

Т Р У Д Ы
Средне-Азиатского Научно-Исследовательского Института
Ирригации

Вып. 41

СБОРНИК
статей по ирригации и гидротехнике

№ 1

САНИИРИ
Ташкент 1937 г.

Т Р У Д Ы
Среднеазиатского Научно-Исследовательского Института
Ирригации

Вып. 41

СБОРНИК
статей по ирригации и гидротехнике

№ 1

САНИИРИ
Ташкент 1937 г.

СОДЕРЖАНИЕ

1. М. В. Бутырин — Водомер-насадка для колхозной оросительной сети . . .	3
2. В. Ементьев — Пропеллерный насос ПВ — 1 НКЗ СССР и перспективы развития насосостроения в системе НКЗ	15
3. Н. А. Фадеев — Расчет прямоугольных труб	22
4. Ф. И. Воронов — Просадки в лесах	31
5. Ю. К. Давыдов — Электронасосные оросительные установки	59
6. А. П. Ушаков и Н. А. Аладьин — Результаты исследований зимнего режима Боз-су ГЭС в 1935-36 гг.	77
7. И. М. Луценко и Е. Н. Терскова — О переводе данных объемного способа взвешенных наносов и весовой	92
8. Е. Д. Рождественский — О коррозии бетона	101

Водомер-насадка для колхозной оросительной сети

§ 1. Учет воды при водораспределении на ирригационных системах требует применения рациональных и по возможности простых приспособлений (конструкций), посредством которых возможно было бы учитывать как расход, так и количество воды (сток). При этом учет должен быть автоматическим. Такие конструкции описываются в литературе под общим названием „водомеры“.

В ближайшем будущем применение указанного типа водомеров станет еще более необходимым, особенно имея в виду переход ирригационных систем на хозрасчет.

После изучения литературы как русской, так и имевшейся в нашем распоряжении иностранной, нами был выбран для исследования, в первую очередь, тип водомера в виде конически-сходящихся насадок.

Цель и задачи настоящего изложения заключаются в даче производству (системные управления, МТС и колхозы) простых приспособлений для учета воды при водораспределении на каналах с расходом не более $1 \text{ м}^3/\text{с}$.

§ 2. Исследование гидравлических свойств цилиндрических и конически-расходящихся насадок, как известно из литературных источников и опытов Санири, установило, что коэффициент расхода насадок зависит от напора H и возрастает с увеличением последнего. Характер возрастания — резкое увеличение коэффициента расхода в начале увеличения напора и затем при дальнейшем повышении напора более медленное изменение коэффициента расхода.¹

В отношении же конически-сходящихся насадок известно, что коэффициент расхода не зависит от H (при изменениях H в значительных пределах) и остается почти постоянным. Это ценное свойство конически-сходящихся насадок дает возможность применять их в качестве водомера. К сожалению, опытов над конически-сходящимися насадками произведено мало. В работе инж. Абрамова, систематизировавшего все имеющиеся данные по этому вопросу, приводятся лишь данные опытов Кастеля, производившихся в 1837 г. над конически-сходящимися насадками. Результаты этих опытов приводим в таблице 1.

¹ См. год. отчет Санири за 1935 г. раздел „Исследование водовыпусков“, а также статью инж. Абрамова М. З. в трудах МИИТ. Выпуск XI, 1929 г.

Таблица 1

Насадки диаметром 1,5 и 5 см и длиной 4 см				Насадки диаметром 2 см и длиной 5 см			
угол конусности		μ	φ	угол конусности		μ	φ
град.	мин.			град.	мин.		
0	0	0,829	0,830	—	—	—	—
1	36	0,866	0,866	2	50	0,914	0,906
3	10	0,895	0,894	—	—	—	—
4	10	0,912	0,910	—	—	—	—
5	26	0,924	0,920	5	26	0,930	0,928
7	52	0,929	0,931	6	54	0,938	0,938
8	58	0,934	0,942	—	—	—	—
10	20	0,938	0,950	10	30	0,945	0,953
12	4	0,942	0,955	12	10	0,949	0,957
13	24	0,946	0,962	13	40	0,956	0,964
14	28	0,941	0,966	—	—	—	—
16	36	0,938	0,971	15	2	0,949	0,967
19	28	0,924	0,970	18	10	0,939	0,970
21	0	0,918	0,971	—	—	—	—
23	0	0,913	0,974	23	4	0,930	0,973
29	58	0,896	0,975	—	—	—	—
40	20	0,869	0,980	33	52	0,92	0,979
48	50	0,847	0,984	—	—	—	—

Инж. Абрамов производил опыты с насадкой, имевшей размеры: $D = 50$ мм, $d = 20,3$ мм, $l = 59,9$ мм.

Опыты производились при свободном истечении. Результаты его опытов приводим в таблице 2 (см. на сл. стр.).

Все указанные опыты производились при очень малых диаметрах (Кастель при $d = 15$ мм и $d = 20$ мм, а Абрамов при $d = 20,3$ мм) и, кроме того, только при свободном истечении.

Содержание производимых нами исследований заключалось в определении гидравлических свойств насадок с размерами, почти соответствующими натуре. Опыты производились на открытой гидравлической площадке как для свободного, так и для истечений под уровень (см. фото 1 и 2).

Для исследования были запроектированы и изготовлены в мастерской Санири насадки следующих размеров, при чем обозначено:

D — входной диаметр насадки;

d — выходной " "

l — длина насадки;

L — длина образующей насадки;

α — угол конусности (схождения) насадки.

Ось насадки горизонтальна.

Первая (малая) насадка имеет $D = 25$ с, $d = 10$ с, $l = 29$ с, $L = 30$ с, $\alpha = 29^\circ$.

Напор	Расход в литр.	Коэффициент расхода		
		I набл.	II набл.	среднее
0,050	0,284444	0,8895	0,8860	0,8878
0,100	0,400000	0,8817	0,8826	0,8822
0,200	0,569009	0,8842	0,8807	0,8875
0,300	0,697945	0,8887	0,8891	0,8889
0,400	0,805941	0,8886	0,8896	0,8891
0,500	0,899305	0,8867	0,8876	0,8872
0,600	0,986948	0,8685	0,8890	0,8887
0,700	1,062777	0,8855	0,8865	0,8860
0,800	1,138611	0,8875	0,8888	0,8882
0,900	1,205246	0,8861	0,8864	0,8863
1,000	1,274167	0,8871	0,8906	0,8887
1,100	1,310924	0,8852	0,8863	0,8853
1,400	1,508059	0,8878	0,8902	0,8890
1,800	1,694167	0,8809	—	0,8809

Вторая (большая) насадка имеет $D = 40$ см, $d = 22$ см, $l = 39$ см, $L = 40$ см, $\alpha = 26^\circ$.

Исследование насадок заключалось в:

1. Определении коэффициента расхода вышеуказанных насадок при разных напорах (применительно к существующим условиям эксплуатации сети) как при свободном, так и при затопленном состоянии.

2. Выявлении зависимости коэффициента расхода от размера насадки и от положения отметки дна перед насадкой.

Необходимые отметки определялись нивелировкой. Расход измерялся водосливом Чиолетти ($b = 0,5$), расположенным по каналу выше насадки (на 15 м); порог водослива возвышался над дном канала на 35 см. Расход можно было регулировать щитом трубчатого выпуска, имевшимся перед водосливом.

Всю установку модели можно видеть на фото 1.

На переднем плане фото виден измерительный водослив, на заднем — исследуемая насадка.

§ 3. Методика исследований была выбрана наиболее отвечающей полевым условиям натур. Размеры насадок были взяты такими, чтобы они по возможности



Фото 1.

более приближались к нормальным условиям ирригационной практики а именно:

1. Большая насадка — для расходов в пределах 36 — 70 л/с при колебании горизонтов в канале (модели) от 5 до 20 см (затопленное истечение).

2. Малая — для расходов от 10 до 20 л/сек и при Z от 12 до 30 см.

Затопление насадки производилось с помощью разборчатого порога, расположенного по каналу на 5 м ниже щита с насадкой.

