ПОДЗЕМНОМ ВОДООБМЕНЕ И МЕТОДЫ ЕГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Одним из составных элементов, необходимых для установления задания на регулирование уровня грунтовых вод служит изменение в подземном водообмене $\Delta\Pi$, которое может последовать в результате изменения уровня грунтовых вод /4/.

Источники формирования этого слагаемого водного баланса могут быть различными. Например, оно широко распространено в районах с напорными водами, где по мере понижения уровня грунтовых вод происходит возрастание градиента напора, и как следствие, увеличение дебита напорных вод в искусственных разрезах.

Вторым источником может служить присутствие подземного водообмена между рассматриваемой и окаймляющей территориями. Наконец, изменение в подземном водообмене возможно за счет изменений потерь воды на фильтрацию из оросительных каналов.

Таким образом, слагаемое $\Delta\Pi$ в любых гидрогеологических условиях возможно, и учет его количественного значения является важной задачей.

По расчету этого слагаемого к настоящему времени имеется формула С.Ф.Аверьянова /1/:

$$\Delta\Pi = K \frac{\Delta h}{T},$$

где K — среднее значение коэффициента фильтрации водоносного пласта;

Δh — размер понижения уровня грунтовых вод;

T — глубина залегания водоносного пласта с напорными водами.

Использование данной формулы для практических целей сопряжено с некоторыми трудностями.

Г. Определение мощности водоносного пласта T , к которому приурочена напорная вода. К числу прямых методов определения геоструктуры, как известно, относится бурение скважин. Буровые работы обходятся дорого; в районах с пестрой геоструктурой трудно определить глубину T , которую можно принять за расчетное значение.

П. Определение расчетного значения коэффициента фильтрации. В этом отношении метод опытных откачек является дорогим, а главные результаты определений, в зависимости от размера понижения и применяющейся расчетной формулы определения, варьируют в значительных пределах. Кроме того, результаты, установленные указанным путем, не характеризуют коэффициент фильтрации в направлении вертикального тока воды. Метод, предложенный А.П.Вавиловым /2/, крайне кропотлив и из-за "капризов" пьезометров не вполне надежен.

При составлении проектного задания развития закрытого дренажа для условий г.Коканда интересен метод определения $\Delta\Pi$, использованный Б.А.Михельсоном, сущность которого состоит в определении по пьезометрическим наблюдениям величины напора. Куст состоял из двух пьезометров, из которых один закладывался несколько ниже уровня грунтовых вод и служил для фиксации глубины залегания последнего, а второй — погружался на значительную глубину с тем, чтобы уловить величину напора воды.

С учетом глубины закладки второго пьезометра и разницы в уровнях воды, установившихся в пьезометрах, были определены градиенты напоров.

Расчеты по определению $\Delta\Pi$ проводились по формуле

$$\Delta\Pi = i \cdot K \cdot \Delta h \cdot F,$$

где i — градиент напора, устанавливаемый из отношения

$$i = \frac{H + \Delta h}{e};$$

- l – слой воды в заглубленном пьезометре – от верхнего уреза воды до нижнего обреза трубы;
 H – разница уровней воды в двух пьезометрах;
 Δh – проектный размер понижения грунтовых вод дренажем;
 F – площадь, м^2 (в проекте расчет ведется на 1 га);
 K – коэффициент фильтрации, который определялся опытными откачками.

Следовательно, в данном случае трудности, связанные с определением расчетного значения коэффициента фильтрации, не исключены. Кроме того, закладка пьезометров, особенно на большие глубины, и содержание их в рабочем состоянии – крайне кропотливая работа. Учитывая частый выход пьезометров из строя, нельзя их считать надежным средством.

Таким образом, в сложившихся условиях для определения $\Delta\Pi$ более перспективным будет метод использования графика колебания уровня грунтовых вод в наблюдательных колодцах.

Напорная вода, проходящая через воображаемую плоскость, будет расходоваться на испарение и дренажный сток и частично – на изменение запасов грунтовых вод (M)

$$\Pi = Q_1 + Q_2 + Q_3, \quad (I)$$

- где Π – подземный водообмен;
 Q_1 – количество воды, расходуемое на изменение запасов грунтовых вод;
 Q_2 – то же, расходуемое на испарение (точнее говоря, разница между испарением и питанием);
 Q_3 – сток по дренам.

При установлении первого слагаемого уравнения (I) исходим из предположения, что график колебания уровня грунтовых вод подчиняется следующей зависимости

$$\Delta = f(t),$$

где Δ — глубина грунтовых вод;
 t — время.

Изменение в запасах грунтовых вод будет определяться производной от приведенной функции

$$Q_1 = f'(t).$$

По аналогии второе и третье слагаемые уравнения (I) соответственно выражаем функциями

$$Q_2 = \varphi(t) \quad \text{и} \quad Q_3 = \chi(t).$$

В этом случае уравнение (I) перепишется так

$$\Pi = f'(t) + \varphi(t) + \chi(t). \quad (2)$$

Подземный водообмен, выражаемый уравнением (2), имеет размерность скорости, а следовательно производная от аргумента этого уравнения будет определять ускорение

$$a = [f'(t) + \varphi(t) + \chi(t)]'. \quad (3)$$

Далее, в основу развития расчетной схемы по определению $\Delta \Pi$ нами положена общеизвестная в физике формула, выражающая связь между скоростью и напором. В наших обозначениях эта формула может быть написана так:

$$\Pi = \sqrt{2ah}, \quad (4)$$

где h — напор.

В таком случае изменение в подземном водообмене, вызванное изменением напора h , будет определяться из разности

$$\Delta \Pi = \Pi_2 - \Pi_1 = \sqrt{2a} (\sqrt{h_2} - \sqrt{h_1}), \quad (5)$$

где h_1 — напор при бытовой глубине грунтовых вод Δ_1 ,
 h_2 — то же при глубине, отвечающей агротехническим условиям (Δ_2),
 Δh — определяется разностью $\Delta h = \Delta_2 - \Delta_1$.

Уравнение (5) содержит две неизвестные величины $\Delta\Pi$ и h , из которых значение напора h может быть установлено путем совместного решения (2 и 4). Тогда мы получим для напора h следующее выражение

$$h = \frac{[f'(t) + \varphi(t) + \chi(t)]^2}{2a}. \quad (6)$$

Следовательно, имея известными значения a и h из уравнения (5), для желаемого понижения грунтовых вод можно определить искомую величину $\Delta\Pi$.

Рассмотрим вопрос конкретизации слагаемых уравнения (I). Из них функциональная зависимость $f(t)$ может быть конкретизирована на базе графика колебания уровня грунтовых вод, который в общем случае подчиняется периодическому закону сложного вида. Поэтому задача сводится к разложению графика колебания уровня грунтовых вод на простые гармоники, каждая из которых (например, n - гармоника) будет определяться уравнением

$$f(t) = \Delta_n = a_n \cos K_n t + b_n \sin K_n t, \quad (7)$$

где K_n - частота, n -й гармоники, определяемая из соотношения $K_n = \frac{2\pi n}{T}$;

T - период заданной функции, принимаемый в рассматриваемом случае равным 12 месяцам (годовой цикл).

Если мы разделим годовой период графика на m - равных частей, то разложение функции в ряд Фурье будет иметь вид

$$f(t) = -\Delta = -\left[\frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{qsm} (a_n \cos K_n t + b_n \sin K_n t)\right], \quad (8)$$

где $\frac{a_0}{2}$ - постоянная величина, определяемая гармонику нулевого порядка;

a_n, b_n — коэффициенты ряда Фурье, определяемые из зависимости

$$a_n = \frac{2}{m} \sum_0^{m-1} f(t_i) \cos \kappa_n t, \quad (9)$$

$$b_n = \frac{2}{m} \sum_0^{m-1} f(t_i) \sin \kappa_n t. \quad (10)$$

Начало координат совмещено нами с поверхностью земли, исходя из чего перед уравнением (8) поставлен отрицательный знак.

Коэффициенты Фурье, определяющие нулевую гармонику $n = 0$, согласно формулам (9, 10) будут

$$b_0 = 0 \quad \text{и} \quad a_0 = \frac{2}{m} \sum_0^{m-1} \Delta_i = 2\Delta_{\infty},$$

где Δ_{∞} — среднегодовая глубина грунтовых вод.

Точность разложения функции $f(t)$ в ряд зависит от принятого значения числа m . Для упрощения вычислений это число следует выбирать кратным четырем. В этом случае $\cos \kappa t$ и $\sin \kappa t$ будут ограничены пределами от 0 до $0,5\pi$. Для наших целей можно принять $m = 12$. При этом значении m будет обеспечена достаточная точность, и при годовом цикле графика колебания грунтовых вод промежуточными расчетными интервалами будут служить месячные сроки.

Приведенную расчетную схему разложения графика на простые гармоники мы детализуем на материалах наблюдательной скважины 515, которая находится в Ленинградском районе Ферганской области. Среднегодовая глубина грунтовых вод в скважине по материалам наблюдений Управления оросительных систем — $\Delta_{\infty} = 1,42$ м. При этой глубине коэффициент Фурье, определяющий нулевую гармонику, будет равен $a_0 = 2,84$ м. Учитывая изложенное выше, принимаем $m = 12$, при которой наименьший интервал аргумента будет равен $\kappa t = 2\pi \cdot 5 : 12 = 30^\circ$.

Принимая во внимание приведенный наименьший аргумент, определены для каждой гармоники произведения -

$$f(t_i) \cos \kappa_n t \quad \text{и} \quad f(t_i) \sin \kappa_n t.$$

В данном случае $f(t_i)$ означает глубину грунтовых вод в начале каждого месяца t_i . Число гармоник будет составлять половину числа m , т.е. 6.

Результаты расчетов по определению коэффициентов ряда Фурье помещены в табл. I-II, которые могут быть рекомендованы для аналогичных расчетов.

В разрезе каждой гармоники произведено суммирование табличных значений с учетом их знаков. Умножением последних на $\frac{2}{m}$ получены значения коэффициентов ряда.

Пользуясь уравнением (8), установлены значения $f(t)$ для моментов времени $t = 0, 1, 2, 3$ и т.д., которые в табл. I-III сравниваются с наблюдаемыми значениями. При этом $t = 0$ отвечает началу января месяца.

Из табл. I-III следует, что значение Δ определяется, главным образом, первыми двумя гармониками, поэтому при пользовании рассматриваемой расчетной схемой можно ограничиться только ими. Второе слагаемое уравнения (I) выражаем зависимостью

$$Q_2 = \varphi(t) = Q_t \cdot e^{-\delta \Delta}, \quad (II)$$

где Δ - глубина грунтовых вод;

δ - параметр;

Q_t - параметр, зависящий от испаряемости.

Зависимость (II) оказалась удобной при решении ряда других вопросов, поэтому она была положена в основу наших исследований.

В зависимости (II) параметр Q_t является переменным во времени и, согласно нашим проработкам, определяется по формуле

$$Q_t = 2,1 Q_0 e^{-14(t-0.5)^2}, \quad (I2)$$

где Q_0 - параметр, зависящий от суммарной испаряемости за год при $\Delta = 0$;
 $\bar{t}$ - относительное время, определяемое из соотношения $\bar{t} = \frac{t}{T}$;
 t - время, отсчитываемое от принятого начала (в нашем случае от начала календарного года);
 T - время за год в тех же единицах, что и t .

Если учесть зависимость (12) и то обстоятельство, что при составлении уравнения (8) координатные оси нами были совмещены с поверхностью земли, то второе слагаемое выражения (6) примет окончательный вид

$$\varphi(t) = 2,1 Q_0 e^{0,93 - 14(\bar{t} - 0,5)^2} \quad (13)$$

В этом уравнении параметры b и Q_0 установлены нами с учетом потерь воды во внутрихозяйственной оросительной сети и для условий Ферганской области составили $b = 0,93$ и $Q_0 = 0,96$ м. При этом исходный материал для определения параметров был установлен методом, изложенным в работе [3].

Последнее слагаемое уравнения (I), выражая дренажный сток, будет во времени переменным и во многом определится глубиной грунтовых вод Δ . Это обстоятельство дает основание распределить годовой дренажный сток во времени по зависимости

$$q_s = x(t) = \frac{Q_{sp}(\theta - \Delta)}{\int_0^t (\theta - \Delta) dt}.$$

Последнее выражение с учетом уравнения (8) будет иметь следующее решение

$$x(t) = \frac{Q_{sp} \left\{ \theta - \left[\frac{\tau^2}{2} + \sum (\gamma + \mu) \right] \right\}}{\tau(\theta - \frac{Q_0}{2}) + \sum (\varphi - \delta)}, \quad (14)$$

где

$Q_{\text{др}}$ — дренажный сток в слое воды за год;

T — время за год исчисляется в тех же единицах, что и текущее время t ;

θ — глубина залегания уреза воды в дрене и ее значение для условий, аналогичных рассматриваемым, которое можно принять $= 1,90$.

Таким образом, мы конкретизировали слагаемые уравнения (I), с учетом которых зависимость (3) примет вид

$$a = \sum K_n^2 (\eta + m) + \frac{2,1 Q_{\text{др}} \sum (\beta - \varepsilon) - 2,8 \frac{1}{T} V}{e^{\delta [\frac{Q_{\text{др}}}{2} + \sum (\eta + m)] + 14 V^2}} + \quad (15)$$

$$+ \frac{Q_{\text{др}} \sum (\beta - \varepsilon)}{\tau (\theta - \frac{Q_{\text{др}}}{2}) + \sum (\varphi - \delta) - \sum \frac{\delta_n}{K_n}}.$$

Уравнение (15) характеризует ускорение на конкретный момент времени t . В практических же условиях не исключена возможность оперирования осредненными результатами на какой-то расчетный интервал времени. Тогда среднее значение ускорения установится путем интегрирования уравнения (15) в пределах от t_1 до t_2 .

$$a_{\text{ср}} = \frac{1}{\Delta t} \left\{ \sum (\beta_2 - \varepsilon_2) + \frac{2,1 Q_{\text{др}}}{e^{\delta [\frac{Q_{\text{др}}}{2} + \sum (\eta_2 + m_2)] + 14 V_2^2}} + \right.$$

$$+ \frac{Q_{\text{др}} \{ \theta - [\frac{Q_{\text{др}}}{2} + \sum (\eta_2 + m_2)] \}}{\tau (\theta - \frac{Q_{\text{др}}}{2}) + \sum (\varphi - \delta) - \sum \frac{\delta_n}{K_n}} - \frac{1}{\Delta t} \left\{ \sum (\beta_1 - \varepsilon_1) + \right.$$

$$\left. + \frac{2,1 Q_{\text{др}}}{e^{\delta [\frac{Q_{\text{др}}}{2} + \sum (\eta_1 + m_1)] + 14 V_1^2}} + \frac{Q_{\text{др}} \{ \theta - [\frac{Q_{\text{др}}}{2} + \sum (\eta_1 + m_1)] \}}{\tau (\theta - \frac{Q_{\text{др}}}{2}) + \sum (\varphi - \delta) - \sum \frac{\delta_n}{K_n}} \right\}, \quad (16)$$

где $\Delta t = t_2 - t_1$.

С учетом значений слагаемых уравнения (I) получится формула определения напора

$$h = \frac{1}{2a} \left\{ \sum (\beta - \varepsilon) + \frac{2,1 Q_{\text{др}}}{e^{\delta [\frac{Q_{\text{др}}}{2} + \sum (\eta + m)] + 14 V^2}} + \right.$$

$$\left. + \frac{Q_{\text{др}} \{ \theta - [\frac{Q_{\text{др}}}{2} + \sum (\eta + m)] \}}{\tau (\theta - \frac{Q_{\text{др}}}{2}) + \sum (\varphi - \delta) - \sum \frac{\delta_n}{K_n}} \right\}^2. \quad (17)$$

При выполнении практических расчетов можно найти среднее значение напора. Вывод расчетной формулы для среднего значения h , невозможен, так как выражение (17) не интегрируется. Поэтому можно ограничиться приближенным осреднением, пользуясь методами, изложенными в математике. Во избежание громоздких выражений в уравнениях (14, 15, 16, 17) введены обозначения

$$y = \frac{a_n \cdot \sin \kappa_n t}{\kappa_n}; \quad \delta = \frac{\delta_n \cdot \cos \kappa_n T}{\kappa_n}; \quad \eta = a_n \cdot \cos \kappa_n t;$$

$$\mu = \delta_n \cdot \sin \kappa_n t; \quad \beta = a_n \cdot \kappa_n \cdot \sin \kappa_n t; \quad \varepsilon = \delta_n \cdot \kappa_n \cdot \cos \kappa_n t;$$

$$V = \bar{t} - 0,51.$$

Применяя уравнение (16) мы установили среднее ускорение на период с 1 июля по 30 сентября. Расчеты выполнялись при следующих данных:

а) коэффициент Фурье для двух первых гармоник согласно табл. I, 2, 7, 8 принят $\alpha_1 = -0,34$ м, $\delta_1 = -0,07$ м, $\alpha_2 = -0,12$ м, $\delta_2 = -0,09$ м, $\alpha_0 = 2,84$ м;

б) расчеты выполнены для $t_1 = 6$ м, $t_2 = 9$ мес.;

$$T = 12 \text{ мес.}, \quad \bar{t}_1 = \frac{6}{12} = 0,5, \quad \bar{t}_2 = \frac{9}{12} \pm 0,75,$$

$$\Delta t = t_2 - t_1 = 3 \text{ мес.};$$

в) частота принятых гармоник $\kappa_1 = 0,52$, $\kappa_1^2 = 0,27$, $\kappa_2 = 1,04$, $\kappa_2^2 = 1,08$;

г) значения введенных обозначений, отвечающие принятым моментам времени, — $\eta = 0,46$, $\eta_2 = -0,12$, $\mu_1 = 0$, $\mu_2 = 0,07$, $V_1^2 = 0,0001$, $V_2^2 = 0,058$, $\varepsilon_1 = -0,056$, $\varepsilon_2 = +0,096$, $\beta_1 = 0$, $\beta_2 = 0,18$, $y = 0$ и $\delta = -0,22$, $\theta = 1,9$, $\alpha_0 = 2,84$ м, $\delta = 1,1$. $q_0 = 1,25$ м.

При этих данных среднее ускорение за месяц составило $a_{\text{ср}} = 0,005$ м/мес². Среднее значение напора h устанавливается по двум крайним ординатам рассматриваемого интервала времени $t_1 = 6$ м и $t_2 = 9$ м.

$$h_{\text{ср}} = \frac{h_1 + h_2}{2} = \frac{1,5 + 1,4}{2} = 1,45 \text{ м}$$

Положим, что по агротехническим условиям требуется понизить глубину грунтовых вод в среднем на $\Delta h = 0,7$ м. При этих условиях изменение подземного водообмена по формуле (5) составит $\Delta \Pi = 0,026$ м или по 0,10 л/сек с гектара.

Следовательно, результаты показывают на значительные размеры слагаемого $\Delta \Pi$, и надо полагать, что в ряде случаев при инженерных расчетах именно это слагаемое и должно играть доминирующую роль.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аверьянов С.Ф. Горизонтальный дренаж при борьбе с засолением земель, М., 1959.
2. Вавилов А.П. Методика полевого определения коэффициента фильтрации грунтов при расчете действия горизонтальных дрен, Тезисы научно-производ. конф. проф.-преподават. состава ТИИИМСХ, Ташкент, 1964.
3. Енгулатов И.А. Определение испарения грунтовых вод методом расчетов. Сб. Вопросы гидротехники, вып.28, Ташкент, 1965.
4. Енгулатов И.А., Еременко Г.В. Дренажный сток и методы его определения. Сб. Вопросы гидротехники, вып.29, Ташкент, 1965.
5. Костяков А.Н., Фаворин Н.Н., Аверьянов С.Ф. Влияние оросительных систем на режим грунтовых вод, М., 1956.