Определение коэф. расхода производилось следующим образом: по измерительному водосливу (Чиолетти) устанавливался определенный расход, который поддерживался постоянным необходимым количеством времени (примерно 15 — 20 м), до полного установления режима насадки; затем определялся напор H или перепад Z по имеющимся отметкам и высчитывался коэффициент расхода по формуле

$$\mu = \frac{Q}{\omega \sqrt{2gh}}$$

при чем $h = H$ для свободного истечения,

$h = Z$ — для затопленного истечения,

Q — расход воды, измеренный водосливом Чиолетти,

ω — площадь наименьшего сечения насадки,

H — напор над осью насадки,

Z — перепад — разность горизонтов воды верхнего и нижнего бьефов.

Число повторений для каждого расхода было равно трем. Количество расходов равнялось: 12 — для малой насадки, 22 — для большой насадки.

Опыты были разбиты на две серии:

Серия А — кромка входного сечения находится над дном верхнего участка канала на $a = 30$ см для большой насадки и $a = 35$ см для малой насадки.

Серия В — дно верхнего бьефа сделано на уровне нижней кромки входного сечения насадки, — это соответствует случаю заиливания верхнего участка канала.

§ 4. Произведенными исследованиями получены следующие данные:

Серия А — верхний бьеф не заилен.

I. Насадка малая. Коэффициент расхода для данной насадки определялся по рабочей формуле

$$\mu = \frac{Q}{3,48 \sqrt{h}}$$

где Q — в литрах в сек.,

h — в сантиметрах.

Опыты производились в период 17 — 20/VII 1936 г.

Опытные данные сведены в таблицу 3.

Работа насадки при свободном истечении показана на фото 2.

На фото видно, что наиболее сжатое сечение почти совпадает с конечным сечением насадки.

II. Насадка большого размера. Коэффициент расхода исчисляется по рабочей формуле

$$\mu = \frac{Q}{16,80 \sqrt{h}}$$

где Q — в лит./сек., а h — в сантиметрах.

Опытные данные сведены в таблицу 4.

Таблица 3

№№ п/п	Расход Q л/с по водо- сливу Чиполетти	h см	$3,48 \sqrt{h}$	Коэффици- ент расхода
-----------	--	------	-----------------	--------------------------

Свободное истечение

1	11,0	14,0	13,00	0,847
2	12,0	16,5	14,45	0,850
3	12,5	17,0	14,40	0,867
4	14,0	21,5	16,20	0,862
5	15,5	26,2	18,0	0,861
6	17,0	30,5	19,4	0,875
7	19,0	37,5	21,6	0,883

Среднее . . . 0,863

Затопленное истечение

1	12	12,9	12,6	0,950
2	13	15,0	13,6	0,955
3	14	17,5	14,6	0,960
4	15,5	21,5	16,2	0,955
5	17,0	25,3	17,2	0,960

Среднее . . . 0,956

Таблица 4

№№ п./п.	Расход л/с	h см	$16,80 \sqrt{h}$	Коэф. рас- хода μ	Примеча- ние
-------------	------------	------	------------------	--------------------------	-----------------

Свободное истечение

2	60	17,6	70,5	0,85	
3	64	19,6	74,4	0,86	
	70	24,2	82,2	0,85	

Среднее . . . 0,853

Затопленное истечение

4	35,0	4,8	36,8	0,95	
5	36,5	5,3	38,6	0,948	
6	40,5	6,4	42,5	0,952	
7	41,5	6,8	43,8	0,950	
8	43,0	7,2	45,1	0,952	
9	50,0	10,0	53,1	0,947	
10	55,0	11,9	57,9	0,952	
11	56,5	12,5	59,3	0,951	
12	61,0	14,9	64,8	0,945	
13	66,0	17,4	70,0	0,946	
14	71,0	20,20	75,3	0,945	

Среднее . . . 0,95

Работа насадки в затопленном состоянии демонстрируется на фото 3.

Серия В — исследование влияния заглени я верхнего бьефа.



Фото 2:



Фото 3:

Для выявления вопроса зависимости коэф. расхода от положения отметки дна канала перед насадкой произведены были опыты при повышении отметки дна до отметки нижней кромки входного сечения насадки, что соответствует предположению, что дно канала перед насадкой может заилиться до этой отметки. Кроме того, в целях выяснения возможности засорения наносами насадки, нами были произведены наблюдения при искусственном забрасывании насадки песком и мусором. Наблюдения показали, что все наносы и мусор проносились через насадку и задерживания их в насадке не наблюдалось.

Скорости в насадках в малом сечении были $V_{\max}=1,85$ м/с, $V_{\min}=1$ м/с.

Данные опытов по определению коэф. расхода при отметке порога, равной отметке нижней кромки входного сечения насадки, приведены в таблице 5.

Таблица 5

№№ п/п.	Q л/с	h см	$16,80 \sqrt{h}$	μ	Примечание
Свободное истечение					
1	60	17,7	—	0,85	
2	64	19,8	—	0,857	
Среднее . . .				0,8535	
Затопленное истечение					
3	36	5,0	—	0,956	
4	40,5	6,3	—	0,960	
5	45	8,0	—	0,950	
6	50,5	10,2	—	0,945	
7	56,0	12,4	—	0,950	
8	61,0	15,0	—	0,94	
Среднее . . .				0,951	

Для выяснения вопроса зависимости μ от угла конусности и вида истечения результаты опытов сводим в таблицу 6.

Таблица 6

№№ п/п	Насадки	Коэф. расхода		Разница	% откло- нения	Приме- чание
		свободн.	зато- пленн.			
1	Малая $d=10$ см $\alpha=29^\circ$	0,863	0,956	0,093	10,8	
2	Большая $d=$ $=22$ см, $\alpha=26^\circ$	0,853	0,950	0,097	11,3	
	Разница	0,010	0,006			
	% отклон. . . .	1,17	0,63			

Как видно из таблицы, при разности углов конусности, равной 3° отклонения, коэффициент расхода достигает 1,17%, что практически не имеет значения. Это обстоятельство согласуется с данными опытов Кастеля, у которого при упомянутой разнице в 3° коэффициент расхода имеет отклонение в среднем 1,3 %.

О влиянии диаметра насадки при постоянном угле α на коэф. расхода можно судить из приведенной ниже таблицы 7, где сопоставлены результаты, полученные автором, с результатами опытов Кастеля и Абрамова.

Таблица 7

№№ п/п	Опыт	Диаметр мм	Коэф- циент расхода	% от- клоне- ния	Примеча- ние
1	Кастель	15,5	0,896	0	Без учета подх. скорост. % от- клонения от к. р. = 0,896
2	Кастель	20,0	0,910	+ 1,56	
3	Абрамов	20,3	0,887	- 1,00	
4	Санири	100	0,863	- 3,70	
5	Санири	220	0,853	- 4,80	

Из таблицы видно, что с увеличением диаметра насадки (выходного) коэффициент расхода понижается, кроме случая 2, но его можно не принимать во внимание, так как в работе Абрамова упоминается, что Кастель в этом опыте не учитывал подходную скорость, а в данном случае она имела место.

Таким образом, полученные нами данные вполне согласуются с предыдущими работами Кастеля (1837 г.) и Абрамова (1929 г.).

§ 5. Выводы. Анализируя данные охарактеризованных выше исследований, приходим к следующему:

Коэффициент расхода сходящейся насадки постоянен для данной насадки при условии наличия одного из видов истечения (свободного или затопленного).

Коэффициент расхода насадки зависит от вида истечения, при чем для затопленного истечения он больше, чем для свободного. Процент увеличения для обеих насадок получен равным около 11.

Коэффициент расхода особенно устойчив при затопленном истечении, где отклонение от среднего значения составляет всего около 0,5%. Для свободного истечения это отклонение равно около 2,5%, что для целей

практики допустимо и находится в пределах точности произведенных опытов. Работу насадки в затопленном состоянии иллюстрируем фото 4.