Таблица I

n_1		n_2	
t_i	$f(t_i)$	$f(t_i) \cos \kappa'' t_i$	$f(t_i) \cos \kappa'' t_i$
		$0^\circ : 30^\circ : 60^\circ : 90^\circ$	$0^\circ : 30^\circ : 60^\circ : 90^\circ$

1	I20	+I20	
2	I00	+87	+50
3	II0		-55
4	I25		
5	I60		-60
6	I75	-I52	+87
7	I85	-I85	
8	I75	-I52	+87
9	I80		-75
10	I40		
11	I35	+67	-67
12	I30	+II3	+65

+ $\sum$ 442 $Q_1 = -33,7$ см- $\sum$ 644+ $\sum$ 594 $Q_2 = +12$ см- $\sum$ 522

Таблица 2

Таблица 3

n_3		
t_i	$f(t_i)$	$f(t_i) \cos K_n t_i$
		$0^\circ : 30^\circ : 60^\circ : 90^\circ$
1	120	+120
2	100	0
3	110	-110
4	125	0
5	160	+160
6	175	0
7	185	-185
8	175	0
9	150	+150
10	140	0
11	135	-135
12	130	0
		$+\sum 430$
		$-\sum 430$
		$a_3 = 0$

Таблица 4

n_4		
t_i	$f(t_i)$	$f(t_i) \cos K_n t_i$
		$0^\circ : 30^\circ : 60^\circ : 90^\circ$
1	120	+120
2	100	-50
3	110	-55
4	125	+125
5	160	-80
6	175	-87
7	185	+185
8	175	-87
9	150	-75
10	140	+140
11	135	-68
12	130	-65
		$+\sum 570$
		$-\sum 567$
		$a_4 = +0,5 \text{ cm}$

Таблица 5

n_5		
t_i	$f(t_i)$	$f(t_i) \cos \mu t_i$
		$0^\circ : 30^\circ : 60^\circ : 90^\circ$
1	120	+120
2	100	-87
3	110	+55
4	125	0
5	160	-80
6	175	+152
7	185	-185
8	175	+152
9	150	-75
10	140	0
11	135	+67
12	130	-113
		+ $\sum$ 546
		- $\sum$ 540
		$Q_5 = 1,0 \text{ cm}$

Таблица 6

n_6		
t_i	$f(t_i)$	$f(t_i) \cos \mu t_i$
		$0^\circ : 30^\circ : 60^\circ : 90^\circ$
1	120	+120
2	100	-100
3	110	+110
4	125	-125
5	160	+160
6	175	-175
7	185	+185
8	175	-175
9	150	+150
10	140	-140
11	135	+135
12	130	-130
		+ $\sum$ 860
		- $\sum$ 845
		$Q_6 = + 2,5 \text{ cm}$

Таблица 7

n_i		
t_i	$f(t_i)$	$\frac{f(t_i) \sin \kappa_n t_i}{0^\circ : 30^\circ : 60^\circ : 90^\circ}$
1	120	0
2	100	+50
3	110	+95
4	125	+125
5	160	+140
6	175	+87
7	185	0
8	175	-87
9	150	-130
10	140	-140
11	135	-118
12	130	-65

+ Σ 497 $\delta_1 = - 7$ см- Σ 540

Таблица 8

n_2		
t_i	$f(t_i)$	$\frac{f(t_i) \sin \kappa_n t_i}{0^\circ : 30^\circ : 60^\circ : 90^\circ}$
1	120	0
2	100	+87
3	110	+96
4	125	0
5	160	-138
6	175	-152
7	185	0
8	175	+152
9	150	+130
10	140	0
11	135	-117
12	130	-113

+ Σ 465 $\delta_2 = - 9$ см- Σ 520

Таблица 9

t_i	n_3		
	$f(t_i)$	$\frac{f(t_i) \sin \kappa_n t_i}{0^\circ : 30^\circ : 60^\circ : 90^\circ}$	
1	120	0	
2	100	+100	
3	110	0	
4	125	-125	
5	160	0	
6	175	+175	
7	185	0	
8	175	-175	
9	150	0	
10	140	+140	
11	135	0	
12	130	-130	
			$\delta_3 = -2,5 \text{ см}$
			$+\sum 415$
			$-\sum 430$

Таблица 10

t_i	n_4		
	$f(t_i)$	$\frac{f(t_i) \sin \kappa_n t_i}{0^\circ : 30^\circ : 60^\circ : 90^\circ}$	
1	120	0	
2	100	+87	
3	110	-85	
4	125	0	
5	160	+140	
6	175	-152	
7	185	0	
8	175	+152	
9	150	-130	
10	140	0	
11	135	+118	
12	130	-113	
			$\delta_4 = +1,1 \text{ см}$
			$+\sum 497$
			$-\sum 490$

Таблица I2

t_i	$f(t_i)$	n_6			
		0°	30°	60°	90°
1	120	0			
2	100	0			
3	110	0			
4	125	0			
5	160	0			
6	175	0			
7	185	0			
8	175	0			
9	150	0			
10	140	0			
11	135	0			
12	130	0			

$$\delta_6 = 0$$

Таблица II

t_i	$f(t_i)$	n_5			
		0°	30°	60°	90°
1	120	0			
2	100		+50		
3	110			-96	
4	125				+125
5	160			-140	
6	175		+87		
7	185	0			
8	175		-87		
9	150			+130	
10	140				-140
11	135			+117	
12	130				-65

$$\delta_5 = -3,2 \text{ см}$$

$$+\sum 509$$

$$-\sum 528$$

Таблица 13

t_i	Δ_1	Δ_2	Δ_3	Δ_4	Δ_5	Δ_6	$\sum \Delta_i$	$f(t) = \Delta = \Delta_{\text{ср}} + \sum \Delta_i$	$f(t)$ графика
1	-34	+9	0	+1	+1	+3	-20	122	120
2	-28	+3	-1	+2	0	+3	-21	121	100
3	-14	-4	-2	+2	-2	+1	-19	123	110
4	+4	-9	-3	+1	-3	0	-10	132	125
5	+20	-13	-2	0	-3	-2	0	142	160
6	+32	-13	-1	0	-2	-3	+13	155	175
7	+34	-9	0	-1	-1	-3	+20	162	185
8	+28	-3	+1	-1	0	-3	+22	164	175
9	+14	+3	+2	-2	+2	-2	+17	159	150
10	-4	+9	+3	-1	+3	0	+10	152	140
11	-20	+13	+2	-1	+3	+1	-2	140	135
12	-32	+13	+1	+1	+2	+3	-12	130	130

И.Б.ХАМАДОВ, В.В.ШАРОВ

К РАСЧЕТУ ПАРАМЕТРОВ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ АВТОМАТИЧЕСКИХ РЕГУЛЯТОРОВ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Гидротехнические сооружения, на которые устанавливаются автоматические регуляторы, характеризуются большой разбросанностью и разнообразием условий и свойств их работы. В тех или иных условиях воздействие на затворы-автоматы различных факторов (поток, несущий плавник и наносы, имеющий различные гидравлические параметры; температурные условия, осадки, ветер и др.) имеет различные качественные и количественные характеристики, что определяет отличие параметров эксплуатационной надежности затворов-автоматов даже одной и той же конструкции автомата, но работающих на различных типах и конструкциях сооружений.

Анализ отечественного и зарубежного опытов эксплуатации затворов-автоматов показывает, что наибольшее значение наработки на отказ (среднее время между двумя соседними отказами) приближается к продолжительности вегетационного периода - около 7 месяцев (5040 час.), а наименьшее - примерно недельный срок (168 час.).

Исходя из этого, установим группы надежности автоматических регуляторов оросительных систем согласно ГОСТу 13216-67 "Надежность" /5/.

Примем по ГОСТу ближайшее верхнее значение наработки на отказ не менее 5000 час., а ближайшее нижнее - менее 160 час.

Весь диапазон значений наработки на отказ составляют следующие группы надежности: 1-я группа не менее 5000 час., интенсивность отказов до $200 \cdot 10^{-6}$ 1/час; 2-я соответственно 2500 - $400 \cdot 10^{-6}$ 1/час; 3-я - 1250 - $800 \cdot 10^{-6}$ 1/час; 4-я - 630 - $1600 \cdot 10^{-6}$ 1/час; 5-я - 320 - $3200 \cdot 10^{-6}$ 1/час; 6-я - 160 - $6300 \cdot 10^{-6}$ 1/час.

Зная принадлежность затвора-автомата данного гидротехнического сооружения или их комплекса к той или иной группе надежности, необходимо выяснить сроки профилактического обслуживания, являющиеся оптимальными в части предотвращения отказов автоматических водорегулирующих устройств.

Рассмотрим отрезок времени эксплуатации автоматического регулятора, включающий время исправной работы t_0 и простоя $t_{пр}$ (рис. I).

Математическое ожидание времени простоя выразится /7/

$$t_{пр} = M = t_1 [1 - F(t_0)] + t_2 F(t_0),$$

где $F(t_0)$ — функция распределения времени возникновения отказов;

$1 - F(t_0)$ — соответственно функция надежности;

t_1 — время обнаружения отказа;

t_2 — общее время неисправного состояния.

Общее время эксплуатации составит

$$T_э = t_0 + t_1 [1 - F(t_0)] + t_2 F(t_0).$$

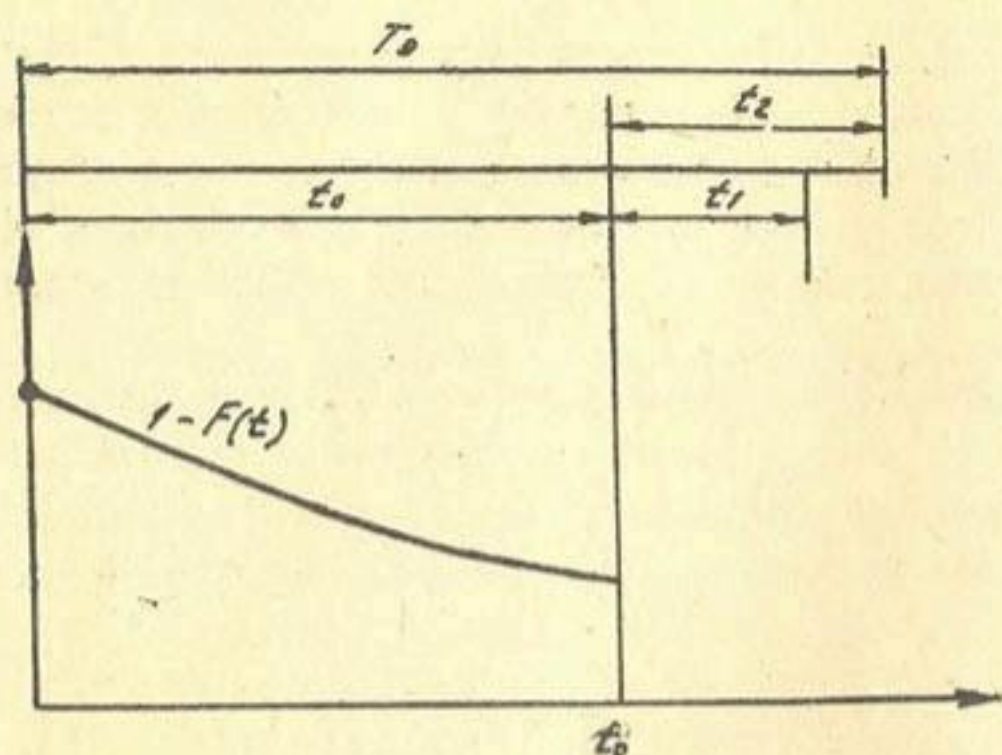
Среднее время безотказной (исправной) работы

$$T_u = \int_0^{\infty} [1 - F(t)] dt = \int_0^{t_0} [1 - F(t)] dt.$$

Выразим коэффициент использования автоматических регуляторов через представленные величины

$$K_u = \frac{T_u}{T_э} = \frac{\int_0^{t_0} [1 - F(t)] dt}{t_0 + t_1 [1 - F(t_0)] + t_2 F(t_0)}.$$

Максимальное значение коэффициента использования получим для промежутка времени t_0 , при котором для



Р и с . I. График зависимости вероятности безотказной работы автоматического регулятора P от времени t :

T_0 - общее время эксплуатации; t_0 - время профилактического обслуживания; t_1 - время обнаружения отказа с момента его возникновения;

t_2 - общее время обнаружения отказа и восстановления.

данного автоматического регулятора или их системы

$$\frac{dK_H}{dt_0} = 0.$$

Оптимальное значение времени работы t_0 примем за время профилактического обслуживания.

$$\begin{aligned} \frac{dK_H}{dt_0} = & [1 - F(t_0)] \{ t_0 + t_1 [1 - F(t_0)] + t_2 \cdot F(t_0) \} - \\ & - [1 + (t_2 - t_1) f(t_0)] \cdot \int_0^{t_0} [1 - F(t)] dt = 0, \end{aligned}$$

где

$$f(t_0) = F'(t_0).$$

Для решения последнего выражения графо-аналитическим методом разделим обе части на интеграл $\int_0^{t_0} [1 - F(t)] dt$ и обозначим каждую часть через y_1 и y_2

$$y_1 = \frac{[1 - F(t_0)] \{ t_0 + t_1 [1 - F(t_0)] + t_2 \cdot F(t_0) \}}{\int_0^{t_0} [1 - F(t)] dt}, \quad (1)$$

$$y_2 = 1 + (t_2 - t_1) f(t_0). \quad (2)$$

В данных выражениях (1), (2) будут соблюдаться равенства нулю, когда соответствующее значение t_0 принадлежит выражениям y_1 и y_2 , т.е. эта точка определится на графиках зависимости y_2 и y_1 от времени в точке пересечения кривых им соответствующих.

Исходные данные расчета

Законы распределения случайных величин принимаем следующим образом. Отказы затворов-автоматов с точки зрения времени их возникновения носят, в одних случаях, слу-

чайный характер (например, заклинивание затвора крупным плавником, появление которого в канале совершенно случайно), в других — имеют тенденцию увеличения вероятности отказа во времени (например, из-за постепенного выпадания наносов, забивки мусором пазов и т.д.).

Первые виды отказов хорошо описываются экспоненциальным законом, вторые — нормальным. Для экспоненциального закона распределения случайных величин для функции надежности есть выражение

$$1-F(t)=e^{-\lambda t},$$

где λ — интенсивность отказов;
плотность распределения

$$f(t_0)=F'(t_0)=\lambda e^{-\lambda t}.$$

Для нормального закона

$$1-F(t)=0,5-\frac{1}{\sqrt{2\pi}}\int_0^z e^{-\frac{z^2}{2}} dz,$$

где

$$z=\frac{t-T_{cp}}{\sigma}.$$

Здесь σ — среднее квадратичное отклонение наработки на отказ T_{cp} ;
плотность распределения

$$f(t_0)=F'(t_0)=-\frac{z}{\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{z^2}{2}}.$$

Принимаем $t_1 = 24$ час. из условия, что линейный персонал службы эксплуатации оросительных систем ежедневно бывает на сооружении;

$t_2 = 25$ час. из условия, что среднее время устранения отказа автоматического регулятора (уборка мусора, смазка подшипников и т.п.) равно 1 часу.

Расчет сроков профилактики
для экспоненциального закона

Выражения (1), (2) после подстановки известных величин будут иметь вид

$$y_1 = \frac{e^{-\lambda t_0} \{t_0 + 24e^{-\lambda t_0} + 25[1 - e^{-\lambda t_0}]\}}{\frac{1}{\lambda} [1 - e^{-\lambda t_0}]}, \quad (1^I)$$

$$y_2 = 1 + (25 - 24)f(t_0) = 1 + \lambda e^{-\lambda t_0}. \quad (2^I)$$

Приведем графо-аналитический расчет для 2-ой группы надежности. При $\lambda = 400 \cdot 10^{-6}$ 1/час = 0,0004 1/сек и значениях t_0 от 0 до ∞ получим расчетные данные.

t_0 , час.	0	200	250	300	350	390	396	400
λt_0	0	0,08	0,10	0,12	0,14	0,156	0,158	0,16
$e^{-\lambda t_0}$	1	0,923	0,905	0,887	0,869	0,857	0,855	0,852
y_1	∞	1,174	1,156	1,148	1,145	1,160	0,989	0,970
y_2	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

График зависимости y_1 и y_2 от времени изображен на рис.2. Искомое значение $t_0 = 397,5$ час.

На основании графо-аналитического расчета получены следующие данные: для 1-ой группы - 500,0 час; для 2-ой - 397,5; для 3-ей - 255,5; для 4-ой - 166; для 5-ой - 111; для 6-ой - 81.

Расчет сроков профилактики
для нормального закона распределения

После подстановки известных данных в расчетные выражения (1), (2) получим

$$y_1 = \frac{[0,5 - \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{\frac{z}{\sigma}} e^{-\frac{z^2}{2\sigma^2}} dz] [t_0 + 24(0,5 - \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{\frac{z}{\sigma}} e^{-\frac{z^2}{2\sigma^2}} dz) + \int_0^{t_0} [0,5 - \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{\frac{z}{\sigma}} e^{-\frac{z^2}{2\sigma^2}} dz] + 25(0,5 + \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{\frac{z}{\sigma}} e^{-\frac{z^2}{2\sigma^2}} dz)]}{-\frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{\frac{z}{\sigma}} e^{-\frac{z^2}{2\sigma^2}} dz} dt \quad (1'')$$

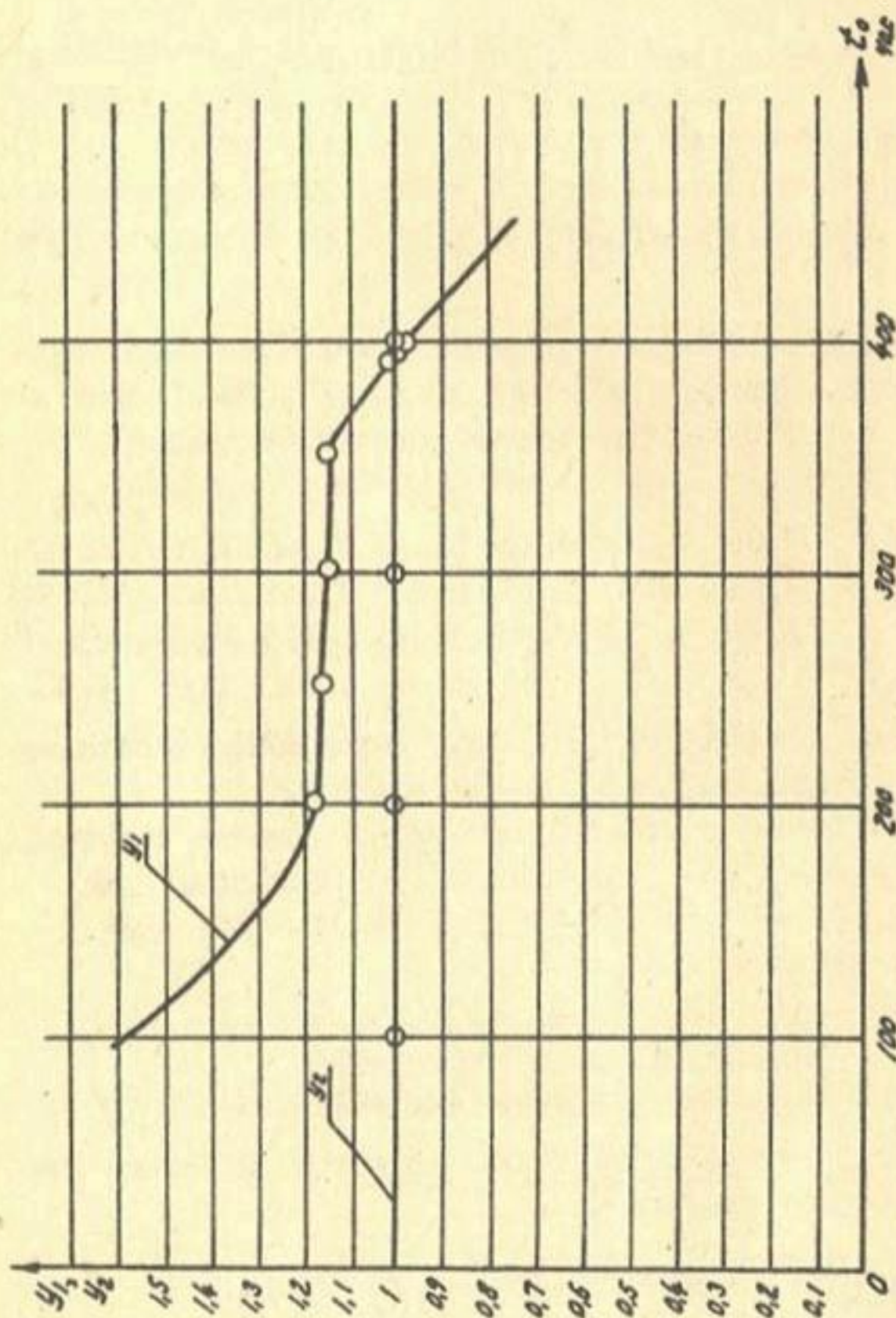


Рис. 2. График уравнений: $y_1(1)$ и $y_2(2)$ для экспоненциального закона распределения.

$$y_2 = 1 - \frac{z}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{z^2}{2}} \quad (2'')$$

Для первой группы надежности при $T_{\text{ср}} = 2500$ час., $\theta = 1642$ час. и значениях t_0 от 0 до ∞ получим расчетные данные:

t_0 , час.	0	50	100	150	200
z	-1,523	-1,492	-1,461	-1,430	1,4
z^2	2,32	2,222	2,133	2,045	1,96
$0,5z^2$	1,16	1,111	1,066	1,0225	0,98
$e^{-0,5z^2}$	0,3135	0,3290	0,3450	0,3600	0,3753
$\frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^z e^{-0,5z^2} dz$	-0,4360	-0,4320	-0,4280	-0,4236	-0,419
$\int_0^{t_0} [0,5 - \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^z e^{-\frac{z^2}{2}} dz] dt$	0	46,7	93,1	138,05	185,4
y_1	∞	1,66	1,238	1,171	1,12
y_2	1,19	1,19	1,216	1,206	1,202

Соответствующие графики изображены на рис.3. Искомое значение t_0 равно 175 час.

Время профилактического обслуживания получилось значительно меньшим, чем при экспоненциальном законе распределения, вследствие использования одних и тех же исходных данных.

При использовании нормального закона распределения времени отказов время t_f (обнаружения отказов - осмотров) может быть взято значительно большим - ведь вероятность отказа устройств в начальный период эксплуатации при условиях, описываемых нормальным законом, весьма мала. Поэтому нет необходимости назначать малое t_f . Так, при подстановке в расчетные выражения, например, значения $t_f = 1500$ час. получено $t_0 = 1400$ час., т.е. значительно больше, чем при экспоненциальном законе. Отсюда видно, что время профилактики, рассчитанное для экспоненциального за-

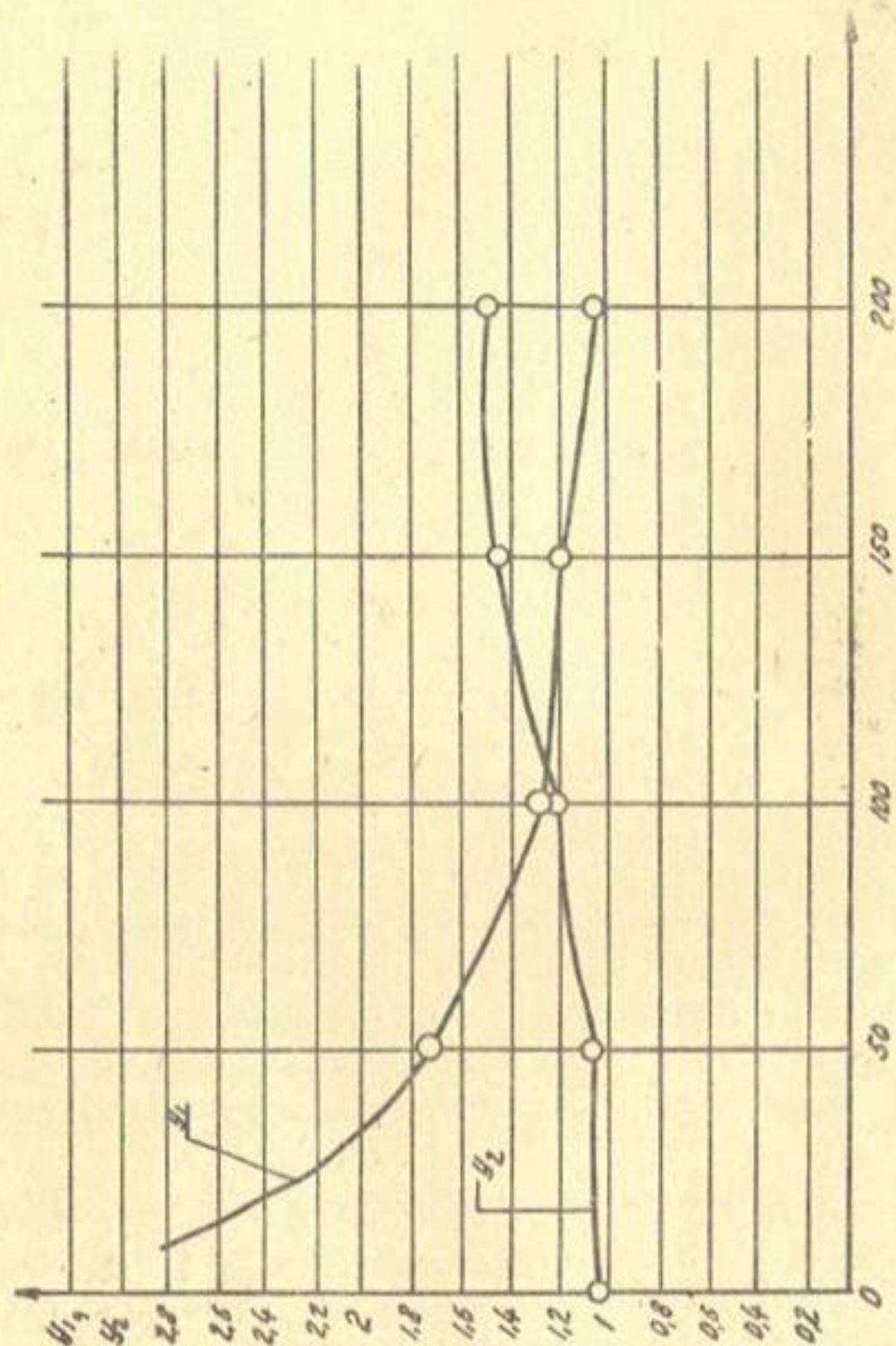


Рис.3. График уравнений: $y_1(1')$ и $y_2(2'')$
для нормального закона распределения.

кона распределения времени возникновения отказов, отвечает более высокой надежности устройств.

Принимая во внимание, что время t_1 в действительности обусловлено причинами технологического порядка, а также то обстоятельство, что опыт эксплуатации затворов-автоматов подтверждает преобладание отказов случайного характера, целесообразно принять сроки профилактики, рассчитанные по экспоненциальному закону, которые соответствуют и механическим свойствам устройств (продолжительность работы смазки и др.).

На основании вышеописанного графо-аналитического расчета, а также расчета на ЭВМ "Наири" (рис.4) рекомендуются следующие сроки профилактического обслуживания: I-я группа надежности - 21 сутки или 1 обслуживание в месяц; 2-я соответственно 16 - 2; 3-я - 12 - 2; 4-я - 9 - 3; 5-я - 6 - 4; 6-я - 4 - 6.

Состав мероприятий профилактического обслуживания (уборка наносов, плавника, смазка шарниров и т.п.) и их характер определяются в зависимости от условий на гидротехнических сооружениях и от конструктивных особенностей автоматических регуляторов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Автоматизация производства и промышленная электроника. Под редакцией А.И.Берга, В.А.Трапезникова, т.2, М., Госиздат "Советская энциклопедия", 1963.
2. Базовский И. Надежность, М., Изд-во "Мир", 1965.
3. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике, М., Госиздат Техничко-теоретической литературы, 1955.
4. Гнеденко Б.В., Беляев Ю.К., Соловьев А.Д. Математические методы в теории надежности, М., Изд-во "Наука", 1965.

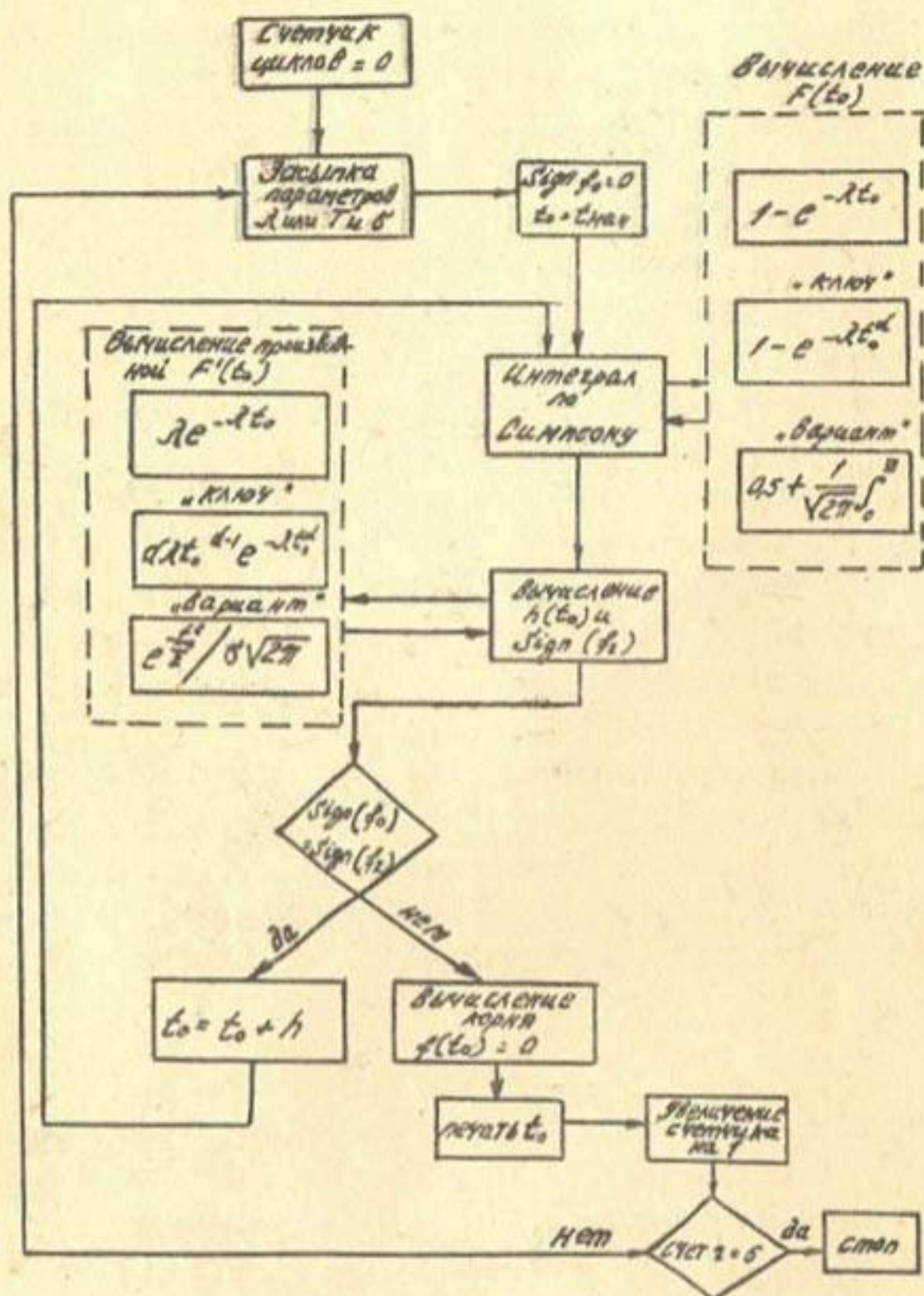


Рис.4. Блок-схема алгоритма решения уравнений y, u, y_2 на электронно-вычислительной машине "Наيري".

5. ГОСТ 13216-67. Надежность. Общие технические требования и методы испытаний, М., Стандартгиз, 1968.
6. Дружинин Г.В. О профилактических работах в устройствах автоматики, "Автоматика и телемеханика", 1962, № 5.
7. Оптимальные задачи надежности. Под редакцией И.А.Ушакова, М., Стандартгиз, 1968.
8. Шишонов Н.А., Репкин В.Ф., Барвинский Л.Л. Основы теории надежности и эксплуатации радиоэлектронной аппаратуры, М., Изд-во "Советское радио", 1964.

И.Б.ХАМАДОВ, В.В.ШАРОВ

К ОЦЕНКЕ НАДЕЖНОСТИ РАБОТЫ ЗАТВОРОВ
СТАБИЛИЗАЦИИ УРОВНЕЙ ВОДЫ НА СТАДИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ
АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Теоретические предпосылки

Надежность работы затворов-автоматов зависит от множества эксплуатационных факторов, из которых наиболее важными являются: воздействие плавающих тел, мусора, наносов водного потока, осадков, температуры, влажности, пыли, песка и примесей в воздухе, а также биологические и др.

Сила сопротивления движению регулирующего органа во времени растет, что создает тяжелые условия работы для затворов-автоматов. Поэтому безотказность работы автоматических регуляторов в значительной мере определяется запасом движущих сил воздействия на конструкцию.

Движущие силы автоматических регуляторов гидравлического действия для стабилизации постоянных уровней воды ограничены сравнительно небольшими величинами, что определяется принципами их действия, особенно для уравновешенных конструкций.

Несмотря на конструктивные различия тех или иных типов затворов-автоматов, выражающиеся в разных конструкциях чувствительных элементов и сервоприводе, все они имеют одинаковую конструкцию чувствительных элементов — это, как правило, сегментный, секторный или вращающаяся часть полотна обшивки затворов.

Движущие силы затворов-автоматов при той или иной конструкции можно определить гидростатическими и, если необходимо, гидродинамическими расчетами. Силы сопротивления движению затвора будут различными в зависимости от характеристик конструкции оборудования и свойств работы гидротехнического сооружения.

Выведем уравнение движения автоматического регулятора (например, сегментного затвора) в виде зависимостей между движущими силами и силами сопротивления движению затвора.

Уравнение движения сегментного затвора относительно оси вращения на основании физических законов можно записать:

$$J \frac{d^2 \alpha}{dt^2} + K_c \frac{d\alpha}{dt} = M_d - M_c \quad (1)$$

где J — момент инерции движущихся частей автомата, приведенный к оси вращения затвора;
 K_c — коэффициент, учитывающий силы сопротивления среды (отчасти выполняющий роль демпфера) и зависящий от скорости вращения затвора;
 M_d — момент движущих сил;
 M_c — момент сил сопротивления движению затвора;
 α — угол поворота затвора, отсчитываемый от линии горизонта;
 t — время.

Величина момента движущих сил потока, воздействующих на регулятор, зависит от напора давления воды h (положения или погружения его в воду) и от угла поворота α регулирующего органа затвора. Момент сил сопротивления движению затвора зависит от величины его положения, что определяется углом α .

Тогда уравнение движения затвора можно записать:

$$J \frac{d^2 \alpha}{dt^2} + K_c \frac{d\alpha}{dt} = M_d(h, \alpha) - M_c(\alpha). \quad (2)$$

Моменты $M_d(h, \alpha)$ и $M_c(\alpha)$ являются нелинейными функциями переменных величин затвора h и α , поэтому уравнение (2) нелинейное. Произведем линеаризацию уравнения (2).

В установившемся режиме регулирования переменные h и α принимают значения $h = h_0$ и $\alpha = \alpha_0$,

а уравнение при этом режиме равновесия системы затвора будет иметь вид:

$$M_s(h_0, \alpha_0) - M_c(\alpha_0) = 0. \quad (3)$$

Это уравнение статики автоматического регулятора.

В переходном режиме переменные h и α получают приращения относительно их значений в установившемся режиме и выражаются:

$$\Delta h = h - h_0, \quad \Delta \alpha = \alpha - \alpha_0.$$

После разложения переменных M_s и M_c в степенные ряды Тейлора по указанным приращениям Δh и $\Delta \alpha$ переменных величин h и α , с исключением членов высшего порядка малости ("нелинейных остатков" ряда), и замены в уравнении (2) функций $M_s(h, \alpha)$ и $M_c(\alpha)$ их разложениями, а также после вычитания из этого уравнения имеющегося уравнения (3), получим уравнение динамики автоматического регулятора, выраженное в приращенных величинах:

$$J \frac{d^2 \alpha}{dt^2} + K_c \frac{d \alpha}{dt} = \left(\frac{\partial M_s}{\partial h} \right)_{\substack{\alpha = \alpha_0 \\ h = h_0}} \Delta h - \left(\frac{\partial M_c}{\partial \alpha} - \frac{\partial M_s}{\partial \alpha} \right)_{\substack{\alpha = \alpha_0 \\ h = h_0}} \Delta \alpha \quad (4)$$

Это уравнение переходного режима в приращенных координатах, ибо

$$\frac{d \alpha}{dt} = \frac{d(\alpha - \alpha_0)}{dt} = \frac{d \Delta \alpha}{dt} \quad \text{и} \quad \frac{d^2 \alpha}{dt^2} = \frac{d^2 \Delta \alpha}{dt^2}$$

Введем относительные отклонения напора h и угла α :

$$x_{вх.} = \frac{\Delta h}{h_H} \quad \text{и} \quad x_{вых.} = \frac{\Delta \alpha}{\alpha_H}, \quad (5)$$

где h_H и α_H — некоторые постоянные базовые ("нормальные") значения отклонения напора и перемещения угла.

Подставляя из равенств (5) значения Δh и $\Delta \alpha$ в уравнение (4) и учитывая, что величины $x_{вх}$ и $x_{вых}$ — безразмерны, но коэффициенты при них имеют размерность момента, все члены полученного уравнения разделим на коэффициент при $x_{вых}$. В результате таких преобразований получим безразмерное равенство:

$$\frac{T}{\left(\frac{\partial M_c}{\partial \alpha} - \frac{\partial M_a}{\partial \alpha}\right)_{\substack{\alpha=\alpha_0 \\ h=h_0}}} \frac{d^2 x_{вых}}{dt^2} + \frac{K_c}{\left(\frac{\partial M_c}{\partial \alpha} - \frac{\partial M_a}{\partial \alpha}\right)_{\substack{\alpha=\alpha_0 \\ h=h_0}}} \frac{dx_{вых}}{dt} + x = \frac{h_H \left(\frac{\partial M_a}{\partial h}\right)_{\substack{\alpha=\alpha_0 \\ h=h_0}} x_{вх}}{\alpha_H \left(\frac{\partial M_c}{\partial \alpha} - \frac{\partial M_a}{\partial \alpha}\right)_{\substack{\alpha=\alpha_0 \\ h=h_0}}} \quad (6)$$

Введем следующие обозначения:

$$T = \frac{T}{\left(\frac{\partial M_c}{\partial \alpha} - \frac{\partial M_a}{\partial \alpha}\right)_{\substack{\alpha=\alpha_0 \\ h=h_0}}} \quad (7), \quad T_i = \frac{K_c}{\left(\frac{\partial M_c}{\partial \alpha} - \frac{\partial M_a}{\partial \alpha}\right)_{\substack{\alpha=\alpha_0 \\ h=h_0}}} \quad (8)$$

$$K = \frac{h_H \left(\frac{\partial M_a}{\partial h}\right)_{\substack{\alpha=\alpha_0 \\ h=h_0}}}{\alpha_H \left(\frac{\partial M_c}{\partial \alpha} - \frac{\partial M_a}{\partial \alpha}\right)_{\substack{\alpha=\alpha_0 \\ h=h_0}}} \quad (9)$$

Перейдем к операторной форме записи с применением преобразования Лапласа (при нулевых начальных условиях):

$$(Tp^2 + T_i p + 1)x_{вых} = K x_{вх}, \quad (10)$$

где T и T_i — постоянные времени;

p — символ дифференцирования;

K — передаточный коэффициент звена системы.

Передаточная функция регуляторов определяется из записи (10):

$$W(p) = \frac{K}{Tp^2 + T_i p + 1}. \quad (11)$$

Передаточная функция автоматического регулятора рассматривается в качестве обобщенного функционала для оценки качества выполнения операций автоматического регулирования. Если параметры системы отличаются от допу-

стимых значений, то передаточная функция $W_r(p)$, соответствующая им, отличается от $W(p)$ — что указывает на ненадежность системы. Численной характеристикой надежности удобнее представить величину наибольших возможных отклонений модуля и аргумента передаточной функции от оптимальных расчетных значений^I.

Так как передаточная функция уравнения движения автоматического регулятора представлена нами в виде соотношения моментов сил, определяющих надежность работы, то отклонения модуля и аргумента будут характеризовать как способность непосредственно преодолевать возможные силы сопротивления движению затвора, так и статические и динамические характеристики регуляторов (устойчивость, переходные функции и пр.).

Передаточную функцию представим в виде выражения для частотных характеристик (из условия

где R_r и J_r — соответствующие вещественные и мнимые части):

$$W(j\omega) = \frac{K}{-T\omega^2 + 1 + T_1\omega j} = \frac{K(1 - T\omega^2)}{1 - 2T\omega^2 + T^2\omega^4 + T_1^2\omega^2} - j \frac{KT_1\omega}{1 - 2T\omega^2 + T^2\omega^4 + T_1^2\omega^2}$$

Модуль частотной характеристики:

$$M(j\omega) = \sqrt{R_r^2(\omega) + J_r^2(\omega)} = \frac{K}{\sqrt{(1 - T\omega^2)^2 + T_1^2\omega^2}} \quad (12)$$

Аргумент частотной характеристики:

$$A_r(j\omega) = \arctg \frac{J_r(\omega)}{R_r(\omega)} = \arctg \frac{-T_1\omega}{1 - T\omega^2} = -\arctg \frac{T_1\omega}{1 - T\omega^2} \quad (13)$$

^I Сапожников Р.Л., Бессонов А.А., Шоломицкий А.Г. Надежность автоматических управляющих систем, Изд. "Высшая школа", М., 1964.

1). Из выражения (I2) найдем приращение модуля частотной характеристики в зависимости от допустимых приращений параметров системы, для чего возьмем частные производные выражений по всем параметрам, входящим в (I2):

$$\Delta M = \frac{\partial M}{\partial K} \Delta K + \frac{\partial M}{\partial T} \Delta T + \frac{\partial M}{\partial T_1} \Delta T_1 + \frac{\partial M}{\partial \omega} \Delta \omega$$

Подставляя значения частных переменных, найдем:

$$\begin{aligned} \Delta M = & \frac{1}{\sqrt{(1-T\omega^2)^2 + T_1^2 \omega^2}} \cdot \Delta K + \frac{K(1-T\omega^2)\omega^2}{[(1-T\omega^2)^2 + T_1^2 \omega^2]^{\frac{1}{2}}} \cdot \Delta T - \\ & - \frac{KT_1 \omega^2}{[(1-T\omega^2)^2 + T_1^2 \omega^2]^{\frac{1}{2}}} \cdot \Delta T_1 - \frac{K[2(1-T\omega^2)(-2T\omega) + 2T_1 \omega^2]}{2[(1-T\omega^2)^2 + T_1^2 \omega^2]^{\frac{1}{2}}} \cdot \Delta \omega. \end{aligned} \quad (I4)$$

В это выражение входят абсолютные значения отклонений параметров. Приведем (I4) к виду, определяющему связь между относительными отклонениями, что позволит сравнивать различные типы автоматических регуляторов независимо от конкретных значений, входящих в формулу величин:

$$\begin{aligned} \delta M = \delta K + \frac{T(1-T\omega^2)\omega^2}{(1-T\omega^2)^2 + T_1^2 \omega^2} \delta T - \frac{T_1 \omega^2}{(1-T\omega^2)^2 + T_1^2 \omega^2} \delta T_1 - \\ - \frac{[T_1^2 - 2T(1-T\omega^2)]\omega^2}{(1-T\omega^2)^2 + T_1^2 \omega^2} \cdot \delta \omega. \end{aligned} \quad (I4')$$

Найдем значения всех относительных отклонений, входящих в последнее выражение (I4').

а) Так как K определяется выражением (9), то для относительного отклонения δK найдем:

$$\delta K = \frac{\Delta K}{K} = \frac{1}{K} \left\{ \frac{\partial K}{\partial M_c} \Delta M_c + \frac{\partial K}{\partial M_d} \Delta M_d \right\}. \quad (I5)$$

Для раскрытых скобок выражения (15) определим величины

$$\frac{1}{K} \frac{\partial K}{\partial M_c} \quad \text{и} \quad \frac{1}{K} \frac{\partial K}{\partial M_a}.$$

Величину $\frac{\partial K}{\partial M_c}$ можно представить

$$\frac{\partial K}{\partial M_c} = \frac{\partial K}{\partial \alpha} \cdot \frac{\partial \alpha}{\partial M_c}.$$

Используя частную производную выражения (9) для K , после преобразований получим:

$$\frac{1}{K} \frac{\partial K}{\partial M_c} = \frac{\left(\frac{\partial M_c}{\partial \alpha} - \frac{\partial M_a}{\partial \alpha} \right) \frac{\partial^2 M_a}{\partial h \partial \alpha} - \frac{\partial M_a}{\partial h} \left(\frac{\partial^2 M_c}{\partial \alpha^2} - \frac{\partial^2 M_a}{\partial \alpha^2} \right)}{\left(\frac{\partial M_c}{\partial \alpha} - \frac{\partial M_a}{\partial \alpha} \right) \frac{\partial M_a}{\partial h} \cdot \frac{\partial M_c}{\partial \alpha}} \bigg|_{\substack{\alpha = \alpha_0 \\ h = h_0}}$$

Величину $\frac{\partial K}{\partial M_a}$ можно также развернуть:

$$\frac{\partial K}{\partial M_a} = \frac{\partial K}{\partial \alpha} \cdot \frac{\partial \alpha}{\partial M_a} + \frac{\partial K}{\partial h} \cdot \frac{\partial h}{\partial M_a}$$

Используя частную производную h выражения (9) для K , после преобразований находим:

$$\begin{aligned} \frac{1}{K} \frac{\partial K}{\partial M_a} = & \frac{\left(\frac{\partial M_c}{\partial \alpha} - \frac{\partial M_a}{\partial \alpha} \right) \frac{\partial^2 M_a}{\partial \alpha \partial h} - \frac{\partial M_a}{\partial h} \left(\frac{\partial^2 M_c}{\partial \alpha^2} - \frac{\partial^2 M_a}{\partial \alpha^2} \right)}{\left(\frac{\partial M_c}{\partial \alpha} - \frac{\partial M_a}{\partial \alpha} \right) \frac{\partial M_a}{\partial h} \cdot \frac{\partial M_a}{\partial \alpha}} \bigg|_{\substack{\alpha = \alpha_0 \\ h = h_0}} + \\ & + \frac{\left(\frac{\partial M_c}{\partial \alpha} - \frac{\partial M_a}{\partial \alpha} \right) \frac{\partial^2 M_a}{\partial h^2} + \frac{\partial^2 M_a}{\partial h \partial \alpha} \cdot \frac{\partial M_a}{\partial h}}{\left(\frac{\partial M_c}{\partial \alpha} - \frac{\partial M_a}{\partial \alpha} \right) \frac{\partial M_a}{\partial h}} \bigg|_{\substack{\alpha = \alpha_0 \\ h = h_0}} \cdot \frac{\partial h}{\partial M_a}. \end{aligned}$$

Подставляя в (15) все найденные выражения, определим:

$$\delta K = \frac{\left[\left(\frac{\partial M_c}{\partial \alpha} - \frac{\partial M_a}{\partial \alpha} \right) \frac{\partial^2 M_a}{\partial h \partial \alpha} - \frac{\partial M_a}{\partial h} \left(\frac{\partial^2 M_c}{\partial \alpha^2} - \frac{\partial^2 M_a}{\partial \alpha^2} \right) \right]}{\left(\frac{\partial M_c}{\partial \alpha} - \frac{\partial M_a}{\partial \alpha} \right) \frac{\partial M_a}{\partial h}} \bigg|_{\substack{\alpha = \alpha_0 \\ h = h_0}} \cdot \left[M_c \frac{\partial \alpha}{\partial M_c} \delta M_c + \right.$$

$$+ M_2 \frac{\partial \alpha}{\partial M_2} \cdot \delta M_2] + \frac{\left(\frac{\partial M_c}{\partial \alpha} - \frac{\partial M_2}{\partial \alpha} \right) \frac{\partial^2 M_2}{\partial h^2} + \frac{\partial^2 M_2}{\partial \alpha \cdot \partial h} \cdot \frac{\partial M_2}{\partial h}}{\left(\frac{\partial M_c}{\partial \alpha} - \frac{\partial M_2}{\partial \alpha} \right) \frac{\partial M_2}{\partial h}} \cdot M_2 \frac{\partial h}{\partial M_2} \cdot \delta M_2 \Big|_{\substack{\alpha = \alpha_0 \\ h = h_0}}$$