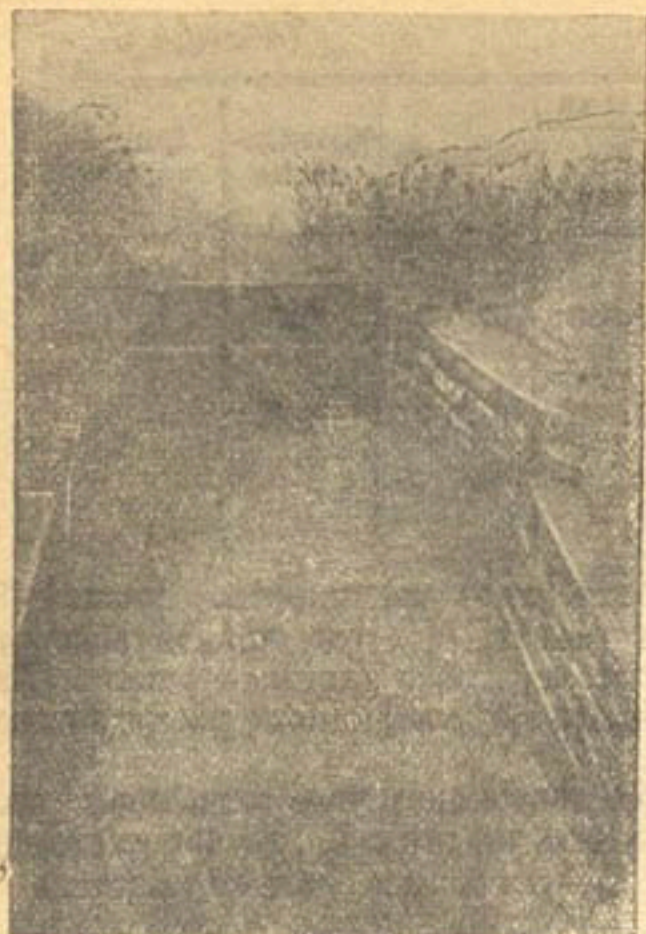


Фото 4:

ности имеет место понижение коэффициента расхода. Это понижение очень незначительно, так, например, при изменении d от 15,5 мм до 220 мм, т. е. почти в 15 раз, коэф. расхода понизился всего на 4,8 %.

В нашем же случае при увеличении диаметра в 2 раза (даже не принимая во внимание влияния α) изменение коэффициента расхода для соответствующих истечений выразилось в 1,17 и 0,63 %.

Таким образом, при проектировании водомеров-насадок, не слишком отклоняющихся от испытанных, влиянием диаметра насадки можно пренебречь и считать коэф. расхода постоянным.

Согласно всему вышеописанному, окончательно примем коэффициент расхода равным:

- а) для свободного истечения — 0,85,
- б) для затопленного истечения — 0,95.

§ 6. Выводы и предложения 1. Конически-сходящиеся насадки на основе полученных результатов вышеописанных опытов нами предлагается применять на ирригационных каналах для учета воды, главным образом, при колхозном водodelении. Для переноса полученных опытных данных в практику эксплуатационной службы нами разработаны стандартные размеры насадок. При разработке стандартов на основе результатов опыта, приняты следующие соотношения: $l = 2 d$; $D = l$. $\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = 1,92 d$.

Стандартные размеры насадок и их пропускная способность приведены в таблице 8 при допущении потери напора от 2 до 25 см при истечении через затопленную насадку и до 40 см при свободном истечении.

Коэффициент расхода каждой насадки остается постоянным, не завися от положения отметки дна канала перед насадкой, что видно из сравнения таблиц 4 и 5. Это доказывает, что заиливание верхнего бьефа не отражается на коэф. расхода насадки.

Наносы в трубе не задерживаются, а проносятся в нижний бьеф, точно также мелкий мусор и даже значительные пучки травы затруднений не создают.

Опыты подтвердили, что на величину коэф. расхода влияет угол конусности, именно: в нашем случае при разнице в углах на 3° имелось изменение коэф. расхода для свободного истечения примерно на 1,2 % и для затопленного меньше чем на 1 %, что для практических целей значения почти не имеет.

При увеличении диаметра насадки при постоянном угле конус-

В случае широких и неглубоких профилей каналов или при необходимости пропуска расходов больших, чем указано в таблице 8 (до 0,50 м³/с), рекомендуется устраивать водомер из двух рядом расположенных стандартных насадок, смонтированных на одном щите.

Стандартные размеры и пределы применения водомеров-насадок

Таблица 8

№ стандарт- та	Выходн. диа- метр d	Входной диа- метр D	Высота ко- нуса e	Длина образ- ца конуса L	$\mu \sqrt{2g}$		Допускаемые напоры см			Пропускная способ- ность л/с			
					затоп- лен. $\mu = 0,95$	свобод- ная $\mu = 0,85$	для затоплен.		для своб.	затоплен.		свободная	
							Z_{min}	Z_{max}		min	max	min	max
1	10	20	20	20,6	329	294	2	20	25	5	15	8	20
2	15	29	30	30,8	745	667	2	20	25	10	35	20	45
3	20	38	40	41,0	1325	1185	2	25	30	18	70	45	80
4	25	48	50	51,4	2070	1845	3	25	30	35	100	80	110
5	30	57	60	61,5	2980	2670	3	25	40	50	150	110	180
6	35	67	70	71,7	4070	3640	3	25	40	70	200	180	230
7	40	76	80	82,5	5300	4740	3	25	40	90	280	250	300

Примечание. Пропускная способность насадок определена в зависимости от допустимых на практике потерь напора. При свободном истечении нижний предел расхода определяется из условия, чтобы напор над центром насадки был равен минимум 38 D, т. е. чтобы струя выходила из насадки полным сечением.

При истечении через затопленную насадку минимальный напор может быть и меньше 2 см, тогда и расход соответственно уменьшится.

2. Выполнение стандартных водомеров-насадок рекомендуется организовать в мастерских системных управлений или МТС. Насадка может быть изготовлена из листового железа толщиной 1—2 мм (аналогично водосливу Чиполетти) и прикреплена к деревянному щиту из досок толщиной 40—50 мм. Размеры щита сообразуются с условиями установки его в канале. Так, для малых каналов щит врезается в дно и откосы канала (аналогично установке водослива Чиполетти), для больших и широких каналов установка водоема потребует обычной проверки конструкции на устойчивость и прочность (как для гидротехнических сооружений на сети). При этом водомер может быть изготовлен из кирпича или бетона¹.

3. Применение стандартных насадок в качестве водомеров особенно рекомендуется в тех случаях, когда нельзя иметь больших перепадов, т. е. на сети с малыми уклонами. В этих условиях, как известно, водосливы Чиполетти применять нельзя. Там же, где имеется возможность иметь большую разность отметок горизонта воды перед водомером и за ним, более целесообразно применение водосливов Чиполетти, Томсона или разработанного нами в Санири водослива специальной формы².

¹ Примечание редакции. Сечение в этих случаях можно выполнять прямоугольным или эллиптическим, т. е. отклоняющимся от кругового.

² Примечание редакции. В этих случаях полезно применять и водомер Паршала. Кроме того, в Санири заканчивается проработка конструкции регулируемого водомера-водовыпуска для распределительной и мелкой ирригационной сети.

4. Определение расхода воды, проходящего через насадку-водомер, рекомендуется делать путем чтения по шкале (шкала делений особая для каждого стандарта — в величинах расхода), прикрепленной непосредственно к щиту или стенке водомера — при истечении через незатопленную насадку. Для истечения через затопленную насадку определение расходов делается путем чтения отсчета по шкале передатчика, устраиваемого по схеме рис. 1, при чем систему блоков надо закрывать кожухом или делать будку. Подвижная шкала указывает как разность горизонтов, так и расход воды. Для учета стока воды необходимо в будке устанавливать лимниграф как для случая истечения через затопленную, так и незатопленную насадку.