Обозначив

$$A = \frac{\left(\frac{\partial M_c}{\partial \alpha} - \frac{\partial M_2}{\partial \alpha} \right) \frac{\partial^2 M_2}{\partial h \cdot \partial \alpha} - \frac{\partial M_2}{\partial h} \left(\frac{\partial^2 M_c}{\partial \alpha^2} - \frac{\partial^2 M_2}{\partial \alpha^2} \right)}{\left(\frac{\partial M_c}{\partial \alpha} - \frac{\partial M_2}{\partial \alpha} \right) \frac{\partial M_2}{\partial h}} \Big|_{\substack{\alpha = \alpha_0 \\ h = h_0}},$$

$$B = \frac{\left(\frac{\partial M_c}{\partial \alpha} - \frac{\partial M_2}{\partial \alpha} \right) \frac{\partial^2 M_2}{\partial h^2} + \frac{\partial^2 M_2}{\partial \alpha \cdot \partial h} \cdot \frac{\partial M_2}{\partial h}}{\left(\frac{\partial M_c}{\partial \alpha} - \frac{\partial M_2}{\partial \alpha} \right) \frac{\partial M_2}{\partial h}} \Big|_{\substack{\alpha = \alpha_0 \\ h = h_0}}.$$

Окончательно для δK найдем:

$$\begin{aligned} \delta K &= A \left[M_c \frac{\partial \alpha}{\partial M_c} \cdot \delta M_c + M_2 \frac{\partial \alpha}{\partial M_2} \cdot \delta M_2 \right] + B M_2 \frac{\partial h}{\partial M_2} \cdot \delta M_2 = \\ &= A M_c \frac{\partial \alpha}{\partial M_c} \cdot \delta M_c + \left[A M_2 \frac{\partial \alpha}{\partial M_2} + B M_2 \frac{\partial h}{\partial M_2} \right] \delta M_2 \dots \end{aligned} \quad (15')$$

б) Найдем относительные отклонения δT :

$$\delta T = \frac{\Delta T}{T} = \frac{1}{T} \left\{ \frac{\partial T}{\partial M_c} \cdot \Delta M_c + \frac{\partial T}{\partial M_2} \cdot \Delta M_2 \right\}. \quad (16)$$

Частная производная по M_c выражения для T может быть представлена:

$$\frac{\partial T}{\partial M_c} = \frac{\partial T}{\partial \alpha} \cdot \frac{\partial \alpha}{\partial M_c}.$$

После преобразований с использованием частной производной по α выражения (7) для T первое слагаемое

выражения (16) при раскрытых скобках равно:

$$\frac{1}{T} \frac{\partial T}{\partial M_c} = - \frac{\left(\frac{\partial^2 M_c}{\partial d^2} - \frac{\partial^2 M_a}{\partial d^2} \right)}{\left(\frac{\partial M_c}{\partial d} - \frac{\partial M_a}{\partial d} \right)} \bigg|_{\substack{d=d_0 \\ h=h_0}} \cdot \frac{\partial d}{\partial M_c}.$$

Частная производная по M_a выражения для T представляется в виде:

$$\frac{\partial T}{\partial M_a} = \frac{\partial T}{\partial d} \cdot \frac{\partial d}{\partial M_a} + \frac{\partial T}{\partial h} \cdot \frac{\partial h}{\partial M_a}.$$

Тогда, после преобразования (с использованием частной производной по h выражения (7) для T) вторые слагаемые выражения (16) находим:

$$\frac{1}{T} \frac{\partial T}{\partial M_a} = \frac{\frac{\partial^2 M_a}{\partial h \cdot \partial d}}{\left(\frac{\partial M_c}{\partial d} - \frac{\partial M_a}{\partial d} \right)} \bigg|_{\substack{d=d_0 \\ h=h_0}} \cdot \frac{\partial h}{\partial M_a} - \frac{\left(\frac{\partial^2 M_c}{\partial d^2} - \frac{\partial^2 M_a}{\partial d^2} \right)}{\left(\frac{\partial M_c}{\partial d} - \frac{\partial M_a}{\partial d} \right)} \bigg|_{\substack{d=d_0 \\ h=h_0}} \cdot \frac{\partial d}{\partial M_a}$$

Подставляя в (16) найденные значения величин, получим:

$$\begin{aligned} \delta T = & \frac{\frac{\partial^2 M_a}{\partial h \cdot \partial d}}{\left(\frac{\partial M_c}{\partial d} - \frac{\partial M_a}{\partial d} \right)} \bigg|_{\substack{d=d_0 \\ h=h_0}} \cdot M_a \cdot \frac{\partial h}{\partial M_a} \cdot \delta M_a - \frac{\left(\frac{\partial^2 M_c}{\partial d^2} - \frac{\partial^2 M_a}{\partial d^2} \right)}{\left(\frac{\partial M_c}{\partial d} - \frac{\partial M_a}{\partial d} \right)} \bigg|_{\substack{d=d_0 \\ h=h_0}} \cdot \frac{\partial d}{\partial M_a} \cdot M_a \cdot \delta M_a - \\ & - \frac{\left(\frac{\partial^2 M_c}{\partial d^2} - \frac{\partial^2 M_a}{\partial d^2} \right)}{\left(\frac{\partial M_c}{\partial d} - \frac{\partial M_a}{\partial d} \right)} \bigg|_{\substack{d=d_0 \\ h=h_0}} \cdot M_c \cdot \frac{\partial d}{\partial M_c} \cdot \delta M_c. \end{aligned}$$

Обозначая

$$C = \frac{\frac{\partial^2 M_2}{\partial h \cdot \partial \alpha}}{\left(\frac{\partial M_c}{\partial \alpha} - \frac{\partial M_2}{\partial \alpha}\right)} \bigg|_{\substack{\alpha = \alpha_0 \\ h = h_0}}; \quad \mathfrak{D} = \frac{\frac{\partial^2 M_c}{\partial \alpha^2} - \frac{\partial^2 M_2}{\partial \alpha^2}}{\left(\frac{\partial M_c}{\partial \alpha} - \frac{\partial M_2}{\partial \alpha}\right)} \bigg|_{\substack{\alpha = \alpha_0 \\ h = h_0}},$$

окончательно для величины δT получим следующее выражение:

$$\delta T = M_2 \left(C \frac{\partial h}{\partial M_2} - \mathfrak{D} \frac{\partial \alpha}{\partial M_2} \right) \delta M_2 - \mathfrak{D} M_c \frac{\partial \alpha}{\partial M_c} \cdot \delta M_c \quad (17)$$

в) Для относительного отклонения δT_1 найдем:

$$\delta T_1 = \frac{\Delta T_1}{T_1} = \frac{1}{T_1} \left\{ \frac{\partial T_1}{\partial K} \Delta K + \frac{\partial T_1}{\partial M_c} \Delta M_c + \frac{\partial T_1}{\partial M_2} \Delta M_2 \right\}. \quad (18)$$

Для первого слагаемого выражения (18) при раскрытых скобках с использованием равенства (8) получим

$$\frac{1}{T_1} \cdot \frac{\partial T_1}{\partial K} = \frac{\Delta K}{K} = \delta K,$$

величина которого соответствует выражению (15).

Представив величины:

$$\frac{\partial T_1}{\partial M_c} = \frac{\partial T_1}{\partial \alpha} \cdot \frac{\partial \alpha}{\partial M_c} \quad \text{и} \quad \frac{\partial T_1}{\partial M_2} = \frac{\partial T_1}{\partial M_2} + \frac{\partial T_1}{\partial h} \cdot \frac{\partial h}{\partial M_2}$$

и использовав выражение (8), после преобразований для второго и третьего слагаемого выражения (18) при раскрытых скобках находим:

$$\frac{1}{T_1} \cdot \frac{\partial T_1}{\partial M_c} = - \frac{\left(\frac{\partial^2 M_c}{\partial \alpha^2} - \frac{\partial^2 M_2}{\partial \alpha^2} \right)}{\left(\frac{\partial M_c}{\partial \alpha} - \frac{\partial M_2}{\partial \alpha} \right)} \bigg|_{\substack{\alpha = \alpha_0 \\ h = h_0}} \cdot \frac{\partial \alpha}{\partial M_c} \quad \text{и}$$

$$\frac{1}{T} \frac{\partial T_1}{\partial M_2} = \frac{\frac{\partial^2 M_2}{\partial h \cdot \partial \alpha}}{\left(\frac{\partial M_c}{\partial \alpha} - \frac{\partial M_2}{\partial \alpha} \right)} \bigg|_{\substack{\alpha = \alpha_0 \\ h = h_0}} \cdot \frac{\partial h}{\partial M_2} - \frac{\left(\frac{\partial^2 M_c}{\partial \alpha^2} - \frac{\partial^2 M_2}{\partial \alpha^2} \right)}{\left(\frac{\partial M_c}{\partial \alpha} - \frac{\partial M_2}{\partial \alpha} \right)} \bigg|_{\substack{\alpha = \alpha_0 \\ h = h_0}} \cdot \frac{\partial \alpha}{\partial M_2}$$

Подставляя в (18) найденные значения величин и используя ранее введенные обозначения, окончательно для δT_1 определим

$$\delta T_1 = A M_c \frac{\partial \alpha}{\partial M_c} \delta M_c + \left[A M_2 \cdot \frac{\partial \alpha}{\partial M_2} + B M_2 \cdot \frac{\partial h}{\partial M_2} \right] \delta M_2 + \\ + C M_2 \cdot \frac{\partial h}{\partial M_2} \cdot \delta M_2 - 2 M_2 \frac{\partial \alpha}{\partial M_2} \delta M_2 - 2 M_c \cdot \frac{\partial \alpha}{\partial M_c} \delta M_c \cdot$$

г) Введем обозначения в общее выражение (14') для δM

$$a = \frac{T(1-T\omega^2)\omega^2}{(1-T\omega^2)^2 + T_1^2\omega^2}, \quad b = \frac{T_1^2\omega^2}{(1-T\omega^2)^2 + T_1^2\omega^2},$$

$$d = \frac{[T_1^2 - 2T(1-T\omega^2)]\omega^2}{(1-T\omega^2)^2 + T_1^2\omega^2}$$

Таким образом, для δM из уравнения (14') при подстановке всех полученных значений окончательно получим:

$$\delta M = M_c \frac{\partial \alpha}{\partial M_c} [A - a\alpha - bA + b\alpha] \delta M_c + \\ + M_2 \left\{ \frac{\partial \alpha}{\partial M_2} [A - a\alpha - AB + b\alpha] + \frac{\partial h}{\partial M_2} [B + \right. \\ \left. + aC - bB - bC] \right\} \delta M_2 - d\delta\omega. \quad (19)$$

2) Из зависимости (13) найдем приращение аргумента частотной характеристики в виде частных производных по всем параметрам, входящим в (13):

$$\Delta A_1 = \frac{\partial A_1}{\partial T} \Delta T + \frac{\partial A_1}{\partial T_1} \Delta T_1 + \frac{\partial A_1}{\partial \omega} \Delta \omega, \quad (20)$$

где соответствующие частные производные равны:

$$\frac{\partial A_1}{\partial T} = \frac{T_1 \omega^3}{(1 - T \omega^2)^2 + T_1^2 \omega^2},$$

$$\frac{\partial A_1}{\partial T_1} = - \frac{\omega (1 - T \omega^2)}{(1 - T \omega^2)^2 + T_1^2 \omega^2},$$

$$\frac{\partial A_1}{\partial \omega} = - \frac{T_1 (1 + T \omega^2)}{(1 - T \omega^2)^2 + T_1^2 \omega^2}.$$

Подставляя в (20) найденные значения, получим:

$$\Delta A_1 = \frac{T_1 \omega^3}{(1 - T \omega^2)^2 + T_1^2 \omega^2} \Delta T - \frac{\omega (1 - T \omega^2)}{(1 - T \omega^2)^2 + T_1^2 \omega^2} \Delta T_1 - \frac{T_1 (1 + T \omega^2)}{(1 - T \omega^2)^2 + T_1^2 \omega^2} \Delta \omega$$

Для относительного приращения аргумента частотной характеристики δA_1 имеем:

$$\delta A_1 = \frac{\Delta A_1}{A_1} = - \frac{T \cdot T_1 \omega^3}{q \cdot \operatorname{arctg} x} \delta T + \frac{\omega T_1 (1 - T \omega^2)}{q \cdot \operatorname{arctg} x} \delta T_1 + \frac{T_1 \omega (1 + T \omega^2)}{q \cdot \operatorname{arctg} x} \delta \omega$$

где обозначено:

$$x = \frac{T_1 \omega}{1 - T \omega^2}; \quad q = (1 - T \omega^2)^2 + T_1^2 \omega^2$$

а) Величина δT равна выражению (17).

б) Для δT_1 имеем:

$$\delta T_1 = \frac{\Delta T_1}{T_1} = \frac{1}{T_1} \left\{ \frac{\partial T_1}{\partial M_c} \Delta M_c + \frac{\partial T_1}{\partial M_d} \Delta M_d \right\}. \quad (21)$$

Частные производные выражений для T_1 по переменным α и h равны

$$\frac{\partial T_1}{\partial \alpha} = \frac{h_H}{\alpha_H} \cdot \frac{\left(\frac{\partial M_c}{\partial \alpha} - \frac{\partial M_a}{\partial \alpha}\right) \frac{\partial^2 M_a}{\partial \alpha \partial h} - 2 \frac{\partial M_a}{\partial h} \left(\frac{\partial^2 M_c}{\partial \alpha^2} - \frac{\partial^2 M_a}{\partial \alpha^2}\right)}{\left(\frac{\partial M_c}{\partial \alpha} - \frac{\partial M_a}{\partial \alpha}\right)^3} \Bigg|_{\substack{\alpha=\alpha_0 \\ h=h_0}} ;$$

$$\frac{\partial T_1}{\partial h} = \frac{h_H}{\alpha_H} \cdot \frac{\left(\frac{\partial M_c}{\partial \alpha} - \frac{\partial M_a}{\partial \alpha}\right) \frac{\partial^2 M_a}{\partial h^2} + 2 \frac{\partial M_a}{\partial h} \cdot \frac{\partial^2 M_a}{\partial \alpha \partial h}}{\left(\frac{\partial M_c}{\partial \alpha} - \frac{\partial M_a}{\partial \alpha}\right)^3} \Bigg|_{\substack{\alpha=\alpha_0 \\ h=h_0}}$$

Учитывая, что величины

$$\frac{\partial T_1}{\partial M_c} = \frac{\partial T_1}{\partial \alpha} \cdot \frac{\partial \alpha}{\partial M_c} \quad \text{и} \quad \frac{\partial T_1}{\partial M_a} = \frac{\partial T_1}{\partial \alpha} \cdot \frac{\partial \alpha}{\partial M_a} + \frac{\partial T_1}{\partial h} \cdot \frac{\partial h}{\partial M_a} ,$$

а также используя вышеупомянутые выражения частных производных по α и h для раскрытых скобок выражения (21), определяем:

$$\begin{aligned} \delta T_1 = & \frac{\left(\frac{\partial M_c}{\partial \alpha} - \frac{\partial M_a}{\partial \alpha}\right) \frac{\partial^2 M_a}{\partial \alpha \partial h} - 2 \frac{\partial M_a}{\partial h} \left(\frac{\partial^2 M_c}{\partial \alpha^2} - \frac{\partial^2 M_a}{\partial \alpha^2}\right)}{\left(\frac{\partial M_c}{\partial \alpha} - \frac{\partial M_a}{\partial \alpha}\right) \frac{\partial M_a}{\partial h}} \cdot M_c \frac{\partial \alpha}{\partial M_c} \cdot \delta M_c + \\ & + \frac{\left(\frac{\partial M_c}{\partial \alpha} - \frac{\partial M_a}{\partial \alpha}\right) \frac{\partial^2 M_a}{\partial h \partial \alpha} - 2 \frac{\partial M_a}{\partial h} \left(\frac{\partial^2 M_c}{\partial \alpha^2} - \frac{\partial^2 M_a}{\partial \alpha^2}\right)}{\left(\frac{\partial M_c}{\partial \alpha} - \frac{\partial M_a}{\partial \alpha}\right) \frac{\partial M_a}{\partial h}} \cdot M_a \frac{\partial \alpha}{\partial M_a} \cdot \delta M_a + \\ & + \frac{\left(\frac{\partial M_c}{\partial \alpha} - \frac{\partial M_a}{\partial \alpha}\right) \frac{\partial^2 M_a}{\partial h^2} + 2 \frac{\partial M_a}{\partial h} \cdot \frac{\partial^2 M_a}{\partial h \partial \alpha}}{\left(\frac{\partial M_c}{\partial \alpha} - \frac{\partial M_a}{\partial \alpha}\right)} \cdot M_a \frac{\partial h}{\partial M_a} \cdot \delta M_a . \end{aligned}$$

Введем обозначения:

$$R = \frac{\left(\frac{\partial M_c}{\partial \alpha} - \frac{\partial M_2}{\partial \alpha}\right) \frac{\partial^2 M_2}{\partial \alpha \partial h} - 2 \frac{\partial M_2}{\partial h} \left(\frac{\partial^2 M_c}{\partial \alpha^2} - \frac{\partial^2 M_2}{\partial \alpha^2}\right)}{\left(\frac{\partial M_c}{\partial \alpha} - \frac{\partial M_2}{\partial \alpha}\right) \frac{\partial M_2}{\partial h}};$$

$$N = \frac{\left(\frac{\partial M_c}{\partial \alpha} - \frac{\partial M_2}{\partial \alpha}\right) \frac{\partial^2 M_2}{\partial h^2} + 2 \frac{\partial M_2}{\partial h} \cdot \frac{\partial^2 M_2}{\partial \alpha \partial h}}{\left(\frac{\partial M_c}{\partial \alpha} - \frac{\partial M_2}{\partial \alpha}\right) \cdot \frac{\partial M_2}{\partial h}};$$

$$\zeta = \frac{T_1 \omega^3}{(1 - T\omega^2)^2 + T_1^2 \omega^2}; \quad \eta = \frac{\omega (1 - T\omega^2)}{(1 - T\omega^2)^2 + T_1^2 \omega^2}.$$

Итак, для δT_1 получим:

$$\delta T_1 = R \cdot M_c \frac{\partial \alpha}{\partial M_c} \cdot \delta M_c + R M_2 \frac{\partial \alpha}{\partial M_2} \cdot \delta M_2 + N \cdot M_2 \frac{\partial h}{\partial M_2} \cdot \delta M_2.$$

в) Теперь для δA_1 окончательно найдем:

$$\begin{aligned} \delta A_1 = & [-\zeta \alpha + R\eta] \cdot M_c \frac{\partial \alpha}{\partial M_c} \cdot \delta M_c + M_2 \left\{ \frac{\partial h}{\partial M_2} [\zeta \zeta + N\eta] + \right. \\ & \left. + \frac{\partial \alpha}{\partial M_2} [\eta R - \zeta \alpha] \right\} \delta M_2 \end{aligned} \quad (22)$$

Полученные теоретические зависимости критерия соотношений движущих сил и сил сопротивлений затворов-автоматов являются предпосылками к оценке надежности работы регуляторов на стадии их разработки, изготовления и использования, особенно при проектировании автоматизированных оросительных систем. Такой расчет надежности действия регуляторов похож на расчет точности, при котором входные величины подставляются в передаточные функции и вычисляются выходные параметры. Обычно при таком расчете используются номинальные значения входных параметров.

Если входные величины рассматривать как случайные и характеризовать их плотностями вероятности, то можно одновременно рассчитать и надежность работы, и качество регулирования.

Расчет надежности в общем виде представляет собой вероятностную задачу. Решается она выражением вероятности отказа системы регулятора через вероятности отказов составных частей конструкции. Ее можно выразить в виде зависимостей от факторов, в частности соотношением сил движения и сопротивления.

Для моментов сил зависимости будут вида

$$M_c = K_1 \cdot \sin \alpha \quad \text{и} \quad M_d = K_2 \cdot H^3 \cdot \cos \alpha,$$

где K_1 и K_2 — коэффициенты зависимости от конструктивных параметров автоматов и условий их работы;

α — угол, характеризующий положение затвора;
 H — напор воды.

Зная для каждого конкретного гидротехнического сооружения коэффициенты, характеризующие эксплуатационные условия работы и конструктивные параметры затворов-автоматов, согласно вышеприведенной последовательности определяют значения частных производных величин. Подставляя их в формулы (19) и (22), получают данные для оценки надежности работы по модулю и аргументу частотных характеристик качества регулирования затворов-автоматов. Большие величины δM и δA , для сравниваемых конструкций соответствуют более высоким показателям надежности.

Как говорилось выше, силы сопротивления движению регулирующего органа уравновешенных затворов-автоматов стабилизации уровня воды бьефов во времени растут, а движущие моменты — не меняются. Поэтому уравновешенные затворы-автоматы по параметрам надежности уступают затворам-автоматам с гидравлическим усилением (например, конструкции института автоматики АН КиргССР).

Для рационального использования затворов-автоматов стабилизации уровня воды требуются дальнейшие теоретические и экспериментальные разработки для расчета параметров их эксплуатационной надежности. При этом необходим сбор статистических данных по эксплуатации таких регуляторов на оросительных системах. Такие данные позволяют получить зависимости изменения их моментов M_c во времени t , т.е. $M_c = f(t)$. Время наработки регуляторов на отказ (среднее время между двумя последовательно возникшими отказами) определяется тем, что точность стабилизации уровня ΔH становится больше допустимой $\Delta H_{доп.}$, т.е.

$\Delta H > \Delta H_{доп.}$, когда наступает отказ.

На качество регулирования влияют свойства самого объекта автоматизации, математическое описание которого нужно рассматривать вместе с уравнением автоматического регулятора.

Примеры расчета модульной и фазовой частотной характеристики для оценки надежности работы конструкции

Так как система регулирования описывается уравнением 2-го порядка (10), то материал по исследованию устойчивости регуляторов, в силу их простоты и известности, в данной статье опускается.

Для иллюстрации предлагаемой методики оценки надежности произведем расчет надежности двух конструкций затворов-автоматов. Первая конструкция — это широко известный автоматический регулятор уровня воды нижнего бьефа "Нейрпик" (рис.1). Вторая — устройство по авторскому свидетельству № 222687, отличающееся от первой тем, что поплавков соединен с осью вращения затвора не жестко, а посредством зубчатой передачи (рис.2). Если для первой конструкции коэффициент усиления регулятора равен 1, то для второй — при условии, что полный рабочий угол поворота поплавка составляет 160° , угол поворота затвора 20° , коэффициент полезного действия шарнира 0,95 и зубчатой

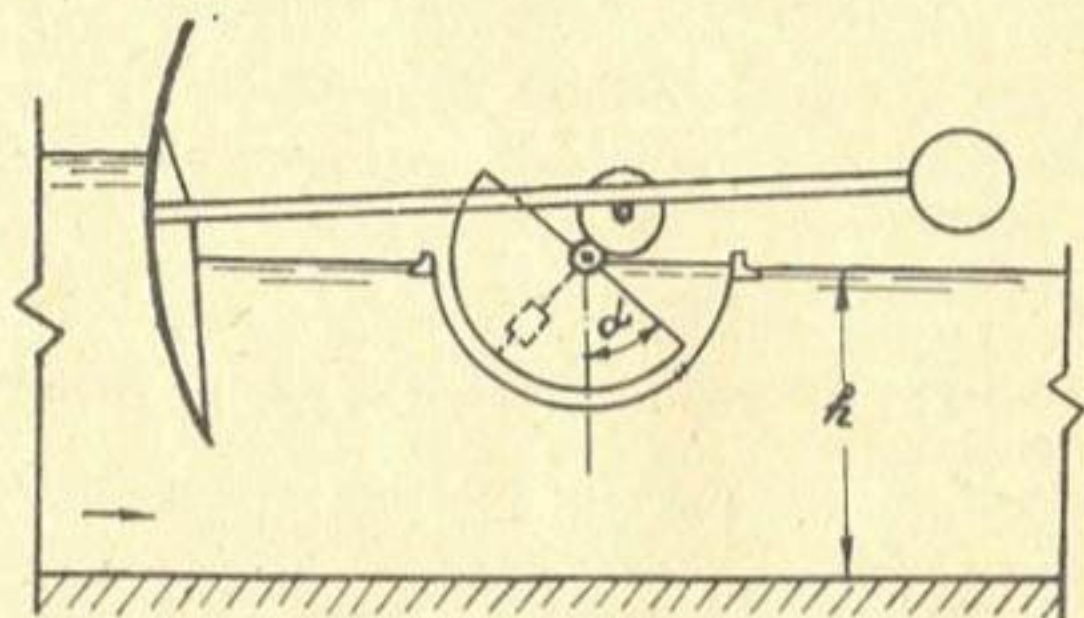


Рис.2.Схема автоматического регулятора с увеличенной передачей от поплавок к затвору.