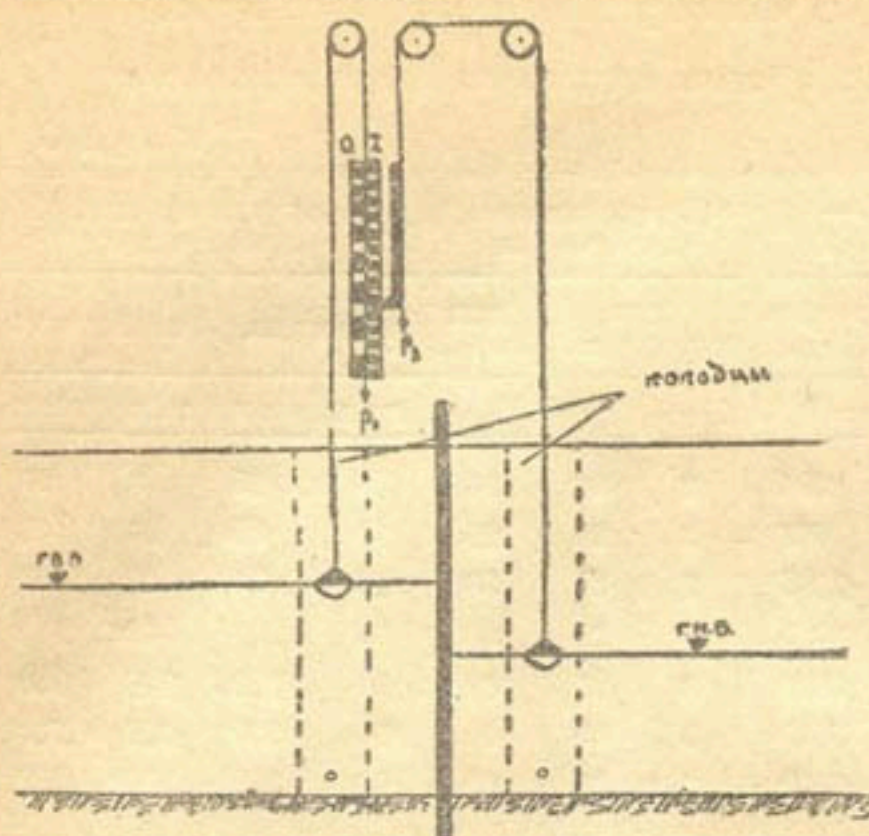


Рис. 1

Примеры. Для более полного освещения вопроса ниже приводим несколько примеров применения водомера-насадки.

Пример I. Пусть мы имеем картонный ороситель, в котором колебания расходов находятся в пределах от $Q_{\min} = 20$ л/с до $Q_{\max} = 30$ л/с.

Дано: $b = 0,2$; $m = 1$; $i = 0,0009$; $\gamma = 1,75$, глубина канала — 0,6 м.

Определяем гидравлические элементы для $Q_{\min}$ и $Q_{\max}$.

b	h	ω	χ	R	$\sqrt{R}$	$\sqrt{i}$	C	v	Q
0,2	0,27	0,127	0,963	0,132	0,363	0,03	14,98	0,163	20,7
0,2	0,32	0,166	1,13	0,146	0,383	0,03	15,6	0,18	30,0

А. Случай затопленного истечения

По таблице 8 в случае затопленного истечения для данных расходов при $Z_{\max} = 0,20$ м подходит насадка № 2 с размерами $d = 15$ см; $D = 29$ см; $l = 30$ см.

Установку водомера производим по нижеследующей схеме (рис. 2).

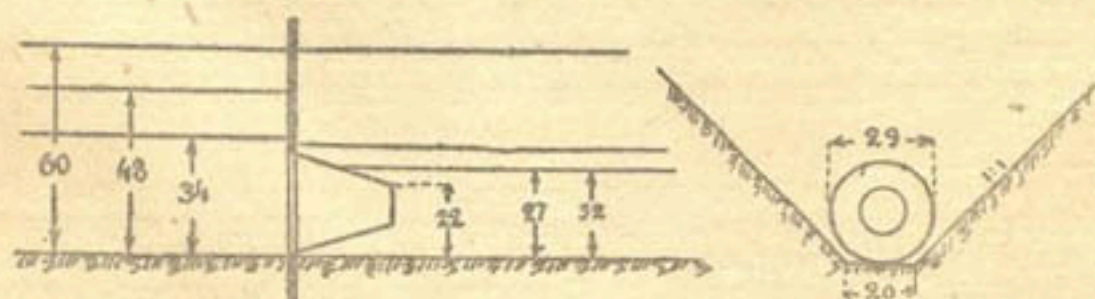


Рис. 2.

Потеря напора будет:

$$\text{а) при } Q_{\min} = 0,020 \text{ м}^3/\text{с} \quad \sqrt{Z} = \frac{0,020}{0,0745} = 0,268,$$

откуда $Z_{\min} = 0,072 \text{ м}$, или $7,2 \text{ см}$;

$$\text{б) при } Q_{\max} = 0,030 \text{ м}^3/\text{с} \quad \sqrt{Z} = \frac{0,030}{0,0745} = 0,403,$$

откуда $Z_{\max} = 0,16 \text{ м}$, или 16 см .

Таким образом, мы получим наибольшую потерю напора $Z = 16 \text{ см}$, когда при данной глубине канала наращивания дамб не потребуется (см. схему).

В. Случай свободного истечения

Для пропуска расходов в $Q_{\max} = 0,030 \text{ м}^3/\text{с}$ и $Q_{\min} = 0,020 \text{ м}^3/\text{с}$ необходимые напоры под осью насадки будут:

$$\text{а) } \sqrt{H} = \frac{Q}{\mu \omega \sqrt{2g}} = \frac{0,030}{0,0667} = 0,45 \quad H_{\max} = 0,203 \approx 21 \text{ см.}$$

$$\text{б) } \sqrt{H} = \frac{0,020}{0,0667} = 0,30 \quad H_{\min} = 0,09 \text{ м, или } 9 \text{ см.}$$

Схема установки будет следующая (рис. 3).

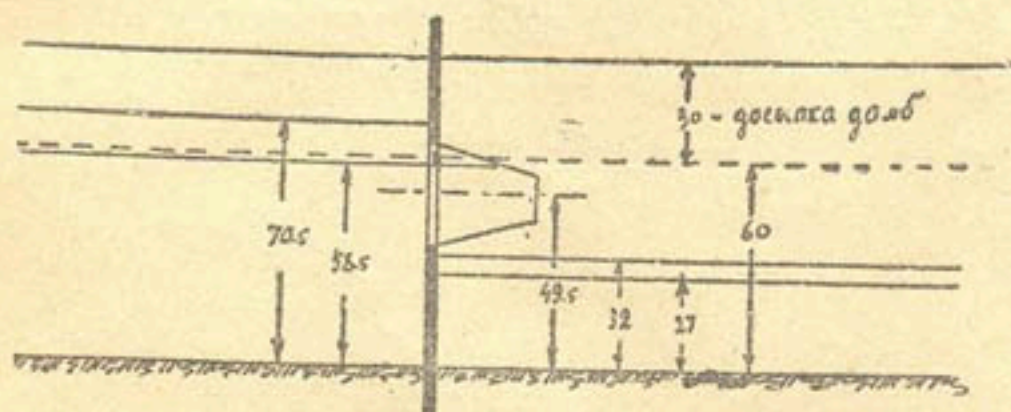


Рис. 3.

Следовательно, наибольшие потери напора будут $70,5 - 32 = 38,5 \text{ см}$, что потребует наращивания дамб.

Пример II. Пусть мы имеем групповой ороситель с $Q_{\min} = 100 \text{ л/с}$; $Q_{\max} = 150 \text{ л/с}$; $b = 0,5$; $m = 1,0$; $\gamma = 1,75$; $j = 0,0005$, бытовые глубины при $Q_{\min}$ и $Q_{\max}$ находим подбором по таблице:

h	ω	χ	R	$\sqrt{R}$	$\sqrt{i}$	C	v	Q л/с
0,48	0,47	1,86	0,253	0,503	0,0224	19,4	0,218	100
0,57	0,61	2,12	0,288	0,536	—	20,44	0,245	150

По таблице 8 берем насадку № 5 с $d = 30 \text{ см}$; $D = 57 \text{ см}$; $l = 60 \text{ см}$.
Необходимые перепады Z будут:

$$\text{а) при } Q_{\min} = 0,100 \text{ м}^3/\text{с} \quad \sqrt{Z} = \frac{Q}{\mu \omega \sqrt{2g}} = \frac{0,100}{0,298} = 0,335,$$

откуда $Z_{\min} = 11 \text{ см}$;

$$\text{б) при } Q_{\max} = 0,150 \quad \sqrt{Z} = \frac{0,150}{0,298} = 0,502; Z_{\max} = 25 \text{ см.}$$

Схема установки будет следующая (рис. 4):

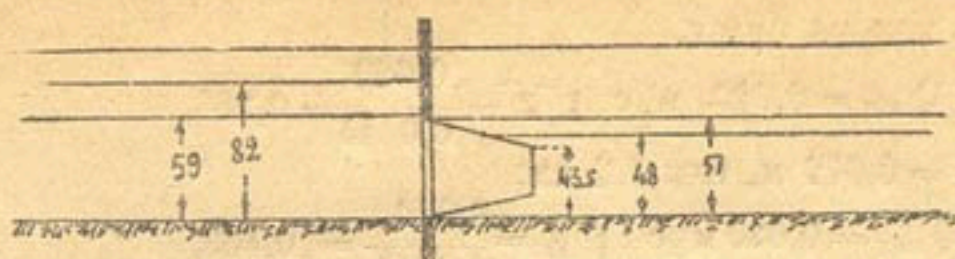


Рис. 4.

Пример III. Возьмем тот же профиль канала, но с небольшим наполнением (при большем уклоне). Пусть будет $h_{\min} = 0,30$ см; $h_{\max} = 0,40$ см. Тогда насадка, выбранная для данных условий $Q = 100$ — 150 л/с, $Z_{\max} = 25$ см, не будет затопляться с нижнего бьефа, т. к. высота верхнего края выходного сечения насадки будет равна $30 + 13,5 = 43,5$ см. В том случае, если мы желаем, чтобы насадка работала в затопленном состоянии, установку насадки нужно произвести по следующей схеме (рис. 5).

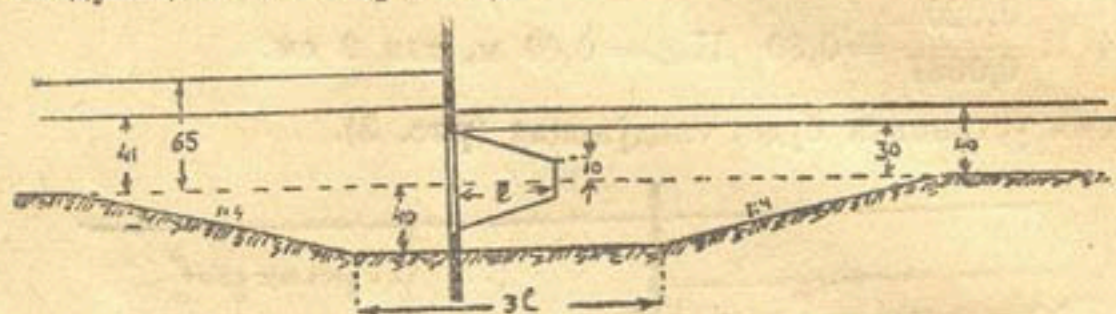


Рис. 5.

Пропеллерный насос ПВ-1 НКЗ СССР и перспективы развития насосостроения в системе НКЗ

По постановлению партии и правительства в Хорезме в текущем году осуществляется постройка ряда небольших насосных станций, имеющих целью оросить 20.000 га земли первой очереди и не менее 50.000 га второй очереди.

Орошению подлежат большей частью неиспользованные земли в различных районах Хорезма с отметками на 1,5 — 4 метра выше горизонта воды в подводящих каналах.

Существующие малые насосы, изготавливаемые промышленностью СССР, рассчитаны для иных высот подъема, а именно 14 метров и выше, и в условиях Хорезма не могут рационально работать. Поэтому НКЗ СССР приступил в 1935 году к переговорам с промышленностью о заказе 300 шт. насосов специального типа — пропеллерных. Однако, вследствие чрезвычайной загрузки заводов, разместить заказ оказалось невозможным.

Главное хлопковое управление НКЗ обследовало возможность изготовления насосов своими средствами, т. е. средствами заводов НКЗ; одновременно было предпринято обследование на местах Ср.-аз. научно-исследовательским институтом ирригации — на предмет определения способа водоподъема, наиболее целесообразного с технической и экономической стороны.

Обследованием и расчетами Санири установлено, что наиболее выгодной площадью орошения является площадь в 1000—1500 га с подачей для ее орошения расхода в 1000—1250 литров в секунду, что при 3 агрегатах будет соответствовать расходу 330—410 литров в секунду на агрегат, при высоте подъема в 1,5—4 метра.

Другие авторы за минимальную подвешенную площадь принимают 300 га с дебетом насоса 350 сек.-литров брутто.

Насос на 300—400 литр/сек. при высоте подачи в 2,5—4 метра должен удовлетворять условиям работы большинства установок механического водоподъема Хорезма.

Насосная станция для напора от 1,5 до 4 м с высококачественным насосом, производительностью в 300 литр/сек. с двигателем внутреннего сгорания в 18—25 л./с., орошающая до 300 га, должна обойтись около 15.000 рублей, или около 50 рублей на 1 га (вместо 200 рублей стоимости чигирной установки).

Стоимость чистой эксплуатации станции, без учета расходов по очистке каналов, адм. расходов содержания МТС и накладных расходов, должна составить не более 25 руб. на 1 га (вместо 400 руб. чигирного полива).

Из этих цифр ясна выгодность и необходимость модернизации механического водоподъема в Хорезме.

Насос ПВ-1 НКЗ СССР

В середине 1935 г. Ленинградская проектная группа Нижне-Волгопроекта запроектировала насосную станцию № II для Пугачевстроя для $Q=630$ л/сек. и напора $H_m=2,35$ м. В основу рабочего проекта были приняты пропеллерные вертикальные насосы производительностью 300 литров в секунду, при высоте напора 2,35 м.

При реализации заказа на насосы оказалось, что заказать их на заводах Насосно-компрессорного объединения также невозможно, вследствие чрезвычайной перегрузки заводов.

В этом случае положение НВП и НКЗ оказалось одинаковым — они очутились без машин при совершенно определенных заданиях — построить насосные станции в течение 1935 — 36 гг.

Одновременно на подобные насосы стали предъявлять требования Азводхоз и другие организации.

В виду невозможности получения от промышленности низконапорных насосов, Наркомзем СССР вынес окончательное решение об организации производства насосов средствами самого НКЗ на одном из его заводов — Винницком и одновременно (поскольку выполнение заданий правительства по ирригации Хорезма не могло быть отложено) — по необходимости выстроить ряд малых станций на насосах, имевшихся в наличии на рынке, с тем, однако, чтобы впоследствии заменить их более совершенными.

Для создания наиболее современного и высококачественного насоса был заключен договор с Гидравлической лабораторией ЛИИ на проектирование и постройку двух опытных пропеллерных насосов вертикального типа. Последние предназначались для установок на II насосной станции Пугачевстроя Нижне-Волгопроекта и должны были служить прототипом для остальных станций НКЗ (Хорезм, Азводхоз и т. д.).

Условия проектирования и постройки были следующие: создать вертикальные пропеллерные насосы с лопатками, дающими:

1. При $H=2,5$ м и $p=1000$ об/м, $Q=300$ — к. п. д. не менее 0,72.
2. При $H=4$ м и $p=1000$ об/м, $Q=350$ — к. п. д. не менее 0,74.
3. При $H=6$ м и $p=1500$ об/м, $Q=400$ — к. п. д. не менее 0,74.

Эти условия соответствовали обычным условиям поставки и гарантиям заграничных заводов на подобные машины.

Одновременно эти насосы должны были служить моделями, гарантирующими проектирование и постройку для НКЗ насосов более крупного диаметра.

В дальнейшем по ходу работы оказалось, что НКЗ СССР необходимо установить опытные насосы на опытных установках в Хорезме и Азербайджане, вследствие чего Нижне-Волгопроект был вынужден принять меры к самостоятельной реализации заказа на 2 насоса для Пугачевстроя, что и удалось сделать на одном из не специализированных на насосостроении ленинградских заводов (Кр. Вагранка).

Последнее обстоятельство доказывало, что запроектированные насосы настолько просты в своей конструкции, что их возможно построить и на заводах средней квалификации и оборудования.

Описание насоса

Насос ПВ-І относится к типу вертикальных пропеллерных насосов с затопленным рабочим колесом.

Последнее обеспечивает его постоянную готовность к пуску.

Основные данные насоса:

1. Производительность $Q=300-400$ лит/сек.
2. Высота напора $H=2,5-6$ м.
3. Число оборотов $n=1000-1500$ об/мин.
4. Расход энергии $N=14-40$ л. с.
5. Вес насоса $G=350$ кг.

Общее устройство насоса ясно из фотографий, изображающих разрез насоса, его общий вид и вид со стороны ротора.

Остовом насоса является колено с отлитыми лапами, служащими для крепления корпуса к фундаментным балкам. С другой стороны насос крепится фланцем своего выходного отверстия к напорному трубопроводу.