пары 0,90 — будем иметь:

$$K_n = \frac{M_z}{M_{пол}} = 8 \cdot 0,95 \cdot 0,90 = 6,84,$$

где M_z — движущий момент на оси затвора;
 $M_{пол.}$ — движущий момент на оси поплавка.

Для конструкции затвора "Нейрпик" есть следующие исходные данные: момент инерции движущихся частей модели автоматического регулятора

$$J = 0,001 \text{ кгм}^2;$$

геометрические параметры, обозначения которых даны выше, имеют значения:

$$\begin{aligned} h &= 0,2 \text{ м}, & h_H &= 0,22 \text{ м}, \\ \alpha_0 &= 15^\circ = 0,26 \text{ рад.}, & \alpha_H &= 10^\circ = 0,175 \text{ рад.} \end{aligned}$$

Момент сил сопротивления:

$$M_c = K_r \cdot \sin \alpha,$$

где K_r — коэффициент, зависящий от конструктивных параметров регулятора и коэффициентов трения;
 α — угол, характеризующий положение затвора.

Принимая минимальное расчетное значение момента сил сопротивления равным 0,42 кГм (при $\alpha_H = 10^\circ = 0,175 \text{ рад.}$), найдем:

$$K_r = \frac{M_c}{\sin \alpha} = \frac{0,42}{0,175} = 0,24.$$

Возможное приращение моментов сил сопротивления (вследствие выпадания наносов и др.):

$$\delta M_c = 200\%.$$

Для момента движущих сил на основании формул гидростатики

$$M_d = K_2 \cdot h^3 \cdot \cos \alpha,$$

где K_2 — коэффициент, зависящий от конструктивных параметров автомата.

Учитывая сравнительный характер исследований, примем $K_2 = 1$.

Тогда

$$M_d = 1 \cdot 0,23^3 \cdot \cos 10^\circ = 0,0105 \text{ кгм.}$$

Величина приращения движущего момента δM_d находится из условия $M_d = M_c$ в допустимых пределах изменения регулируемого горизонта воды соответствующего чувствительности самого регулятора (например, 1 см), а при максимальном допустимом изменении горизонта (например, 4 см) составит:

$$\delta M_d = 250\%.$$

Для частоты примем:

$$\begin{aligned} \omega &= 1 \text{ 1/сек,} \\ \delta \omega &= 5\%. \end{aligned}$$

Определим частные производные величин, входящих в расчетные выражения (19) и (22):

$$\frac{\partial M_c}{\partial \alpha} = K_1 \cdot \cos \alpha = 0,24 \cdot \cos 10^\circ = 0,236 ;$$

$$\frac{\partial M_d}{\partial \alpha} = -K_2 \cdot h^3 \cdot \sin \alpha = -1 \cdot 0,2^3 \cdot \sin 10^\circ = -0,0014 ;$$

$$\frac{\partial M_d}{\partial h} = 3K_2 \cdot h^2 \cdot \cos \alpha = 3 \cdot 1 \cdot 0,22^2 \cdot \cos 15^\circ = 0,115 ;$$

$$\frac{\partial^2 M_d}{\partial h^2} = 6K_2 \cdot h \cdot \cos \alpha = 6 \cdot 1 \cdot 0,22 \cdot \cos 15^\circ = 1,274 ;$$

$$\frac{\partial^2 M_2}{\partial h \cdot \partial \alpha} = 3K_2 \cdot h^2 \cdot (-\sin \alpha) = 3 \cdot 1 \cdot 0,22^2 \cdot (-\sin 10^\circ) = 0,025;$$

$$\frac{\partial^2 M_c}{\partial \alpha^2} = -K_1 \cdot \sin \alpha = -0,24 \cdot \sin 10^\circ = -0,417;$$

$$\frac{\partial^2 M_2}{\partial \alpha^2} = -K_2 \cdot h^3 \cdot \cos \alpha = -1 \cdot 0,22^3 \cdot \cos 10^\circ = -0,0104.$$

Подставляя известные значения величин в выражения для T, K, T_1, a и др., найдем соответственно:
 $T = 0,00047$ сек; $K = 0,0590$; $T_1 = 0,252$ сек;
 $a = 0,000427$; $b = 0,06$; $d = 0,054$; $A = 0,226$;
 $B = 11$; $C = -0,001$; $\delta = -0,0018$.

Найдем выражения в скобках формулы (19):

$$[A - a \cdot \delta - bA + b\delta] = [0,226 - 0,000427 \cdot (-0,0018) - 0,06 \cdot 0,226 + 0,06(-0,0018)] = 0,2124;$$

$$[B + aC - bB - \delta C] = [11 + 0,000427(-0,001) - 0,06 \cdot 11 - 0,06 \cdot (-0,001)] = 10,33.$$

Теперь подставим все данные в (19):

$$\delta M = \frac{0,42}{0,236} (0,2124) \cdot 200\% + \left[\frac{0,2124}{-0,0014} + \frac{10,33}{0,115} \right] \cdot 0,0105 \cdot 250\% - 0,054 \cdot 5\% = 91,77\%.$$

Расчет фазовой надежности производим по формуле (22), предварительно определив по выражениям для x, z, K, N и др. входящие в нее величины:

$$x = 0,256; \quad q = 1,154; \quad z = -0,000025; \quad K = 0,147; \\ N = 10,7; \quad n = 0,81.$$

Подставляя все данные в (22), найдем:

$$\delta A_f = 261,74\%.$$

Расчет модульной и фазовой надежностей для конструкции автоматического регулятора (рис.2), произведенный аналогичным образом, дает соответственно:

$$\delta M = 45,5\% \quad \text{и} \quad \delta A_1 = 216,9\%.$$

Несмотря на большой движущий момент конструкции (рис.2), ее показатели по обеспечению автоматического регулирования оказались хуже.

Сравнение частотных характеристик (рис.3 и рис.4) дает также большие запасы устойчивости для первой конструкции.

Таким образом, для рассматриваемых устройств (не принимались во внимание дополнительные звенья, например, демпферы, которые могут существенно улучшить показатели второй конструкции) первая имеет лучшие показатели надежности автоматической работы.

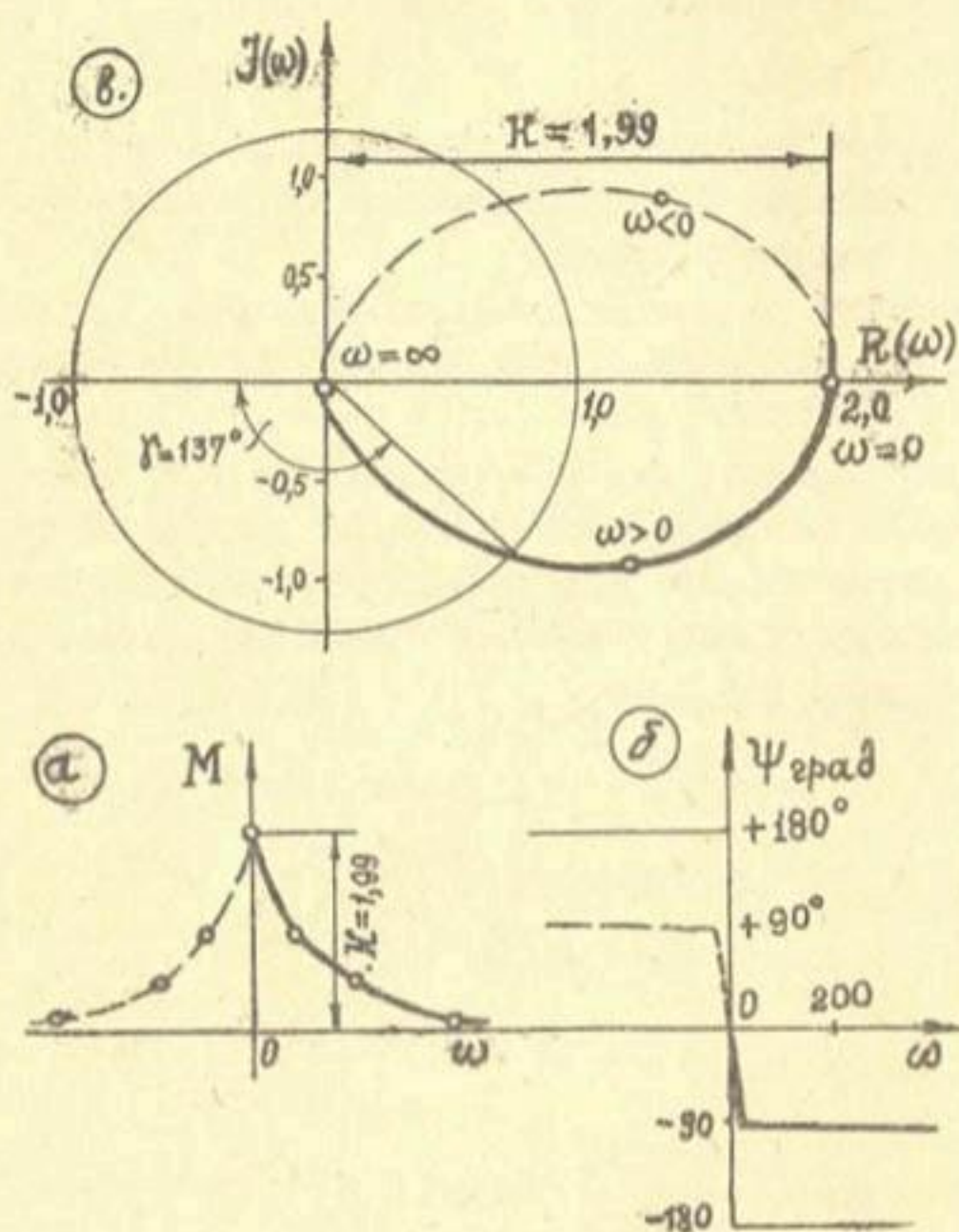


Рис.3. Частотные характеристики автоматического регулятора конструкции "Нейрпик".

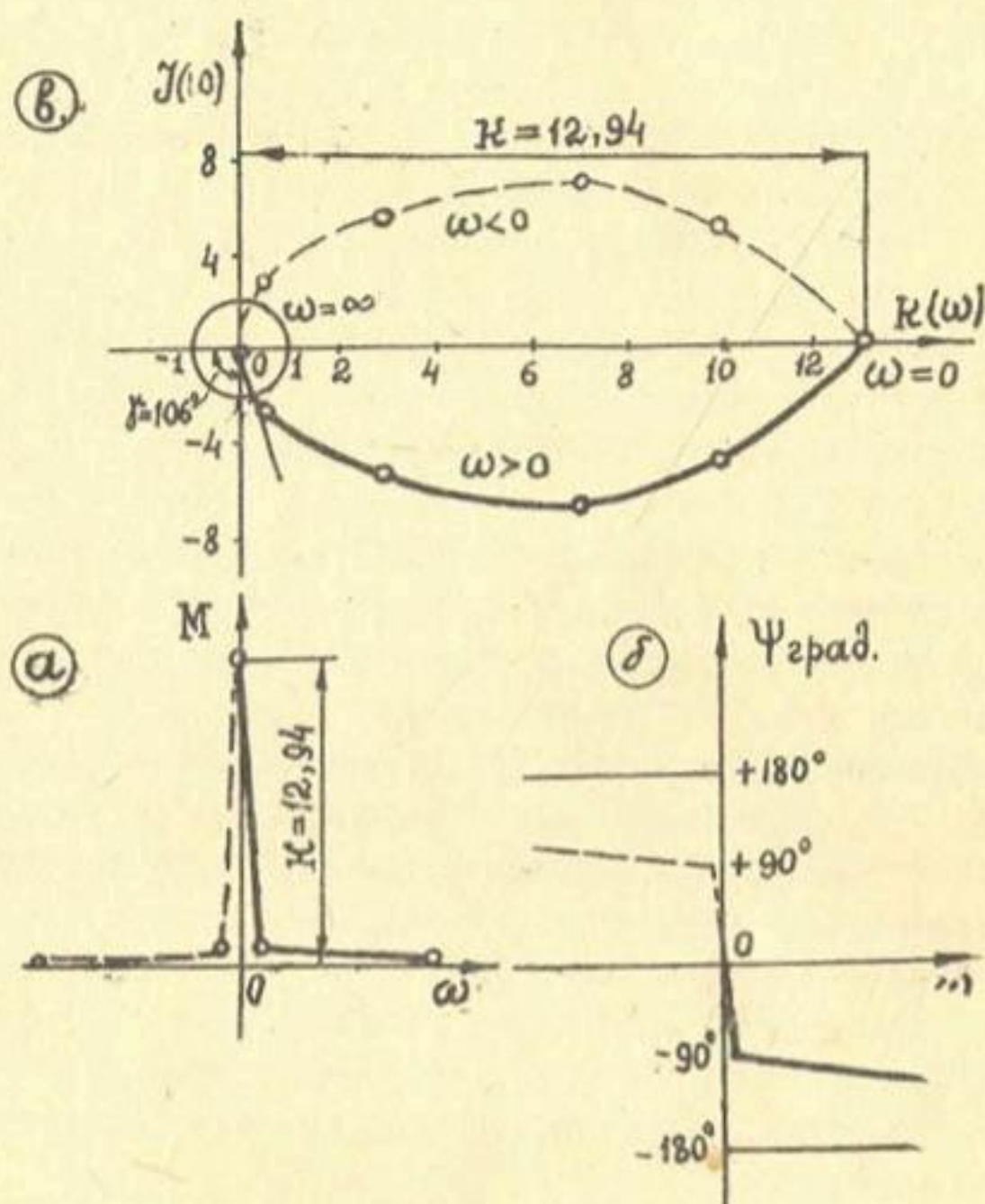


Рис. 4. Частотные характеристики автоматического регулятора с увеличенной передачей.

Р.Ю.МУСАДЖАНОВА

ВЫЯВЛЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ СВЯЗИ МЕЖДУ ГИДРАВЛИЧЕСКИМИ
И КОНСТРУКТИВНЫМИ ПАРАМЕТРАМИ ЗАТВОРОВ-АВТОМАТОВ
РАСХОДА ВОДЫ ТИПА НАКЛОННЫХ КОЗЫРЬКОВ

Совершенствование эксплуатации оросительных систем требует широкого внедрения рациональных и наиболее надежных конструкций автоматических водорегулирующих устройств гидравлического действия.

Предложено большое количество конструкций водорегулируемых автоматов, предназначенных для регулирования и распределения оросительной воды из сети. В настоящее время имеется более 700 в нашей стране и около 3000 за рубежом наименований таких автоматических водорегулирующих устройств. В основном эти устройства предназначены для выполнения следующих процессов автоматического водозабора, регулирования и распределения оросительной воды на сооружениях открытых каналов /6/:

- 1) пропуск постоянных расходов воды в отводы-водовыпуски с возможностью изменений их уставок;
- 2) поддержание постоянных уровней воды верхнего бьефа сооружений;
- 3) регулирование постоянных уровней воды нижнего бьефа сооружений;
- 4) сброс катастрофических или излишних расходов воды при достижении допустимого максимального горизонта воды верхнего бьефа сбросных или других сооружений;
- 5) смешанное регулирование — поддержание в нормальных условиях и режимах работы сооружений каналов постоянного уровня нижнего бьефа, а в случае избытка или спада расходов воды — переход от регулирования по нижнему бьефу к регулированию постоянного горизонта воды по верхнему бьефу в пределах допустимых максимальных или минимальных отметок уровня воды;

6) поддержание постоянного перепада уровней воды, непосредственно примыкающих к затвору сооружения (по способу сообщающихся уровней);

7) пропорциональное деление подходных расходов воды на сооружениях канала;

8) промывка отложившихся донных наносов на узлах гидросооружений и др.

В закрытых напорных оросительных системах кроме перечисленных операций появляются следующие дополнительные функции регулирования автоматами:

а) деление гидростатического напора воды в трубопроводах;

б) гашение или уменьшение диапазона колебания напора воды в трубопроводах (до получения в ряде случаев почти постоянной ее величины за устройством);

в) устранение гидравлических ударов в трубах и др.

Из этих автоматических водорегулирующих устройств автоматы постоянного расхода по принципу осуществления регулирования постоянного расхода воды, исходя из гидравлической формулы $Q = \mu \omega \sqrt{2gz}$, делятся на три основные группы /2, I, 4 и др./.

I. Поддерживающие постоянство действующего напора $z = const$ с неизменной рабочей площадью ω и коэффициентом расхода μ :

для $Q = \mu \omega \sqrt{2gz} = const$ в виду наличия $\omega = const$, $\mu = const$, $\sqrt{2g} = const$ необходимо еще иметь $z = const$.

II. Регулирующие рабочую площадь водопропускного отверстия обратно пропорционально корню квадратному из напора $\omega = \frac{C_1}{\sqrt{z}}$, или при изменении (учет) коэффициента расхода μ по зависимости $\omega = \frac{C_2}{\mu \sqrt{z}}$:

для $Q = \mu \omega \sqrt{2gz} = \text{const}$, так как $\mu = \text{const}$
 $\sqrt{2g} = \text{const}$, то получим $\omega = \frac{Q}{\mu \sqrt{2gz}}$ и $\omega = \frac{c_1}{\sqrt{z}}$,
 где $c_1 = \frac{Q}{\mu \sqrt{2g}}$; если μ — переменное, то
 $\omega = \frac{Q}{\mu \sqrt{2gz}}$ и имеем $\omega = \frac{c_2}{\mu \sqrt{z}}$, где $c_2 = \frac{Q}{\sqrt{2g}}$.

III. С возрастающими гидравлическими сопротивлениями при увеличении напора воды $\Sigma \ell = c_3 \cdot z$, или регулирующие коэффициент расхода обратно пропорционально корню

квадратному из напора воды $\mu = \frac{c_4}{\sqrt{z}}$ при постоянной рабочей площади отверстия ω : для $Q = \mu \omega \sqrt{2gz} = \text{const}$, так как $\omega = \text{const}$, $\sqrt{2g} = \text{const}$ и $\mu = \frac{1}{\sqrt{\Sigma \ell}}$, имеем $\Sigma \ell = \frac{\omega^2 2g}{Q^2} z$ тогда, обозначив $\frac{\omega^2 2g}{Q^2} = c_3$, получим $\Sigma \ell = c_3 z$, или $\mu = \frac{Q}{\omega \sqrt{2gz}}$, тогда, обозначив $\frac{Q}{\omega \sqrt{2g}} = c_4$, получим $\mu = \frac{c_4}{\sqrt{z}}$.

Из общей формулы гидравлики для определения расхода воды $Q = \mu \omega \sqrt{2gz}$ вытекает, что постоянный расход воды поддерживается регулированием постоянного действующего напора воды $z = \text{const}$; изменением рабочей площади водопропускного отверстия $\omega = \frac{c_1}{\sqrt{z}}$ (при необходимости с учетом коэффициента расхода μ); регулированием гидравлического сопротивления с изменением горизонтов воды верхнего бьефа или напора $\Sigma \ell = c_3 \cdot z$, или $\mu = \frac{c_4}{\sqrt{z}}$.

Возможны конструкции автоматов постоянных расходов воды, которые используют для регулирования расхода изменения комбинаций их параметров.

Для объектов автоматизации оросительных систем получили применение лишь немногие конструкции автоматов, так как они в большинстве случаев не соответствуют эксплуатационным, конструктивно-строительным и технико-экономическим требованиям /6, I и др./. Для автоматов расхода воды наиболее соответствует конструкция, сочетающая в себе элементы обычных затворов (без подвижных конструктивных стабилизирующих частей) и работающая на гидравлическом принципе переменной величины коэффициентов расхода при изменении уровней воды бьефов или напора. В этих конструкциях для регулирования и стабилизации расхода воды используют переменность местных гидравлических сопротивлений, вакуума, гидравлических свойств истечения струи потока из отверстия при изменении напора воды. Например, конструкции водовыпусков Кеннеди, модули Джибба, Альфа, Канна, автоматы В.Д.Журина, В.Я.Гладких, К.И.Лубны-Герцина, А.И.Бредиса, И.С.Меркурьева, Пенджабского института ирригации, французской фирмы "Нейрпик", автоматов, использующих завихрение потока в камерах, водовыпусков ГрузНИИГМ и др. /8/.

Известные конструкции автоматов расхода воды, разработанные в лабораториях французской фирмы "Нейрпик", Индии, Пакистана и других стран, наряду с существующими достоинствами (простота конструкции, удобство в эксплуатации и т.д.), имеют ряд недостатков, которые описаны в работах /8, 7 и др./.

Для устранения этих недостатков конструкций автоматов расхода воды в 1963-1964 гг. в лаборатории эксплуатационной гидрометрии и автоматики САНИИРИ им.В.Д.Журина к.т.н.И.Б.Хамадов и ст.н.сотр.А.А.Гартунг провели экспериментальные исследования по вариантам конструкций затворов типа одиночных и двойных козырьков.

Гидротехнические сооружения с подобными автоматами расхода воды — водовыпуски из старшего канала в отвод, выполненные из сборного железобетона и имеющие на входе ныряющие стенки, уступ для порога-водослива практического профиля и затвор-автомат, состоящий из подвижных частей в виде скользящего плоского щита, имеющего впереди наклонные козырьки, указатель расхода воды и неподвижных частей, пазов, закладных элементов, ограничителя подъема, подъемника и т.д.

Принятая конструкция порога водослива (практический профиль) позволяет подачу постоянного расхода воды автоматом независимо от колебаний уровня воды в нижнем бьефе до полного затопления гидравлическим прыжком сжатого сечения истекающей струи потока.

Для получения постоянных расходов воды в конструкциях затворов типа одиночного и двойных наклонных козырьков используется принцип возрастания гидравлических сопротивлений с увеличением уровня воды в верхнем бьефе водовыпуска.

Первоначально поток, проходящий через определенное рабочее отверстие автомата, истекает через водослив с изменением расходов воды пропорционально напору $H_g^{3/2}$; при увеличении уровня воды в верхнем бьефе через рабочее отверстие щита с пропуском расхода пропорционально $H_g^{1/2}$; а в последнем случае возрастание расхода воды на единицу увеличения H_g будет незначительным.