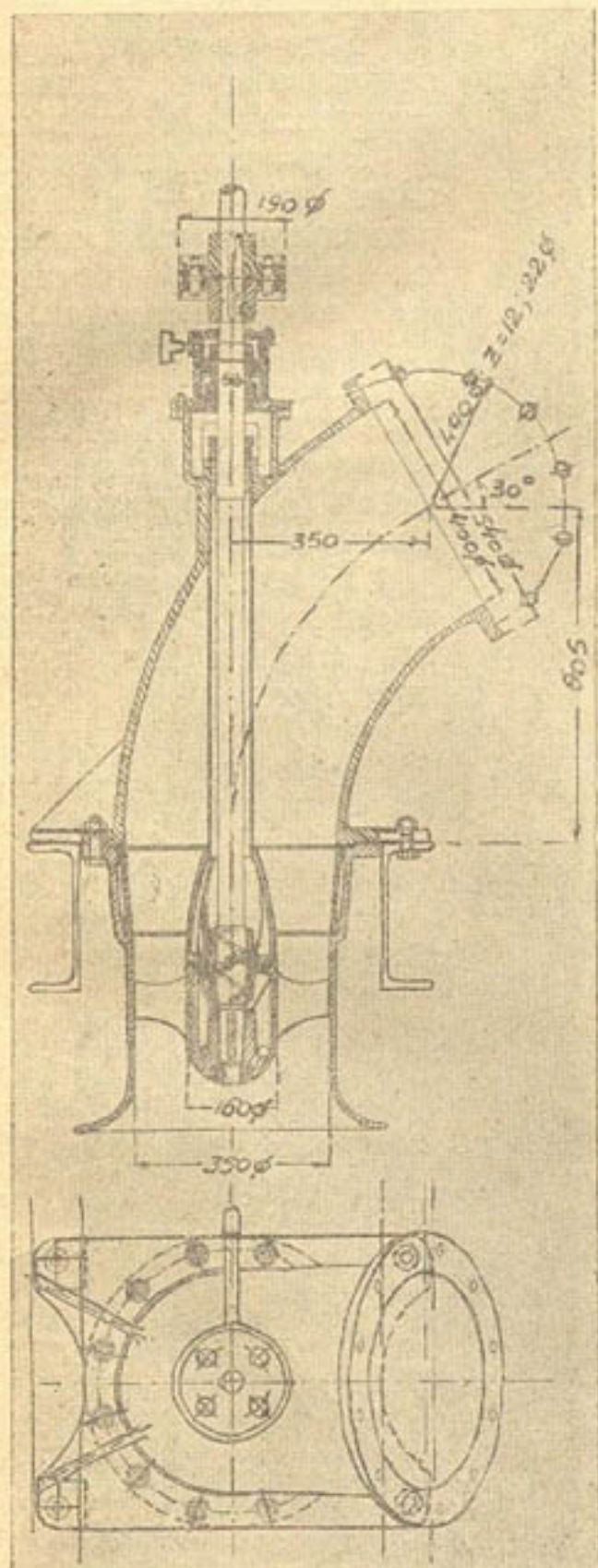


Фото 1.

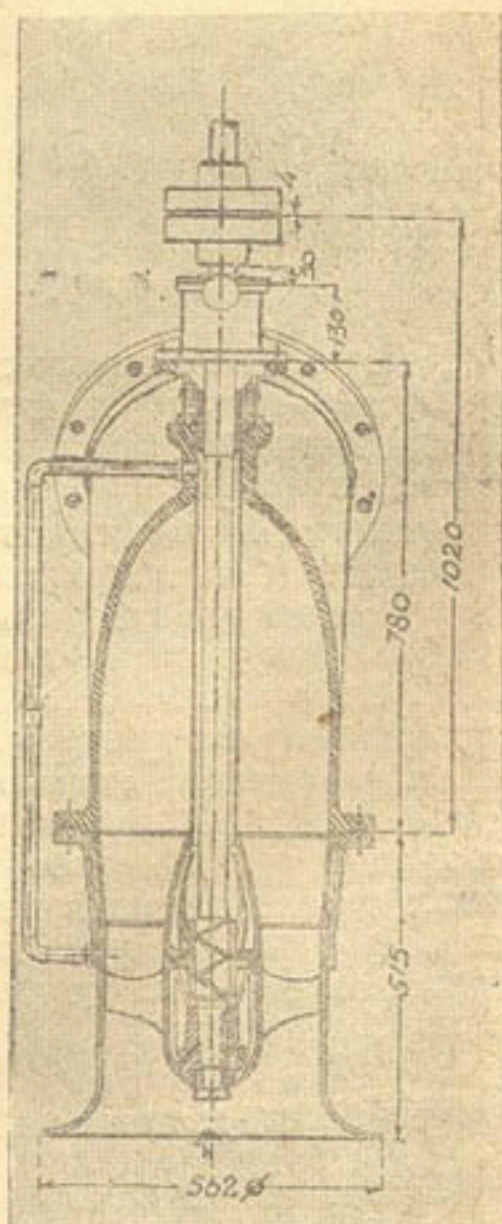


Фото 1-а.

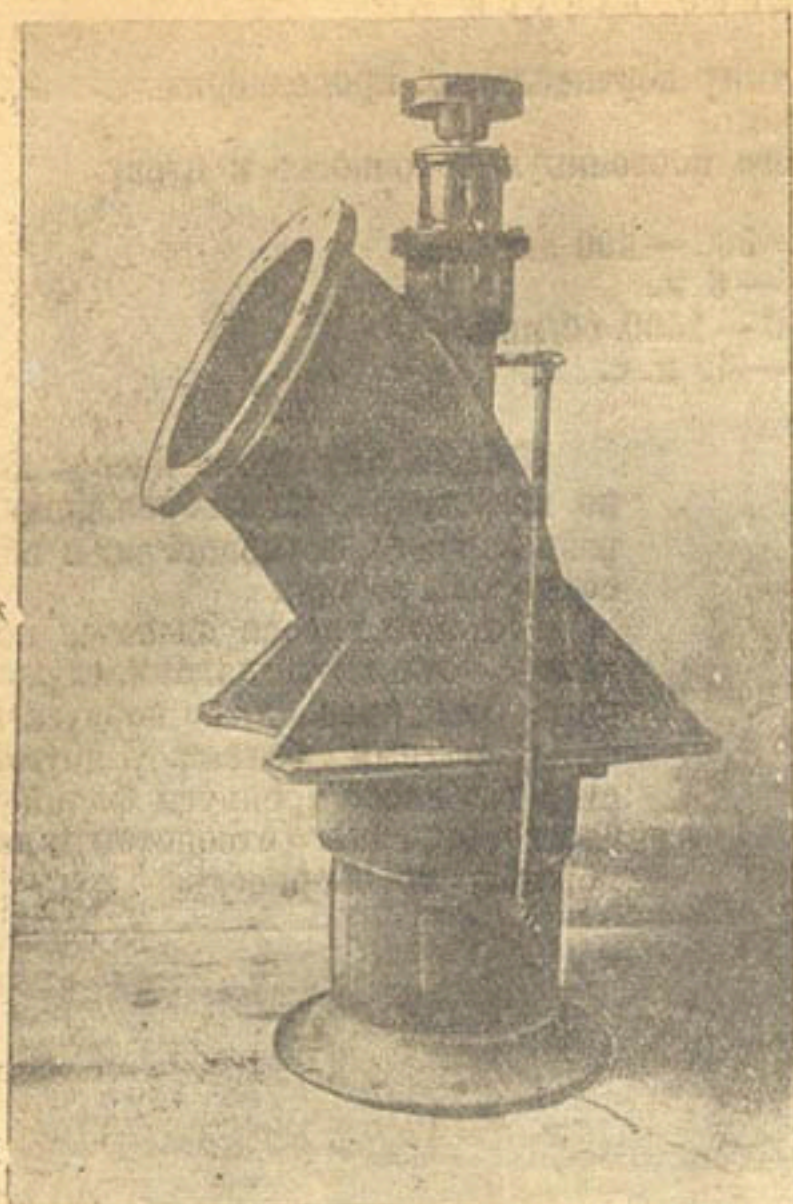


Фото 2.

Материал, из которого сделан насос, — чугун и сталь. Только нижний подшипник бронзовый.

Выполнение обоих насосов производства Ленинградского индустриального института оказалось вполне удовлетворительным. Части, а именно колено и всасывающий патрубок, были испытаны водяным давлением на 5 атмосфер. Обточка частей и сборка их произведены очень точно и тщательно; вал в рабочем состоянии прокручивался совершенно свободно от руки, без малейшего усилия.

Результаты испытания

Испытание насоса дало весьма удовлетворительные результаты. Гарантии по договору были перекрыты, в осо-

Насос обладает рабочим колесом (пропеллером), создающим напор и скорости, и, кроме того, направляющим аппаратом, выправляющим поток.

Направляющий аппарат помещается над рабочим колесом во всасывающей трубке и прибалчивается вместе с последним к нижней части колена.

Ротор состоит из втулки и рабочих лопаток; прикреплен на конце вала.

Вал имеет три подшипника: вверху — осевой и радиальный шарикоподшипники, внизу — бронзовый, со смазкой водой.

Вал защищен трубой от действия основного потока воды; труба одновременно служит и для подачи воды для смазки нижнего подшипника.

Верхний конец вала имеет муфту для крепления с валом мотора или привода.

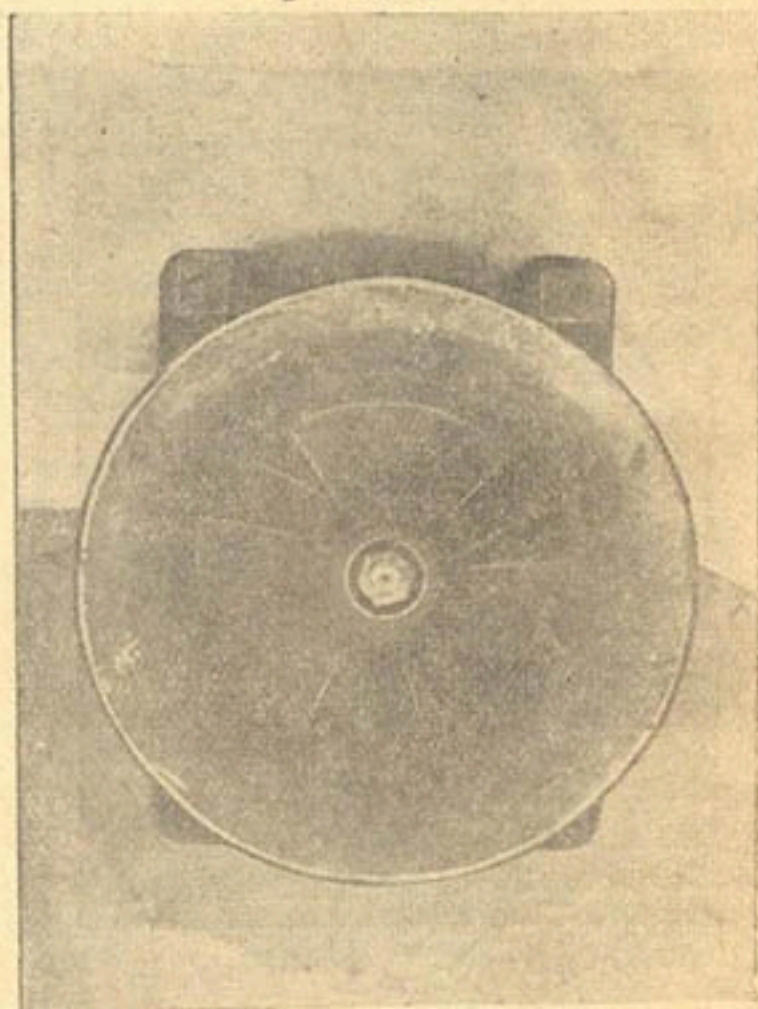
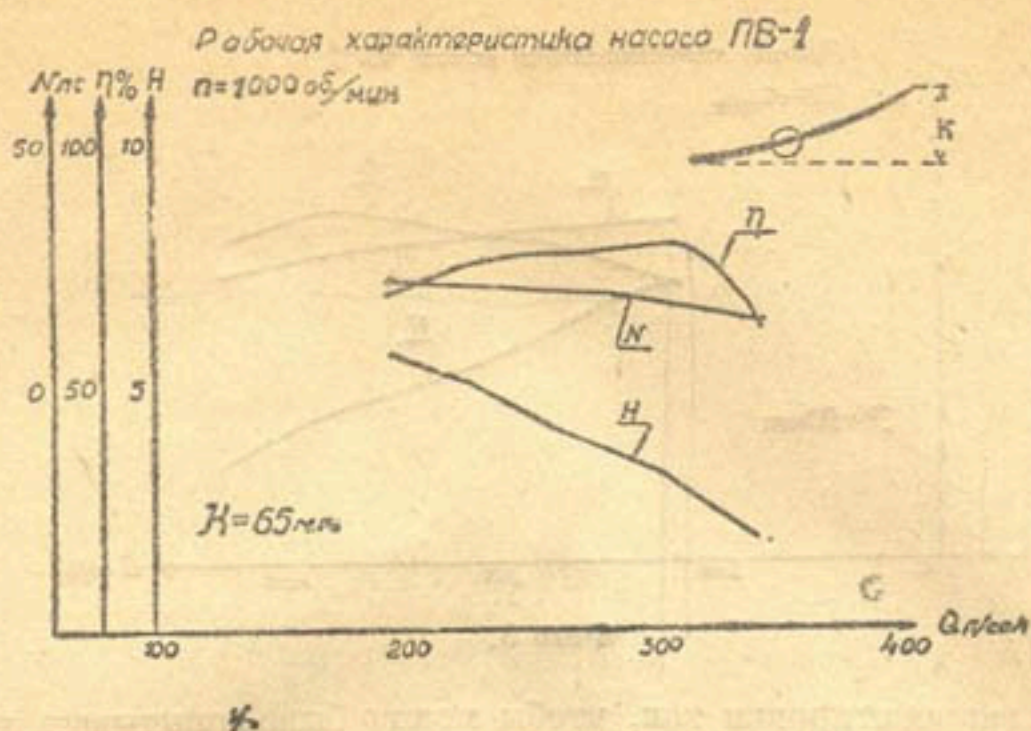


Фото 3.



бенности для напоров 4 и 6 метров, что видно из прилагаемых характеристик насоса.

Были получены следующие данные согласно условиям заказа-договора
I. $H=2,5 \text{ м}$; $Q=325 \text{ л/сек.}$; $n=1000 \text{ об/мин.}$ и к. п. д. $=74\%$ (вместо 72 по договору).

II. $H=4 \text{ м}$; $Q=360 \text{ л/сек.}$; $n=1000 \text{ об/мин.}$ и к. п. д. $=81\%$ (вместо 75 по договору).

III. $H=6 \text{ м}$; $Q=396 \text{ л/сек.}$; $n=1500 \text{ об/мин.}$ и к. п. д. $=80\%$ (вместо 75 по договору).

При испытании никаких явлений кавитации, вибрации и ротора, сотрясений насоса, или каких-либо сопутствующих явлений замечено не было. Высота всасывания была положительна — от $+0,1$ до $+1 \text{ м}$.

Таким образом, можно считать, что насос будет полностью удовлетворять требованиям ирригации Хорезма.

В дальнейшем Гидравлическая лаборатория ЛИИ сделала ряд дополнительных проектов к насосу: головки для привода ремнем, фильтра для очистки смазочной воды, полезного при наличии взвешенных частиц в воде, и, наконец, удлиненного вала с головкой и нижним подшипником насоса (II вариант насоса ПВ-1), необходимого для установки насоса в условиях высоких колебаний нижнего бьефа.

Можно считать, что при правильном исполнении проекта заводом насос должен будет удовлетворять весьма разнообразным требованиям установок на местах.

Производство насосов ПВ-1

Производство насосов организуется на мотороремонтном заводе им. Евдокимова в г. Пятигорске.

План выпуска насосов определяется в 15 единиц в месяц. Все однотипные — ПВ-1 по модели ЛИИ.

Каждый насос предполагается подвергнуть испытаниям перед отправкой и снабдить его паспортом, точно фиксирующим его к. п. д. и прочие технические данные.

Для производства испытаний построен и испытательный стенд, чертежи коего изготовлены Ленгидропроизом.