Обратный наклонный козырек, имеющийся в конструкции автомата, увеличивает гидравлические сопротивления потока и вертикальное сжатие струи при повышении горизонта воды в верхнем бьефе. При наличии двух наклонных козырьков с повышением уровня воды образуется "обратная компактная" струя между козырьками, которая препятствует движению основного потока в подщитовом рабочем отверстии и создает дополнительные местные гидравлические сопротивления. Поэтому увеличивается допустимый диапазон колебания глубины

воды верхнего бьефа при пропуске постоянного расхода через определенно установленное рабочее отверстие затвора-автомата (открытие).

В отличие от конструкции модулей расхода воды, разработанной французской фирмой "Нейрпик" со "ступенчатым" изменением установок постоянных расходов воды, на предлагаемых затворах-автоматах используется "плавная" регулировка установок постоянных расходов воды от минимума до максимума /9/. При этом стабилизация постоянства заданного расхода воды (в допустимых пределах менее 5%) сохраняется для каждого изменения установок нового расхода водовыпуска открытием при допустимых диапазонах колебаний уровней воды верхнего бьефа передним и затопления нижнего бьефа за автоматом.

Автоматический затвор типа одиночного и двойных наклонных козырьков нашли применение в "Типовых проектах гидротехнических сооружений на оросительных системах" - №№ 820-37, 820-99, 820-14 института "Средазгипроводхлопок" (альбомы ВР-67, РО-65, РД-65, ВКЛР-67, ВЛТ-67 и др.).

Максимальная пропускная способность унифицированных типоразмеров автоматов "РД" по расходу $Q = 0,2 + 5,6 \text{ м}^3/\text{сек}$ имеет допустимые пределы колебаний уровня воды в верхнем бьефе $\Delta H_6 = 18 + 70$ и допустимые минимальные перепады уровней воды бьефов $Z = 13 + 47 \text{ см}$.

Пропускная и регулирующая способность конструкции затвора-автомата расхода воды типа одиночного и двойных наклонных козырьков зависит от совокупности и взаимодействия его гидравлических и конструктивных параметров, которые тесно взаимосвязаны друг с другом.

При изменении габаритов элементов конструкции затвора должны соответственно изменяться допустимые диапазоны постоянных гидравлических параметров истечения из-под затвора (Q , ΔH и Z мин.).

Для проведения анализа и выбора рациональных габаритов элементов конструкции автомата, а также расчета их гидравлических параметров автомата нужно связать зависи-

мые конструктивные и гидравлические параметры затвора-автомата расхода типа наклонных козырьков. Степень зависимости параметров друг от друга можно определить теоретическими и экспериментальными исследованиями. Поэтому необходимо обоснование для выбора оптимальных и рациональных параметров конструкции, т.е. определение изменения гидравлических параметров автомата и связанных с ними расходов истечения воды при изменении выбранных габаритов самих конструктивных элементов в различных условиях и режимах работы затвора.

С этой целью попытаемся связать габариты гидравлических и конструктивных параметров для таких автоматов общей расходной зависимостью на основании уравнения Д.Бернулли.

Затвор-автомат расхода воды
с одиночным наклонным козырьком

Составим уравнение Д.Бернулли для сечения I-I и 2-2 относительно горизонтальной плоскости сравнения 0-0, проходящей по дну старшего канала, (рис. I)

$$H_8 + P + \frac{\alpha_0 V_0^2}{2g} = y + \frac{h_c \cos \delta^\circ}{2} + \frac{\alpha_c V_c^2}{2g} + h_{\text{пот}}$$

или

$$H_8 + P + \frac{\alpha_0 V_0^2}{2g} = y + \frac{h_c \cos \delta^\circ}{2} + \frac{V_c^2}{2g} (\alpha_c + \Sigma \xi), \quad (I)$$

где H_8 — глубина воды над гребнем порога;

P — высота порога;

α_0 и α_c — коэффициенты кинетической энергии (неравномерности распределения скоростей) потока;

V_0 и V_c — средние скорости движения потока для сечений I-I и 2-2 (подходная в сжатом сечении потока истечения);

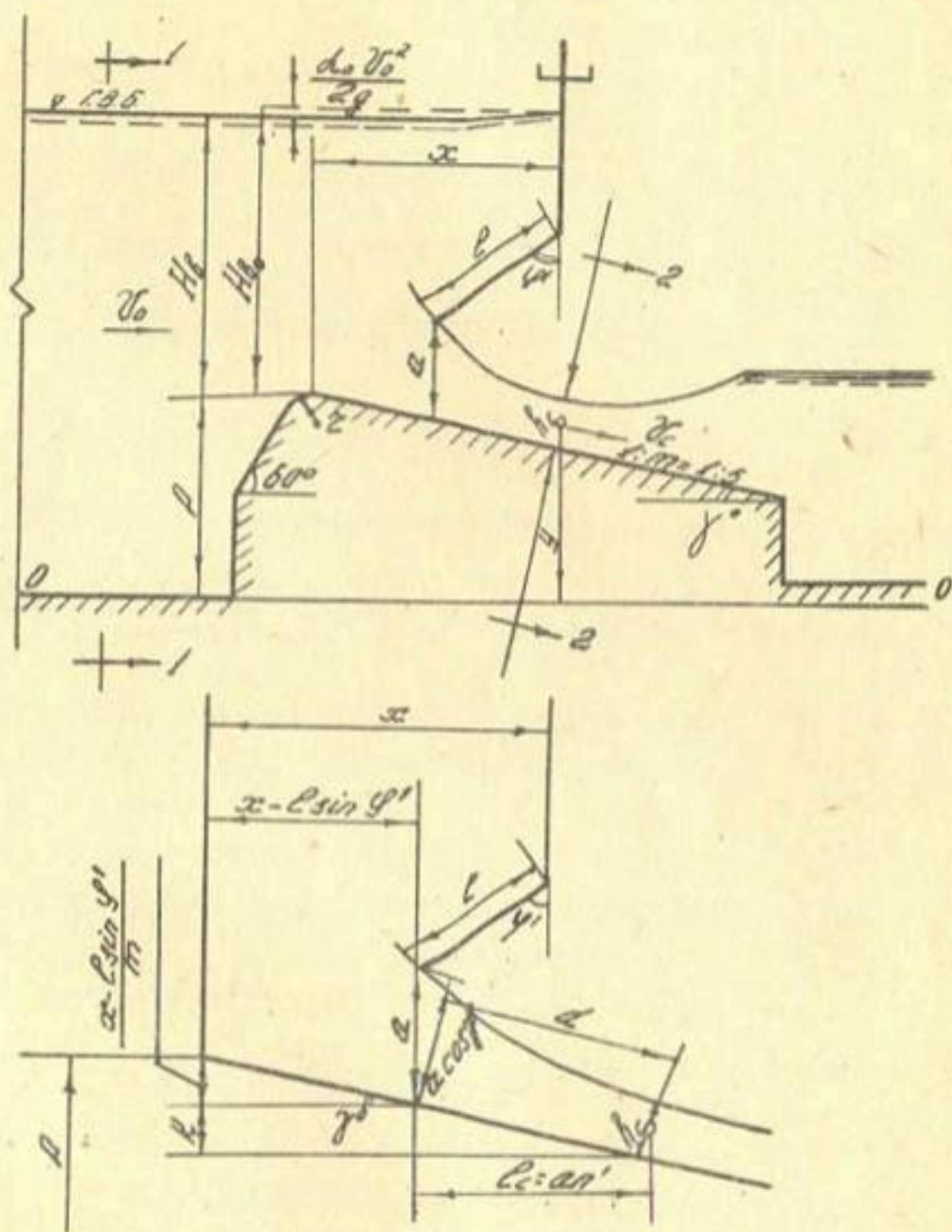


Рис. I. Гидравлическая схема работы затвора - автомата с одиночным наклонным козырьком.

y - высота положения центра тяжести сжатого сечения струи истечения потока над плоскостью сравнения 0-0;

γ^0 - угол наклона заднего откоса водоската порога к горизонтальной плоскости;

$m = \operatorname{ctg} \gamma^0$ - коэффициент откоса водоската порога;

$h_{\text{ном}} = \frac{V_c^2}{2g} (\alpha_c + \Sigma \xi)$ - потери напора воды на местные гидравлические сопротивления.

Так как $y = P - \frac{x - l \sin \varphi'}{m} - \kappa + \frac{h_c}{2} \cos \gamma^0$, $h_c = \varepsilon_s a \cos \gamma^0$,

то, подставляя их значения в уравнение (I), получим

$$H_{s_0} + \frac{x - l \sin \varphi'}{m} + \kappa - \varepsilon_s a \cos^2 \gamma^0 = \frac{V_c^2}{2g} (\alpha_c + \Sigma \xi),$$

где x - расстояние от вершины гребня водослива до плоской вертикальной части затвора по горизонтали;

l - длина наклонного козырька затвора;

ε_s - коэффициент вертикального сжатия струи;

φ' - угол наклона козырька к вертикали;

h_c - сжатия глубины на водоскате порога;

ℓ_c - длина расположения сжатого сечения струи от рабочего отверстия открытия затвора по горизонтали, которая выражается в долях его открытия, a , как величины

$$\ell_c = n'a, \quad n'a = m\kappa, \quad \text{здесь } \kappa = \frac{n'a}{m}.$$

$H_{s_0} = H_s + \frac{L_0 V_c^2}{2g}$ - глубина воды с учетом скорости потока.

$$H_{s_0} + \frac{x - l \sin \varphi'}{m} + a \left(\frac{n'}{m} - \varepsilon_s \cos^2 \gamma^0 \right) = \frac{V_c^2}{2g} (\alpha_c + \Sigma \xi)$$

или $\cos \gamma^0 = \frac{m}{\sqrt{1+m^2}}$;

то

$$V_c = \frac{1}{\sqrt{\alpha_c + \Sigma \ell}} \sqrt{2g \left[H_{\delta_0} + \frac{x - \ell \sin \varphi'}{m} + a \left(\frac{n'}{m} - \frac{\epsilon_\delta m^2}{1+m^2} \right) \right]}. \quad (2)$$

Величина расхода воды, истекающей из-под затвора, выражается в сжатом сечении струи

$$Q = b_c h_c V_c = \epsilon_\delta \cdot \epsilon_\delta b \cdot a \cdot \cos \gamma^0 \cdot V_c, \text{ так как } b_c = b \cdot \epsilon_\delta.$$

Здесь b — ширина затвора;

ϵ_δ — коэффициент бокового сжатия потока.

Подставляя зависимость (2) в вышеприведенную, получим

$$Q = \frac{m \epsilon_\delta \cdot \epsilon_\delta \varphi b a}{\sqrt{1+m^2}} \sqrt{2g \left[H_{\delta_0} + \frac{x - \ell \sin \varphi'}{m} + a \left(\frac{n'}{m} - \frac{\epsilon_\delta m^2}{1+m^2} \right) \right]},$$

где $\frac{m}{\sqrt{1+m^2}} = \cos \gamma^0$; $\mu = \epsilon_\delta \cdot \varphi$ — коэффициент расхода;

$\varphi = \frac{1}{\sqrt{\alpha_c + \Sigma \ell}}$ — коэффициент скорости;

$\epsilon_\delta, \epsilon_\delta, \varphi$ — коэффициенты вертикального, бокового сжатия и скорости.

При истечении из большого резервуара и боковом отводе можно считать $H_\delta \approx H_{\delta_0}$.

Разделив на H_δ обе стороны уравнения и обозначив $n_1 = \frac{a}{H_\delta}$, $n_x = \frac{x}{H_\delta}$, $n_\ell = \frac{\ell}{H_\delta}$, получим

$$Q = \frac{\epsilon_\delta \cdot \epsilon_\delta \varphi m n_1 b}{\sqrt{1+m^2}} \sqrt{2g \sqrt{1 + \frac{n_x - n_\ell \sin \varphi'}{m} + n_1 \left(\frac{n'}{m} - \frac{\epsilon_\delta m^2}{1+m^2} \right)}} H_\delta \cdot \sqrt{H_\delta}.$$

Если обозначим

$$M_{\text{п.коз.}} = \frac{\varepsilon_s \cdot \varepsilon_\delta \cdot \varphi \cdot m}{\sqrt{1+m^2}} \sqrt{1 + \frac{n_x - n_\ell \sin \varphi'}{m} + n_\ell \left(\frac{n'}{m} - \frac{\varepsilon_\delta m^2}{1+m^2} \right)}, \quad (3)$$

то

$$Q = M_{\text{п.коз.}} \cdot a b \sqrt{2gH_\delta}, \quad \text{или} \quad Q = M_{\text{п.коз.}} \cdot b n_\ell \sqrt{2g} H_\delta^{3/2}, \quad (4)$$

где $n_x = \frac{x}{H_\delta}$ — относительное расстояние гребня водослива от вертикальной подвижной части затвора (по горизонтали);

$n_\ell = \frac{a}{H_\delta}$ — относительное открытие затвора;

$n_\ell = \frac{\ell}{H_\delta}$ — относительная длина козырька.

Таким образом, расход воды, проходящий через рабочее отверстие затвора-автомата с одиночной наклонной стенкой, является в общем виде функцией

$$Q = f(H_\delta, b, n_x, n_\ell, m, \varphi', n_\ell, \varepsilon_s, \varepsilon_\delta, \varphi).$$

Величины $b, \varphi', n_x, n_\ell, m, n_{\ell, \text{макс.}}, n_{\ell, \text{мин.}}$ для выбранных $H_{\ell, \text{макс.}} = H_{\ell, \text{мин.}} = \Delta H_{\text{доп.}}$ назначаются конструктивным выбором оптимальных габаритов на основании анализа рациональных вариантов конструкции затвора-автомата. Постоянный расход воды с максимальными допустимыми диапазонами уровня воды в верхнем бьефе и затоплением нижнего бьефа можно получить значительной переменчивостью гидравлических параметров $\varphi, \varepsilon_s, \varepsilon_\delta$. Этому способствует выбор такой конструкции затвора-автомата, который имеет наиболее рациональные габариты и местоположения элементов относительно гребня потока.

Затвор-автомат расхода воды
с двойными наклонными козырьками

Уравнение Д. Бернулли для сечений I-I и 2-2 относительно горизонтальной плоскости сравнения 0-0, проходящей по дну старшего канала, будет иметь вид (рис. 2)

$$H_8 + P + \frac{\alpha_0 V_0^2}{2g} = y + \frac{h_c \cos \delta^\circ}{2} + \frac{\alpha_c V_c^2}{2g} + h_{\text{пот.}} \quad (5)$$

Величину $P - y$ выражаем через геометрические величины

$$P - y = \frac{x + \delta - \ell \sin \varphi}{m} + \frac{n'a}{m} - \frac{h_c \cos \delta^\circ}{2}, \quad (6)$$

где ℓ и φ — длина и угол заднего наклонного козырька;

с другой стороны

$$P - y = \Delta \ell + \ell \cos \varphi' + \frac{\Delta \delta \sin \beta_0}{\cos(\varphi' - \beta_0)} + a + \frac{n'a}{m} - \frac{h_c \cos \delta^\circ}{2} - H_8, \quad (7)$$

где $\delta, \Delta \delta$ — расстояния между козырьками в верхней и нижней части затвора;

β_0 — угол между линиями, соединяющими нижние кромки козырьков, и горизонталью.

Зависимости (6) и (7) умножаем на значение $\frac{1}{2}$

$$\frac{P - y}{2} = \frac{1}{2} \left(\frac{x + \delta - \ell \sin \varphi}{m} + \frac{n'a}{m} - \frac{h_c \cos \delta^\circ}{2} \right).$$

$$\frac{P - y}{2} = \frac{1}{2} \left(\Delta \ell + \ell \cos \varphi' + \frac{\Delta \delta \sin \beta_0}{\cos(\varphi' - \beta_0)} + a + \frac{n'a}{m} - \frac{h_c \cos \delta^\circ}{2} - H_8 \right).$$

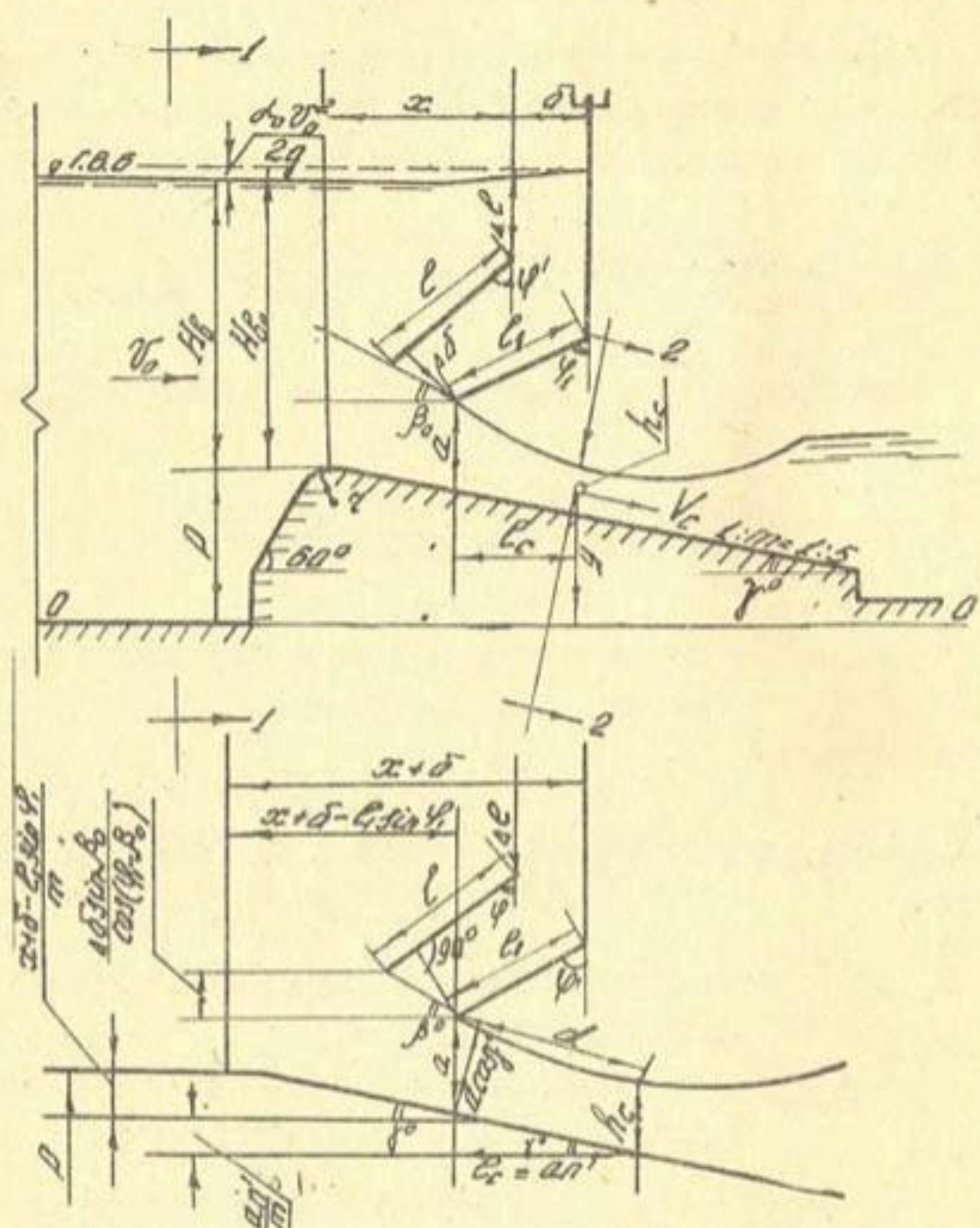


Рис.2. Гидравлическая схема работы затвора-автомата с двойными наклонными козырьками.

После их суммирования получим

$$P-y = \frac{x+\delta-l\sin\varphi}{2m} + \frac{n'a}{m} + \frac{\Delta l}{2} + \frac{l\cos\varphi'}{2} + \frac{\Delta\delta\sin\beta_0}{2\cos(\varphi'-\beta_0)} + \frac{a}{2} -$$

$$- \frac{h_c\cos\gamma^0}{2} - \frac{H_\delta}{2}.$$

Значение разности $P-y$ подставим в уравнение Бернулли (5)

$$H_\delta + \frac{x+\delta-l\sin\varphi}{2m} + \frac{\Delta l}{2} + \frac{l\cos\varphi'}{2} + \frac{\Delta\delta\sin\beta_0}{2\cos(\varphi'-\beta_0)} + \frac{a}{2} + \frac{n'a}{m} -$$

$$- \frac{h_c\cos\gamma^0}{2} - \frac{H_\delta}{2} + \frac{\alpha_0 V_c^2}{2g} = \frac{h_c\cos\gamma^0}{2} + \frac{V_c^2}{2g} (\alpha_0 + \Sigma\ell).$$

Отсюда находим

$$V_c = \frac{1}{\sqrt{\alpha_0 + \Sigma\ell}} \sqrt{2g \left[\frac{H_\delta}{2} + \frac{x+\delta-l\sin\varphi}{2m} + \frac{\Delta l}{2} + \frac{l\cos\varphi'}{2} + \frac{\Delta\delta\sin\beta_0}{2\cos(\varphi'-\beta_0)} + \right.}$$

$$\left. + a\left(\frac{1}{2} + \frac{n'}{m}\right) - h_c\cos^2\gamma^0 \right], \quad (8)$$

где $h_c = \varepsilon_\delta \cdot a \cdot \cos\gamma^0$.

Расход воды, истекающий из-под затвора, определяется в сжатом сечении

$$Q = b_c \cdot h_c \cdot V_c = b_c \cdot \varepsilon_\delta \cdot a \cdot \cos\gamma^0 \cdot V_c,$$

где $b_c = \varepsilon_\delta \cdot b$;

b — ширина затвора.

После подстановки зависимости (8) имеем

$$Q = \varepsilon_\delta \cdot \varepsilon_\delta \cdot b a \cdot \cos\gamma^0 \sqrt{2g \left[\frac{H_\delta}{2} + \frac{x+\delta-l\sin\varphi}{2m} + \frac{\Delta l}{2} + \right.}$$

$$\left. + \frac{l\cos\varphi'}{2} + \frac{\Delta\delta\sin\beta_0}{2\cos(\varphi'-\beta_0)} + a\left(\frac{1}{2} + \frac{n'}{m}\right) - \varepsilon_\delta \cdot a \cdot \cos^2\gamma^0 \right]}. \quad (9)$$

Обозначив $n_\delta = \frac{\delta}{H_B}$, $n_{\delta\delta} = \frac{\Delta\delta}{H_B}$, $n_\ell = \frac{\ell}{H_B}$, $n_{\Delta\ell} = \frac{\Delta\ell}{H_B}$

(остальные обозначения известны из предыдущей части изложения), получим следующую расходную зависимость

$$Q = \frac{\varepsilon_\delta \cdot \varepsilon_B \cdot \varphi \cdot m \cdot n_\ell \cdot b}{\sqrt{1+m^2}} \cdot \sqrt{2g} \cdot \sqrt{\frac{1}{2} + \frac{n_x + n_\delta - n_\ell \sin \varphi}{2m}} + \quad (10)$$

$\frac{n_{\Delta\ell}}{2} + \frac{n_\ell \cos \varphi'}{2} + \frac{n_{\delta\delta} \cdot \sin \beta_0}{2 \cos(\varphi' - \beta_0)} + n_\ell \left(\frac{1}{2} + \frac{n'}{m} - \frac{\varepsilon_\delta m^2}{1+m^2} \right) H_B \sqrt{H_B}$,
 где $n_{\delta\delta} = \frac{\Delta\delta}{H_B}$, $n_\delta = \frac{\delta}{H_B}$ — относительные расстояния между козырьками в нижней и верхней части затвора;
 $n_\ell = \frac{\ell}{H_B}$, $n_\ell' = \frac{\ell'}{H_B}$, φ' , φ — относительная длина заднего и переднего козырька и углы их наклона;
 $n_{\Delta\ell} = \frac{\Delta\ell}{H_B}$ — относительное превышение горизонта воды верхнего бьефа над верхней кромкой переднего козырька.

Обозначив

$$M_{2 \text{ коз.}} = \frac{\varepsilon_\delta \cdot \varepsilon_B \cdot \varphi \cdot m}{\sqrt{1+m^2}} \cdot \sqrt{\frac{1}{2} + \frac{n_x + n_\delta - n_\ell \sin \varphi}{2m}} + \frac{n_{\Delta\ell}}{2} + \quad (11)$$

$$+ \frac{n_\ell \cos \varphi'}{2} + \frac{n_{\delta\delta} \cdot \sin \beta_0}{2 \cos(\varphi' - \beta_0)} + n_\ell \left(\frac{1}{2} + \frac{n'}{m} - \frac{\varepsilon_\delta m^2}{1+m^2} \right),$$

получим

$$Q = M_{2 \text{ коз.}} \cdot a \cdot b \sqrt{2g H_B} \text{ или } Q = M_{2 \text{ коз.}} \cdot n_\ell \cdot b \sqrt{2g H}^{\frac{3}{2}}. \quad (12)$$

Таким образом, расход воды, проходящей через автоматический затвор с двойными наклонными козырьками, в общем виде представляет собой функцию

$$Q = f(H_B, b, n_\ell, n_x, n_\ell, n_\ell', n_\delta, n_{\delta\delta}, \varphi, \varphi', n_{\Delta\ell}, m, \varepsilon_B, \varepsilon_\delta, \beta_0).$$

Величины $\delta, n_x, n_l, n_e, n_d, n_{\delta}, n_{\delta l}, m,$

$\varphi', \varphi, n_{\text{пакс}}, n_{\text{мин.}}$ для выбранных

$H_{\text{в. макс}} - H_{\text{в. мин}} = \Delta H_{\text{в}}$ назначаются конструктивным выбором оптимальных габаритов на основании анализа рациональных вариантов конструкции затвора-автомата. Стабилизирующийся расход воды с максимальными допустимыми диапазонами изменения уровня воды в верхнем бьефе и затопления нижнего бьефа достигаются значительной переменчивостью гидравлических параметров $\varphi, \varepsilon_{\delta}, \varepsilon_{\delta l}$.

Истечение потока через определенное рабочее отверстие затвора-автомата (открытие) типа двойных наклонных козырьков происходит так, что истечение через автомат с одиночным наклонным козырьком является частным случаем первого. Таким образом, истечение через отверстие автомата с двойными козырьками может иметь три случая.

Первый случай происходит при незначительной глубине уровня воды в верхнем бьефе, когда уровень не достигает нижних кромок козырьков. При этом поток протекает через отверстие как через водослив, расход воды которого определяется по формуле

$$Q = m B \sqrt{2g} H_{\text{в}}^{3/2},$$

где m — коэффициент расхода воды зависит от формы порога водослива.

Затем при увеличении горизонта воды в верхнем бьефе, когда уровень воды "касается" нижней кромки наклонного козырька, истечение через водослив скачкообразно переходит к истечению из-под щита. Переходное состояние зависит от коэффициентов расхода как затвора $m_{\text{щ}}$, так и водослива m . Как теоретические, так и экспериментальные предпосылки показывают, что такое переходное состояние должно быть на пересечении кривых расходов воды в зависимости от глубины $H_{\text{в}}$ для определенного отверстия затвора и перелива через водослив

$$Q = M_{\text{ш}} \cdot a \cdot b \sqrt{2gH_8} \quad (\text{для затвора}),$$

$$Q = m b \sqrt{2gH_8}^{3/2} \quad (\text{для водослива}).$$

Если возьмем их отношение, то

$$1 = \frac{M_{\text{ш}} \cdot a}{m H_8} \quad \text{или} \quad H_8 = \frac{M_{\text{ш}} \cdot a}{m}.$$

Второй случай — горизонт воды в верхнем бьефе колеблется в диапазоне длины переднего наклонного козырька. Конструкция работает как автомат с одним наклонным козырьком. Поток истекает из-под первого наклонного козырька и расход воды определяется по зависимости

$$Q = M_{1\text{коз}} \cdot a \cdot b \sqrt{2gH_8},$$

где $M_{1\text{коз}}$ — коэффициент расхода затвора-автомата с одиночным наклонным козырьком.

При этом для кривой $Q = f(H_8, a)$ имеются точки, когда для одного Q имеется два значения H_8 , одно — для проходного режима, другое — при истечении из-под щита.

Третий случай при повышении уровня воды верхнего бьефа над верхней кромкой переднего козырька и поток, переливаясь, создает сопротивление движению основного потока. Конструкция в этом случае работает как автомат с двумя наклонными козырьками. Расход воды определяется по зависимости

$$Q = M_{2\text{коз}} \cdot a \cdot b \sqrt{2gH_8},$$

где $M_{2\text{коз}}$ — коэффициент расхода затвора-автомата с двойными наклонными козырьками.

При этом для кривой $Q = f(H_8, a)$ имеются точки, когда для одного значения Q имеются три значения H_8 : одно — для переходного участка, второе — при работе зат-

вора как одиночного козырька и третье — при работе затвора с двумя наклонными козырьками.

Выведенные зависимости (9), (10) для определения расхода воды, истекающего из-под затвора-автомата с двойными наклонными козырьками, имеют вид формулы

$$Q = \frac{\varepsilon_s \cdot \varepsilon_b \cdot \gamma m a b}{\sqrt{1+m^2}} \sqrt{2g \left[\frac{H_b}{2} + \frac{x+\delta-l_i \sin \gamma_i}{2m} + \frac{\Delta l}{2} + \right.} \quad (13)$$

$$\left. + \frac{l \cos \gamma'}{2} + \frac{\Delta \delta \sin \beta_0}{2 \cos(\gamma' - \beta_0)} + \frac{a}{2} + \frac{a n'}{m} - \frac{a \varepsilon_b m^2}{1+m^2} \right],$$

которая является универсальной и характеризует все случаи истечения потока (до переходного режима как через водослив из-под затвора с одним наклонным козырьком и из-под затвора с двумя). Например, если отсутствует передний козырек, то величина

$$\frac{\Delta l}{2} + \frac{l \cos \gamma'}{2} + \frac{\Delta \delta \sin \beta_0}{2 \cos(\gamma' - \beta_0)}, \text{ которую можно изобразить}$$

величиной $\frac{1}{2} \left(H_b + \frac{x+\delta-l_i \sin \gamma_i}{m} \right)$, а расстояние $x+\delta$

можно просто обозначить x , тогда зависимость (13) для определения расхода Q превратится в зависимость для конструкции автомата с одним козырьком и примет вид зависимости

$$Q = \frac{\varepsilon_s \cdot \varepsilon_b \cdot m \gamma a b}{\sqrt{1+m^2}} \sqrt{2g \left[H_b + \frac{x-l_i \sin \gamma_i}{m} + \frac{a n'}{m} - \frac{a \varepsilon_b m^2}{1+m^2} \right]} \quad (13a)$$

или

$$Q = M_{\text{коз}} \cdot a \cdot b \sqrt{2g H_b} \cdot \cdot$$

При отсутствии козырьков зависимость (13) превращается в зависимость для определения расхода, истекающего через водослив $Q = m b \sqrt{2g} H^{3/2}$.

Выведенная формула (13) для определения расхода Q является универсальной как и ее коэффициент расхода M , т.е. зависимость можно использовать при определении пропускной способности автоматов расхода как с двойным наклонным козырьком, так и с одиночным. Данная формула позволяет произвести анализ по выбору оптимальных габаритов и рациональной конструкции автоматов.

Такие уравнения можно составить для автоматов с количеством " n " козырьков, т.е. более двух и проанализировать его " n "-ных случаев истечения потока из-под затвора-автомата.

В ы в о д ы

1. Выведенные зависимости (3), (4) и (II), (I2) для определения величины расхода истечения воды Q и величины коэффициента расхода M — основные зависимости, связывающие конструктивные и гидравлические параметры между собой для конструкций автоматов расходов типа одиночного и двойного наклонных козырьков.

2. Зависимости могут быть использованы для сравнения рациональных вариантов конструкций затворов-автоматов и выбора оптимальных габаритов конструктивных элементов.

3. Для получения максимальных допустимых диапазонов изменения уровней воды в старшем канале со стабилизацией постоянных расходов воды с помощью рациональной конструкции вариантов автомата расхода необходимо наиболее полно использовать значительную переменчивость гидравлических параметров $\varphi, \varepsilon_g, \varepsilon_d$.

4. Применяя уравнения Д.Бернулли можно получить зависимости по определению пропускной способности затворов-автоматов расхода с n -ным количеством наклонных козырьков и проанализировать его n -ные случаи истечения потока из-под затвора.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бутырин М.В. Водомеры для колхозной и межколхозной ирригационной сети, Тр.САНИИРИ, вып.60, Ташкент, Узгосиздат, 1941.
2. Журип В.Д. Мелкие водовыпуски, ж."Вестник ирригации", Ташкент, 1934, № 8,9.
3. Маковский Э.Э. Гидротехнические регуляторы уровней воды, "Гидротехника и мелиорация", М., 1968, № 8.
4. Меркурьев И.С. Автореферат канд.диссертации, М., 1957.
5. Мусаджанова Р.Ю. Связь между гидравлическими и конструктивными параметрами затворов-автоматов расхода воды типа одиночных и двойных наклонных козырьков, Тезисы докладов научно-производственной конференции молодых специалистов водного хозяйства, Изд-во "Фан", Ташкент, 1968.
6. Хамадов И.Б., Хамадова Н.Ш. К вопросам истории развития автоматических водорегулирующих устройств их классификация и их выбор, "Вопросы гидротехники", вып.16, Изд-во АН УзССР, Ташкент, 1963.
7. Хамадов И.Б., Гартунг А.А. Устройства гидравлической автоматики для регулирования расходов и горизонтов воды, "Вопросы гидротехники", вып.32, Ташкент, 1968.
8. Хамадов И.Б., Гартунг А.А. Автоматические затворы с постоянным расходом воды для водовыпусков оросительных каналов, "Гидротехника и мелиорация", М., 1966, № 8.
9. Хамадов И.Б., Гартунг А.А., Литван Л.С., Ом Л.А. Устройства для регулирования постоянных расходов воды в каналах, Автор,свид.на изобретения № 168025 (заявка от 19/УШ-1968 г.).

Ф.А.ХАЛИН

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРИТЕРИЯ СРАВНИТЕЛЬНОЙ
ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ ТЕЛЕУПРАВЛЕНИЯ
И ТЕЛЕКОНТРОЛЯ НА ОБЪЕКТАХ МЕЛИОРАЦИИ И ВОДНОГО ХОЗЯЙСТВА

Системы телеуправления и телеконтроля на объектах мелиорации и водного хозяйства с каждым годом получают все большее применение. В настоящее время существует острая необходимость включения в системы телеуправления и телеконтроля еще сотен и тысяч объектов, расположенных на огромных пространствах.

Для передачи телеинформации между объектами управления и контроля применяются следующие основные способы: передача информации по воздушным проводным линиям связи, подземным кабельным линиям, распределительным силовым сетям (линии электропередачи 6-10 кв) и по радиоканалам.

Вопрос о наиболее целесообразных в технико-экономическом смысле способах связи между объектами в мелиорации и водном хозяйстве остается открытым.

При этом следует отметить, что вопрос рационального построения структур сетей телеинформации и аппаратурных устройств исполнительных и диспетчерских пунктов недостаточно разработан.

Создаваемые системы телеуправления и телеконтроля требуют больших материальных затрат и, поэтому построение структур систем, выбор технических средств и сравнительная оценка различных по своему характеру систем должны быть основаны технико-экономическими критериями.

Система телеуправления и телеконтроля объединяет в основном две составляющие: аппаратуру телеуправления и телеконтроля (ТУ-ТС), расположенную на конечных пунктах, и различного вида каналы связи между ними. Для этих разнохарактерных по своему назначению и действию, но единых по своей физико-технической сущности, составляющих может быть применен единый, обобщенный экономический критерий сравнительной эффективности.

Наиболее характерной особенностью систем телеуправления и телеконтроля с точки зрения выработки критерия их функционирования является наличие такого важного технико-экономического фактора, как надежность работы систем.

Экономический ущерб, возникающий в результате отказов элементов и устройств системы, может достигать значительных величин, а при низком уровне надежности за период расчетного срока службы может превосходить стоимость их в несколько раз.

Наблюдения за действующими в условиях Средней Азии и Южного Казахстана системами на объектах мелиорации и водного хозяйства показали, что наиболее ненадежной составляющей системы является сеть каналов связи при стоимости их, превышающей стоимость аппаратурной части. Средняя "цена отказа" проводного канала связи превышает тот же показатель аппаратурной части системы на исполнительных пунктах. Общий экономический ущерб в результате ненадежности каналов связи значительно выше ущерба от ненадежности аппаратуры. Поэтому при анализе сравнительной экономической эффективности в первую очередь рассматривается вопрос сопоставления различных видов проводных каналов связи.

Исследование эксплуатационной надежности проводных каналов связи позволило применить некоторые положения общей теории надежности, подобно тому как это сделано для аппаратурных элементов устройств. Решен вопрос об определении средней интенсивности отказов элементов проводных линий связи — λ_{cp} .

За основу оценки функционирования системы принимается ее эффективность, т.е. функция частных характеристик или параметров ее, которая для систем телеуправления и телеконтроля может быть выражена

$$J = F(K, Z_n, \rho_p, \rho_m, \rho_z, W, L, \Lambda, T_g \text{ и т.д.}), \quad (I)$$

где K — капиталовложения, соответствующие приобретению, монтажу и наладке системы;

Z_n - затраты на проектирование;

W - потери в результате ненадежности функционирования;

Λ - надежность работы системы;

$T_{\text{в}}$ - время восстановления системы и т.д.

Данное уравнение - обобщенный критерий функционирования системы. Наиболее трудной задачей синтеза обобщенного критерия является приведение чисто технических характеристик системы (помехоустойчивость, дальность передачи и др.) к денежному выражению.

Но при условии учета только наиболее существенных характеристик задача определения критерия может быть решена.

За основу обобщенного экономического критерия может быть принята формула приведенных затрат, представленная в "Типовой методике определения экономической эффективности капитальных вложений" [1]:

$$C_i + E_n \cdot K_i = \text{минимум или } K_i + T_n \cdot C_i = \text{минимум,} \quad (2)$$

где K_i - капитальные вложения по каждому варианту, руб;

C_i - себестоимость продукции (эксплуатационные расходы) за год по тому же варианту, руб/год;

E_n - отраслевой нормативный коэффициент сравнительной экономической эффективности, 1/год;

T_n - отраслевой нормативный срок окупаемости, год.

Критерий, построенный по этой формуле, должен учитывать экономический ущерб от ненадежности работы элементов системы. Принцип построения критерия с учетом единовременных капиталовложений, эксплуатационных затрат и потерь в результате ненадежности элементов систем был предложен чл.-корр. АН СССР Б.С.Сотсковым для приборов и устройств автоматики ("Методика расчета (оценки), надежности при проектировании устройств и систем автоматического управления", М., 1966).

Экономический ущерб в результате ненадежности работы элементов системы может быть учтен с помощью известного в литературе критерия средних материальных потерь, полученного

на основе теоремы Н.Н. Колмогорова и Ю.В. Прохорова о суммах случайного числа случайных слагаемых, который для частного случая простейшего потока отказов каждого элемента системы и экспоненциальной функции распределения затрат в результате одного отказа имеет вид

$$\text{СП} = \sum_{j=1}^n \rho_y \lambda_j t, \quad (3)$$

где ρ_y — средняя величина затрат на один отказ;
 λ_j — параметр потока отказов j -го элемента;
 t — расчетный промежуток времени.

Экономический ущерб в результате отказов элементов каналов связи и аппаратуры может быть определен по критерию средних потерь, предложенному Г.А. Шастовой и, применительно к системам телеуправления и телеконтроля, имеющему вид

$$\text{СП} = \sum_{j=1}^n \lambda_j \omega_j + \omega_0, \quad (4)$$

где n — число возможных типов отказов в единицу времени;
 λ_j — интенсивность отказов j -го типа;
 ω_j — средние потери, обусловленные отказом j -го типа;
 ω_0 — расходы в ед. времени на техническое обслуживание общего порядка.

Таким образом, приняв за основу критерия сравнительной экономической эффективности систем телеуправления и телеконтроля методические установки "Типовой методики" и принципы построения критерия, предложенные Б.С. Сотсковым, получаем формулу критерия сравнительной оценки элементов аппаратуры и каналов связи в развернутом виде:

$$\text{ПЗ} = (T_{\text{несок}}) = K + Z_n + A_{\text{год}} \cdot T_{\text{несок}} + O_{\text{тех}} \cdot T_{\text{несок}} + B \cdot T_{\text{несок}} + П \cdot T_{\text{несок}} \text{ руб. min}, \quad (5)$$

$$(\text{при } T_{\text{несок}} \leq T_{\text{несог}})$$

- где K - капитальные затраты на материалы, строительство, монтаж и наладку устройств аппаратуры и каналов связи, руб;
- $З_n$ - затраты на проектирование единицы длины линии связи или единицы устройства аппаратуры, руб;
- $A_{\text{год}}$ - годовые амортизационные отчисления, исчисляемые по действующим нормам амортизации, руб/год;
- $Q_{\text{тех}}$ - расходы на обслуживание при текущей эксплуатации и административно-управленческие расходы, руб/год;
- B - затраты (потери) на восстановительные ремонтные работы, связанные с устранением отказов, руб/год.

$$B = \rho_{\theta} \cdot \lambda_{\text{ср}}, \quad (6)$$

- где ρ_{θ} - средняя стоимость восстановительных работ в результате одного отказа, руб;
- $\lambda_{\text{ср}}$ - средняя интенсивность отказов элементов аппаратуры или каналов связи, 1/год;
- Π - потери за счет убытков в технологическом процессе в результате ненадежности элементов системы, руб/год.

$$\Pi = \rho_{\gamma} \cdot \lambda_{\text{ср}}, \quad (7)$$

- где ρ_{γ} - средняя стоимость потерь в технологическом процессе в результате одного отказа, руб;
- $T_{\text{нрок}}$ - нормативный срок окупаемости капиталовложений, год; (для мелиорации и водного хозяйства $T_{\text{нрок}} = 7-10$ лет);
- $T_{\text{нсао}}$ - нормативный срок амортизационных отчислений, год.

Сумма потерь при одном отказе ($\rho_{\theta} + \rho_{\gamma}$) составляет среднюю стоимость потерь при одном отказе ("цена отказа"). Так как обычно $\rho_{\theta} \ll \rho_{\gamma}$, то средняя "цена отказа" принимается $\Pi_{\text{ср}} \approx \rho_{\gamma}$.

Формула критерия сравнительной экономической эффективности за период нормативного срока окупаемости капиталовложений может быть преобразована в формулу экономической

эффективности за годовой период с помощью коэффициента сравнительной экономической эффективности $E_{\text{неок}}$

$$\Pi_{3(\text{год})} = K \cdot E_{\text{неок}} + 3 \cdot E_{\text{неок}} + A_{\text{год}} + Q_{\text{тек}} + B + \Pi, \text{ руб/год, млн.} \quad (8)$$

В формулах (5,8) предполагается, что эксплуатационные затраты распределяются равномерно по годам, а затраты на строительство, монтаж, наладку и проектирование производятся однократно и дают немедленный результат.

Поскольку для распределения среднего времени между отказами устройств ТУ-ТС и каналов связи принято применяют экспоненциальный закон, то и средняя интенсивность отказов ($\lambda_{\text{ср}}$) распределяется по годам равномерно.

Учитывая вероятностную форму задания некоторых характеристик, критери сравнительной оценки формулируется как минимум математического ожидания затрат.

Все параметры (частные характеристики) элементов устройств или систем, находящихся в эксплуатационных условиях, можно разделить на две группы: с постоянной величиной параметров ($K, 3_n, A_{\text{год}}, Q_{\text{тек}}, \lambda_{\text{ср}}$) и с переменной величиной — C_y . При этом эффективность элементов устройств и систем можно представить в виде линейной функции с одним аргументом (C_y), что значительно упрощает задачу сравнительной оценки элементов устройств, составляющих систему.

Действительно, формулы (5,8) критерия можно представить в виде уравнения прямой (уравнения с угловым коэффициентом)

$$y = \alpha x + \beta, \quad (9)$$

- где α — тангенс угла α , образованного прямой с положительным направлением оси абсцисс (соответствует величине $\lambda_{\text{ср}}$);
 β — величина, соответствующая значению постоянной части критерия ($K + 3_n + A_{\text{год}} + Q_{\text{тек}} + B$);
 x — величина, соответствующая значению переменной части критерия (C_y).

При этом сравниваемые между собой элементы (варианты) можно графически представить в виде семейства прямых, что позволяет производить сравнение наглядно. Возможность группового сравнения различных элементов — преимущество формулы полных затрат перед формулой окупаемости капиталовложений. Если формула окупаемости дополнительных капиталовложений используется для сравнения лишь двух вариантов (при условии, когда новая техника относительно дороже действующей), то формула полных затрат позволяет вводить в сравнение любое количество вариантов.

При групповом сравнении элементов устройств или систем минимальная величина полных затрат при определенном значении аргумента C_y указывает на наиболее эффективный элемент в технико-экономическом смысле. Поэтому критерий полных затрат за период нормативного срока окупаемости капиталовложений является критерием оптимальности применения элементов различных технических средств.

На рис. I представлен график сравнительной оценки вариантов (видов) проводных линий связи по формуле критерия полных затрат за нормативный срок окупаемости капиталовложений (в ирригации $T_{нрок} = 7$ лет). Сопоставление показывает, что каждый из вариантов имеет свою зону выгодности применения в зависимости от величины средней "цены отказа" C_y .

При сравнении вариантов (элементов), отличающихся величиной производительности, что имеет место у элементов систем за счет различных потерь в результате их ненадежности, "Типовой методикой" рекомендуется приводить сравниваемые варианты в сопоставимый вид. Но единой методики для сравнения вариантов с разной производительностью — нет, для этого используется имеющийся в литературе метод определения экономической эффективности при различной производительности исчислением удельных полных затрат, приходящихся на единицу продукции:

$$\omega_{уд} = \frac{ПЗ}{ПЗ + ДД - W} \quad (10)$$

где ДД — дополнительный доход;
 W — материальные потери в результате ненадежности элемента системы;

$\mathcal{Z}_0 = \text{ПЗ} + \text{ДД}$ — идеальный эффект элемента системы.

Числитель формулы выражает полные затраты на элемент системы за расчетный период, знаменатель — производительность элемента в денежных единицах.

На рис. 2 представлен график сравнительной оценки вариантов проводных линий связи по формуле (10) критерия удельных полных затрат за период нормативного срока окупаемости капиталовложений ($T_{\text{нрок}} = 7$ лет).

Сравнение результатов, полученных по формулам (5, 8 и 10) при общем аргументе C_y показывает, что величина производительности элементов системы в пределах практического применения существенно не влияет на результаты сравнения и, поэтому оценка экономической эффективности может проводиться с учетом только средних потерь при одном отказе C_y по формулам полных затрат (5, 8) при выполнении условия экономической целесообразности применения элементов систем:

$$\mathcal{Z}_n \geq C_i + E_n \cdot K_i \text{ или } \mathcal{Z}_n \geq K_i + T_n \cdot C_i, \quad (\text{II})$$

где $\mathcal{Z}_n$ — производительность элемента системы в денежном выражении.

Критерий полных затрат за период нормативного срока окупаемости капиталовложений позволяет, сопоставляя количественные технико-экономические данные, проводить сравнение между элементами и простыми устройствами систем телеуправления и телеконтроля, оснащенными различного типа устройствами и каналами связи, а также дает основу для построения математической модели функционирования сложных (больших) систем.

ЛИТЕРАТУРА

1. Типовая методика определения экономической эффективности капитальных вложений, М., 1969.
2. Б.С.Сотсков. К вопросу о технико-экономической оценке приборов или устройств при их выборе для схем автоматического управления. "Приборостроение", М., 1962, № 5.
3. Консон А.С. Экономика электротехнической промышленности М., 1966.

В.М.МАСЛЕННИКОВ

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ БИОЛОГИИ ХЛОПЧАТНИКА
ПРИ ОРОШЕНИИ ДОЖДЕВАНИЕМ

Данная статья анализирует обобщенные научные материалы, собранные сотрудниками НИСТО с 1950 по 1961 гг. В ней освещается взаимосвязь малоизученных вопросов биологического развития хлопчатника при дождевании в различных мелиоративных условиях Узбекистана (к/з им.Кирова Самаркандской области, х/с "Пахта-Арал", Баяут № I Сырдарьинской области). Новизна и актуальность дождевания хлопчатника в условиях Средней Азии вызвали к нему повышенный интерес.

Необходимо было выяснить затраты оросительной воды, водопотребление, развитие корневой системы и установить особенности основных фаз развития хлопчатника. Изучить структуру продуктивного плодоношения, процесс опыления цветов хлопчатника, опадение завязей, урожай, технологические свойства волокна и посевные качества семян.

В свое время эти вопросы носили дискуссионный характер. Указанная работа достаточно подробно освещает малоизученные вопросы биологического развития хлопчатника при дождевании в сопоставлении с поливами по бороздам. Результаты проведенных исследований устанавливают, что:

а) дождевание оказывает определенное отрицательное влияние на цветы хлопчатника, но в разное время оно сказывается в различной степени;

б) в конечном итоге дождевание не снижает урожая хлопчатника, не способствует возникновению или же усилению отрицательных факторов в его развитии;

в) последнее в равной мере можно отнести к цветению, опылению, технологическим свойствам волокна и посевным качествам семян;

г) повсеместно дождевание способствует большему формированию цветов ранних сроков, сохранению завязей,

улучшает структуру плодобразования, благодаря чему сокращается вегетационный период (на 7–11 дней), повышается урожай на 1–3 ц/га и увеличивается доморозный сбор хлопка-сырца (на 20–25%);

д) участки хлопчатника с дождевальным поливом также выгодно отличаются от участков бороздкового полива числом завязавшихся семян, их качественностью, наличием улюка и технологическими свойствами волокна;

е) все особенности морфо-биологического развития хлопчатника при дождевании возникают, в основном, за счет более благоприятных условий влажности почвы, где исключено подтопление корнеобитаемого слоя почвы, как это бывает на участках бороздкового полива;

ж) на фоне сравнительно малого расхода оросительной воды при дождевании (50–70% от нормы по бороздам) водопотребление хлопчатника практически не отличается от орошаемого по бороздам, что происходит, главным образом, за счет более полного использования хлопчатником естественного запаса влаги в корнеобитаемой зоне почвы (водопотребление при дождевании 8188–9133 м³/га, по бороздам – 7685–10222 м³/га).

Дождевальные агрегаты могут быть использованы для предуборочного удаления листьев хлопчатника. По эффективности действия и экономическим затратам химическая дефолиация дождеванием не уступает обычным способам, а в ряде моментов превосходит их.

Ее особенностью является полное смачивание листьев хлопчатника растворами пониженных концентраций дефолиантов. Сравнительное сопоставление многочисленных биологических, технико-экономических и агрометеорологических показателей подтверждают практическую целесообразность применения дождевания в сочетании с промывными поливами затоплением, пока только на землях с близким залеганием грунтовых вод.

В ы в о д ы

1. Можно считать установленным, что дождевание в определенные часы суток приводит к нарушению опыления цветов хлопчатника, вызывая дополнительное опадение молодых коробочек.

2. Наибольшее влияние на величину опадения завязей оказывает дождевание с 12 до 15 часов, при общей продолжительности критического периода с 10 до 17 часов.

3. Для нарушения опыления хлопчатника достаточна значительно меньшая продолжительность непосредственного увлажнения цветов водой (достаточно одной минуты) в сравнении с продолжительностью поливов дождеванием.

4. Дождевание не влияет на ход опыления цветов до 10 часов и после 18 часов.

5. Абсолютная величина завязей, дополнительно опавших от дождя, и, следовательно, возможные потери урожая определяются числом поливов в период цветения хлопчатника, динамикой цветения, естественным опадением завязей.

6. Возможные потери урожая в наших опытах составляли 2,6–2,7% от общей урожайности, а с учетом вероятности самых отрицательных условий, потери не будут превышать 6%. Основная их часть (43,6–55%) вызывается поливами в середине июля и первой декаде августа.

7. Гибкое нормирование расхода поливной воды при дождевании способствует созданию благоприятного водно-воздушного режима почвы, что в сравнении с поливом по нормам обеспечивает:

а) повышенную сохранность завязей в межполивные периоды хлопчатника, которая компенсирует завязи, опавшие от дождя днем. Поэтому потери урожая остаются незаметными;

б) нормальные физиологические условия для опыления.

В.М.МАСЛЕННИКОВ

ДИНАМИКА ГРУНТОВЫХ ВОД И СОЛЕВОЙ РЕЖИМ ПОЧВЫ
ПРИ ОРОШЕНИИ ДОЖДЕВАНИЕМ

В статье обобщены данные мелиоративных исследований по сопоставлению способов полива хлопчатника дождеванием с поливами по бороздам, проведенные сотрудниками НИСТО в различных гидрогеологических условиях с 1951 г. по 1961 г.

Такое обобщение было необходимым в связи с тем, что ранее, когда мы еще не имели достаточного опыта и знаний в области дождевания, некоторые ученые утверждали, что с внедрением дождевания вопросы дренажа, планировки и сбросной сети потеряют свою остроту, а предотвращение засоления почвы может быть достигнуто применением малых поливных норм. Утверждение это ошибочно.

Научный анализ многолетних данных и сравнительное сопоставление их по способам полива позволили нам сделать свои выводы и оценки в этом вопросе, которые полностью подтвердились опытными работами САНИИРИ и других учреждений. По результатам этих работ мы констатировали основные моменты процесса засоления почвы и динамики грунтовых вод:

а) как и при поливе по бороздам, при дождевании, безусловно, играет роль и сезонное засоление почвы, сила и степень которого определяется исходным агромелиоративным фоном участков;

б) на участках с незасоленной почвой соли откладываются постепенно во всем исследуемом слое (2 м). Процесс этот особенно активизируется после посева многолетних трав;

в) при слабом исходном засолении почвы солевой максимум участка восстанавливается в первый же год возделывания хлопчатника после трав из запасов почвы ниже двух метров, а в последующие два-три года сезонная реставрация солей протекает, в основном, за счет послойного их перерас-

пределения в указанном слое со смещением солевого максимума в слой 0–40 см;

г) несмотря на значительную разницу в затратах оросительной воды различные способы орошения не вносят существенных различий в глубину залегания грунтовых вод по участкам.

Полученные результаты указывают, и то не во всех случаях, лишь на тенденцию несколько большего спада грунтовых вод при дождевании (на участках – 100–200 га). Но этот спад кратковременен и проявляется не всегда и не всюду. Во всяком случае, полученная разница вряд ли может гарантировать условия лучшего опреснения почвы при дождевании в той мере, в какой это предсказывалось в некоторых сообщениях;

д) существенное снижение грунтовых вод за вегетационный период по участкам, орошавшимся различными способами полива, указывает на значительное использование их сельскохозяйственными культурами, подтверждает неизмеримо большую роль грунтовых вод в водопотреблении по сравнению с поливной водой. Это предопределяет неизбежность соленакопления в водообменном слое почвы, требует промывных поливов, способствующих ликвидации сезонной реставрации солей;

е) как свидетельствует практика совхоза "Пахта-Арал", при обязательном применении промывных поливов затоплением ($2500 \text{ м}^2/\text{га}$) опасность реставрации солей при дождевании на незасоленных и слабозасоленных землях отсутствует. В тех случаях, когда указанное сочетание способов полива нарушено и участки, бывшие под дождеванием, не промываются, процесс засоления почвы приобретает катастрофический характер.

Результаты научных исследований вопросов дождевания, полученные в различных почвенно-мелиоративных условиях Узбекистана, дали основание НИСТО и САНИИРИ сделать следующие выводы:

I) технические параметры агрегата ДДА 100М (в основном, интенсивность) позволяют целесообразно применять

его исключительно на малоуклонных участках с незасоленными или слабозасоленными почвами с близким залеганием грунтовых вод, где требуется 3-4 полива по 400-500 м/га каждый;

2) при указанном решении дождевания обязательно проводятся вневегетационные поливы затоплением в целях борьбы с сезонной реставрацией солей в почве;

3) однако, в целях полного исключения опасности сезонной реставрации солей в почве при дождевании необходим дренаж в сочетании с существующим комплексом мелиоративных мероприятий;

4) дождевание с качествами дождя, аналогичное агрегату ДДА-100М, не должно применяться на землях с повышенным засолением и минерализацией грунтовых вод.

РЕФЕРАТЫ

к выпуску 125 Трудов СНИИРИ им.В.Д.Журина

(Орошение ,эксплуатация гидромелиоративных
систем)

1970 год

УДК 626.8

РЕКОМЕНДУЕМЫЙ МЕТОД РАСЧЕТА ТЕХНИКИ ПОЛИВА
ХЛОПЧАТНИКА

М.Д.ЧЕЛЮКАНОВ

Труды САНИИРИ, вып.125, 1970

В статье приводятся опытные данные по элементам техники полива: время полива, добеги, головной расход и распределение увлажнения по длине борозды.

Отделом орошения САНИИРИ разработаны теоретические расчеты, позволяющие только по добегам воды по сухой борозде определять все элементы техники полива.

Величины элементов техники полива, рассчитанные по теоретическим формулам, сопоставлялись с опытными данными. Процент расхождения составлял не более 5-15%.

Эти простейшие теоретические расчеты позволят проектировщикам и эксплуатационным работникам назначать нужные элементы техники полива в зависимости от конкретных условий, что приведет к экономии воды и улучшению водопользования.

УДК 626.8

НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ТЕХНИКЕ
БОРОЗДКОВОГО ПОЛИВА В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ФЕРГАНЕ

Г.В.ЕРЕМЕНКО, А.УСМАНОВ, А.З.ЛЫМАРЕВ

Труды САНИИРИ, вып.125, 1970

В статье обобщены результаты детальных исследований по определению оптимальных величин элементов техники бороздкового полива хлопчатника. Для определенных типов почв, в зависимости от уклонов местности и кратности полива, рекомендуются оптимальные расходы в голове и длины поливных борозд, нормы и время полива. Собран большой фактический материал по динамике впитывания воды почвой и ряду других особенностей, которые позволяют достичь некоторого выравнивания увлажнения почвы по длине поливного участка.

УДК 626.8

О ВЫБОРЕ НЕКОТОРЫХ ПАРАМЕТРОВ ВЕТРОВОДОПОДЪЕМНЫХ
УСТАНОВОК ДЛЯ ПУСТЫННЫХ ПАСТБИЩ СРЕДНЕЙ АЗИИ

В.Н.МАШКОВ

Труды САНИИРИ, вып. 125, 1970

В статье анализируются результаты исследований различных ветроводоподъемных установок, проведенных САНИИРИ на пастбищах Средней Азии и Казахстана. Предлагается методика выбора рациональной схемы ветроводоподъемных установок. Для пустынных пастбищ Узбекистана рационально использовать ветроводоподъемные агрегаты с тепловым резервом, причем диаметр ветроколеса не должен превышать 4,5 м. Использование ленточных водоподъемников позволяет увеличить надежность ветроводоподъемных установок.

УДК 626.8

ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНОГО ВАРИАНТА МЕХАНИЗАЦИИ ВОДОПОДЪЕМА
НА ПУСТЫННЫХ ПАСТБИЩАХ СРЕДНЕЙ АЗИИ

В.Н.МАШКОВ

Труды САНИИРИ, вып.125, 1970

В статье рассмотрены критерии выбора рационального варианта механизации водоподъема на пустынных пастбищах, а также три схемы эксплуатации механизированных водопойных пунктов. Предложена методика определения области рационального применения каждой схемы в зависимости от природных и хозяйственных условий на пустынных пастбищах Узбекистана.

УДК 626.8

ЧАСТНЫЙ СЛУЧАЙ РАСЧЕТА ИЗМЕНЕНИЙ
В ПОДЗЕМНОМ ВОДООБМЕНЕ $\Delta\pi$.

И.А.ЕНГУЛАТОВ

Труды САНИИРИ, вып. 125, 1970

В статье рассматривается расчетная зависимость для определения прироста дренажного стока за счет возрастания фильтрации воды из оросителей, вызванной положением уровня грунтовых вод, на примере расчета для условий Сырдарьинского района Узбекской ССР.

В основу построения расчетной зависимости положено уравнение

$$KT \frac{Q^2 \Delta}{\Delta x^2} = Q.$$

УДК 626.0

ИЗМЕНЕНИЕ В ПОДЗЕМНОМ ВОДООБМЕНЕ
И МЕТОДЫ ЕГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ

И.А.ЕНГУЛАТОВ

Труды САНИИРИ, вып.125,1970

В работе рассматривается метод определения важного слагаемого водного баланса орошаемых земель $\Delta\Pi$. Дается расчетная зависимость по определению $\Delta\Pi$.

На основе предлагаемого метода установлено количественное значение подземного водообмена в условиях Багдадского района Ферганской области.

УДК 626.8

К РАСЧЕТУ ПАРАМЕТРОВ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ
АВТОМАТИЧЕСКИХ РЕГУЛЯТОРОВ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

И.Б.ХАМАДОВ, В.В.ШАРОВ

Труды САНИИРИ, вып. 125, Ташкент, 1970

В статье описываются диапазоны принятых наработок на отказ по группам надежности работы автоматических регуляторов оросительных систем, согласно ГОСТ 13216-67, результаты исследований оптимальных сроков их профилактического обслуживания на основании теоретических исследований и графо-аналитических расчетов и сравнения их по экспоненциальному и нормальному закону распределения случайных величин для функции надежности. Расчеты проверялись на ЭВМ "Наири".

Полученные расчетные сроки профилактического обслуживания являются основным условием обеспечения эксплуатационной надежности вододействующих затворов по их группам надежности.

УДК 626.8

К ОЦЕНКЕ НАДЕЖНОСТИ РАБОТЫ ЗАТВОРОВ
СТАБИЛИЗАЦИИ УРОВНЕЙ ВОДЫ НА СТАДИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ
АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

И.Б.ХАМАДОВ, В.В.ШАРОВ
Труды САНИИРИ, вып.125, 1970

В статье даются теоретические зависимости соотношений движущихся сил и сил сопротивления затворов-автоматов как предпосылки к оценке надежности работы регуляторов на стадии их разработки, изготовления и использования при проектировании автоматизированных оросительных систем. Даются примеры расчета модульной и фазовой частотной характеристики для оценки надежности работы конструкции.

УДК 626.8

ВЫЯВЛЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ СВЯЗИ МЕЖДУ ГИДРАВЛИЧЕСКИМИ И КОНСТРУКТИВНЫМИ ПАРАМЕТРАМИ ЗАТВОРОВ-АВТОМАТОВ РАСХОДА ВОДЫ ТИПА НАКЛОННЫХ КОЗЫРЬКОВ

Р.Ю.МУСАДЖАНОВА

Труды САНИИРИ, вып. 125. 1970

Дается общая расходная зависимость на основании уравнения Бернулли для конструкции затворов-автоматов расхода воды типа одиночной и двойных наклонных козырьков, коэффициент расхода M которых определяется конструктивными и гидравлическими параметрами.

1. Для затворов-автоматов расхода с одиночным наклонным козырьком такая зависимость имеет вид

$$Q = M_{\text{коз.}} b n \sqrt{2g} H_b^{3/2};$$

здесь $M_{\text{коз.}} = \frac{\epsilon_v \cdot \epsilon_s \cdot \eta \cdot m}{\sqrt{1+m^2}} \sqrt{1 + \frac{n_x \cdot n \cdot \sin \varphi'}{m} + n \left(\frac{n'}{m} - \frac{\epsilon_s m^2}{1+m^2} \right)}$,

где

 H_b — глубина воды над порогом затвора; b — ширина пролета отверстия затвора; $\epsilon_v, \epsilon_s, \eta$ — коэффициенты вертикального, бокового сжатия и скорости; $\eta = \frac{a}{H_b}$ — относительное открытие затвора; m — коэффициент откоса задней грани водослива практического профиля; $n_x = \frac{x}{H_b}$ — относительное расстояние гребня водослива от плоской части затвора (по горизонтали); $n_\ell = \frac{\ell}{H_b \epsilon_s}$ — относительная длина козырька; $n' = \frac{\ell}{a}$ — относительное расположение сжатого потока от сечения нижней кромки козырька (в долях открытия затвора); φ' — угол наклона козырька к вертикали.

2. Для затворов-автоматов типа двойных наклонных козырьков

$$Q = M_{\text{kozy.}} \cdot B n \sqrt{2g H_8^{3/2}};$$

здесь

$$M_{\text{kozy.}} = \frac{\varepsilon_k \cdot \varepsilon_\delta \cdot \gamma m}{\sqrt{1+m^2}} \sqrt{\frac{1}{2} + \frac{n_k + n_\delta - n_\varepsilon \sin \gamma_k}{2m} + \frac{n_{\Delta l}}{2} + \frac{n_\varepsilon \cos \gamma'}{2} +$$

$$+ \frac{n_{\Delta l} \sin \beta_0}{2 \cos(\gamma' - \beta_0)} + n_\varepsilon \left(\frac{1}{2} + \frac{n'}{m} - \frac{\varepsilon_\delta \cdot m^2}{1+m^2} \right)},$$

где

$n_\delta = \frac{\delta}{H_8}$, $n_{\Delta l} = \frac{\Delta \delta}{H_8}$ — относительные расстояния между козырьками в верхней и нижней части затвора;

$n_k = \frac{\ell_k}{H_8}$, γ_k , $n_\varepsilon = \frac{\ell}{H_8}$, γ' — относительные длины и углы наклона заднего и переднего козырьков;

$n_{\Delta l} = \frac{\Delta \ell}{H_8}$ — относительное превышение горизонта воды верхнего бьефа над верхней кромкой переднего козырька;

β_0 — угол между линией, соединяющей нижние кромки козырьков, и горизонталью.

Полученные зависимости позволяют провести анализ оптимальности конструктивных параметров автоматов (при поддержании постоянного расхода воды).

УДК 626.8

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРИТЕРИЯ СРАВНИТЕЛЬНОЙ
ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ ТЕЛЕУПРАВЛЕНИЯ
И ТЕЛЕКОНТРОЛЯ НА ОБЪЕКТАХ МЕЛИОРАЦИИ И ВОДНОГО ХОЗЯЙСТВА

Ф.А.ХАЛИН

Труды САННИРИ, вып. 125, 1970

Рассматривается методика определения критерия сравнительной экономической эффективности систем телеуправления и телеконтроля на объектах мелиорации и водного хозяйства.

За основу критерия приняты методические установки "Типовой методики" и принципы построения критерия, предложенного Б.С.Сотсковым для приборов и устройств систем автоматического управления.

Выводится формула критерия элементов аппаратуры и линий связи с учетом надежности их работы.

Приводится графический пример использования критерия для сравнительной оценки экономической эффективности некоторых видов кабельных линий связи

Рисунков 2.

УДК 626.8

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ БИОЛОГИИ ХЛОПЧАТНИКА
ПРИ ОРОШЕНИИ ДОЖДЕВАНИЕМ

В.М.МАСЛЕННИКОВ

Труды САНИИРИ, вып.125, 1970

В статье освещается взаимосвязь вопросов биологического развития хлопчатника при дождевании в различных мелиоративных условиях Узбекистана.

УДК 626.8

ДИНАМИКА ГРУНТОВЫХ ВОД И СОЛЕВОЙ РЕЖИМ ПОЧВЫ
ПРИ ОРОШЕНИИ ДОЖДЕВАНИЕМ

В.М.МАСЛЕННИКОВ

Труды САННИРИ, вып. 125, 1970

В статье обобщены данные мелиоративных исследований по сопоставлению способов полива хлопчатника дождеванием с поливами по бороздам, проведенных сотрудниками НИСТО в различных гидрогеологических условиях с 1951 г. по 1961 г.

СОДЕРЖАНИЕ

М.Д.ЧЕЛЮКАНОВ. Рекомендуемый метод расчета техники полива хлопчатника.....	3
Г.В.ЕРЕМЕНКО, А.З.УСМАНОВ, А.З.ЛЫМАРЕВ. Некоторые результаты исследований по технике бороздкового полива в Центральной Фергане.....	25
В.Н.МАШКОВ. О выборе некоторых параметров ветроподъемных установок для пустынных пастбищ Средней Азии.....	41
В.Н.МАШКОВ. Выбор рационального варианта механизации водоподъема на пустынных пастбищах Средней Азии.....	51
И.А.ЕНГУЛАТОВ. Частный случай расчета в подземном водообмене.....	68
И.А.ЕНГУЛАТОВ. Изменения в подземном водообмене и методы его определения.....	76
И.Б.ХАМАДОВ, В.В.ШАРОВ. К расчету параметров эксплуатационной надежности автоматических регуляторов оросительных систем.....	94
И.Б.ХАМАДОВ, В.В.ШАРОВ. К оценке надежности работы затворов стабилизации уровней воды автоматизированных оросительных систем.....	106
Р.Ю.МУСАДЖАНОВА. Выявление математической связи между гидравлическими и конструктивными параметрами затворов-автоматов расхода типа наклонных козырьков.....	130
Ф.А.ХАЛИН. Определение критерия сравнительной экономической эффективности систем телеуправления и телеконтроля на объектах мелиорации и водного хозяйства.....	150
В.М.МАСЛЕННИКОВ. Некоторые особенности биологии хлопчатника при орошении дождеванием.....	159
В.М.МАСЛЕННИКОВ. Динамика грунтовых вод и солевой режим почвы при орошении дождеванием.....	162