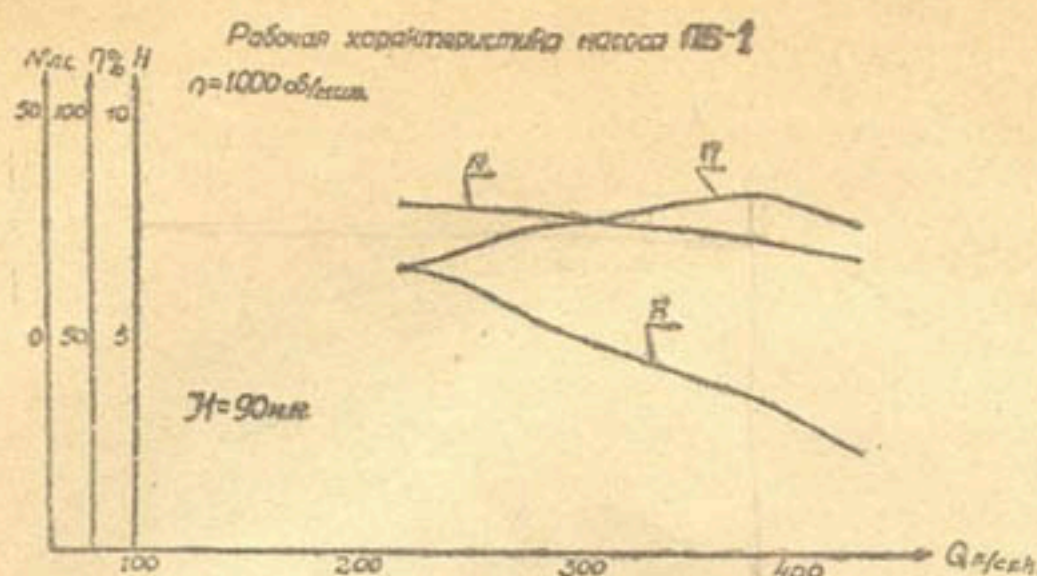


Фото 5.

Стенд запроектирован так, чтобы можно было испытывать не только насос ПБ-1 диаметром 350—400 мм, но и другие типы до 500 мм, включая и горизонтальные пропеллерные.

Примечание. Изготовление пропеллерных насосов на заводе им. Евдокимова временно приостановлено до окончательного уточнения его конструктивных деталей после испытания указанного насоса в производственных условиях Хорезма.

Стоимость пропеллерного насоса указанного типа и размера составит 6—8 тысяч рублей.

Перспективы дальнейшего развития ирригационного насосостроения

Совершенно ясно, что прогресс насосостроительной техники не может остановиться на двух вариантах выработанного типа насоса ПБ-1; необходима дальнейшая работа над ним в смысле освоения кавитации, высоты всасывания, разработки, кроме того, горизонтального типа ПГ-1, как модификации вертикального.

Горизонтальный тип, благодаря весьма многим преимуществам, в особенности со стороны привода при наличии электромоторов, дает сразу

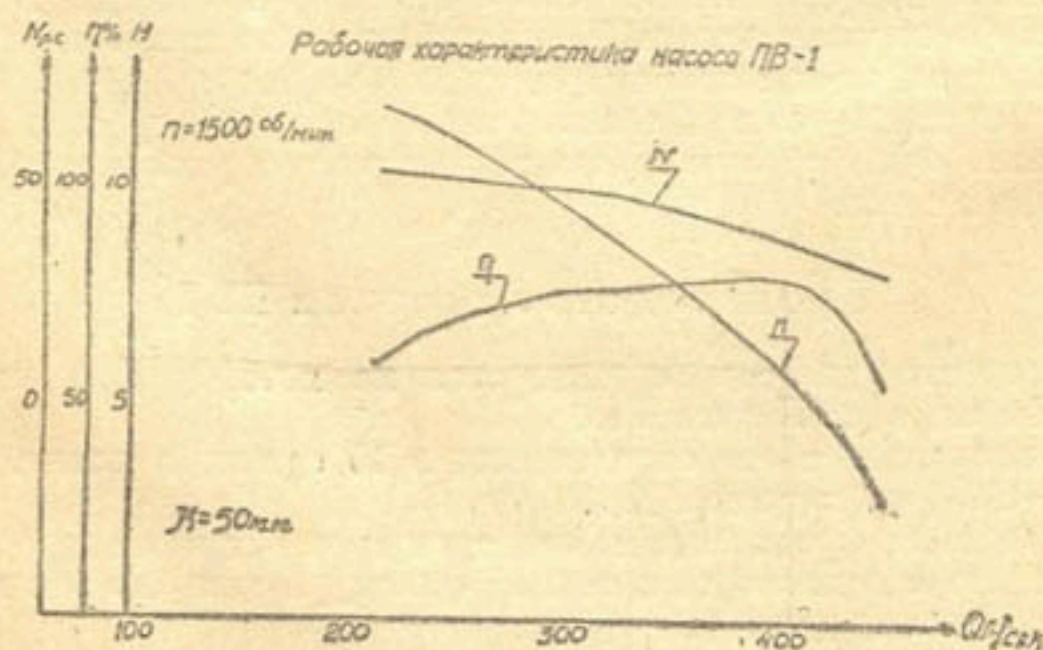


Фото 6.

же толчок к массовому внедрению простых, дешевых, быстроходных пропеллерных агрегатов. Ленгидропроизом, совместно с ЛИИ, начата работа по проектированию горизонтального пропеллерного насоса с последующим его испытанием для освоения высоты всасывания до 3,5 метра.

Большое значение приобретают погруженные насосы вертикального пропеллерного и диагонального типа для откачки грунтовых вод, для орошения и дренажа из скважин и т. п.

Этот тип уже разработан Ленгидропроизом по проекту Гидравлической лаборатории ЛИИ, и в ближайшее время намечено приступить к изготовлению опытного насоса на одном из заводов и к производству испытания в Гидравлической лаборатории ЛИИ.

Все указанные типы существенно необходимы для ирригации. Особенно следует отметить, что промышленность СССР совершенно не дает насосов, специально рассчитанных для малых подъемов или же глубинных насосов.

Существующие типы рассчитываются для напоров не менее 15 метров. В условиях меньших напоров их к. п. д. и производительность чрезвычайно падают, давая в условиях Хорезма чрезвычайно низкие к. п. д. установок. Было бы весьма желательным и полезным запроектировать и построить роторы одного или двух типов существующих серийных насосов, специально рассчитанных для низкого напора. Этим будет осуществлено санирование и увеличение к. п. д. существующих установок Хорезма и других районов СССР.

В заключение следует особо отметить, что в СССР в основе прогресса насосостроения последних лет лежит опытная работа по насосам Москва Волгоканала НКВД и этой опытной работе, так же, как и помощи ЛИИ в лице проф. И. Н. Вознесенского, мы обязаны также и прогрессом в освоении насосов для НКЗ СССР.

Ленинград. 25 октября 1936 г.

Расчет прямоугольных труб

При проектировании трубчатых гидротехнических сооружений приходится часто делать статический расчет железобетонной прямоугольной трубы, находящейся в грунте. Такие трубы встречаются в головных сооружениях и шлюзах, устроенных по типу труб, а также в дюкерах и в других сооружениях. Расчет такой трубы делается по методам угловых деформаций, 3 и 4 моментов, принципу наименьшей работы и др. Для этой цели приходится для данной схемы нагрузок составлять системы уравнений и решением их получать формулы изгибающих моментов. Такая работа требует значительных вычислений и хорошего знания строительной механики. Для того, чтобы облегчить труд проектировщика, в последнее время предложен ряд готовых формул для моментов для различных нагрузок; формулы эти выведены по одному из указанных методов и пользование ими весьма упрощает определение изгибающих моментов, каковое сводится к вычислению различных коэффициентов и к подстановке их в формулы моментов.

Из формул, предложенных для расчета прямоугольных труб, в литературе известны следующие: инж. Алексеевым¹ выведены по методу 4 моментов готовые формулы для 2 и 3-очковых труб при различных нагрузках; по этим формулам можно для каждой нагрузки вычислить моменты и потом получить суммарный момент. По данным Техотдела Москва-Волгострой для расчета 2 и 3-очковой трубы по формулам Алексеева требуется затратить 15 инженеро-дней. Для одноочковой трубы Алексеевым формул не дано. В 1933 г. инж. Бородинским² выведены по методу угловых деформаций готовые формулы для многоочковых труб; расчет здесь сводится к заполнению таблицы, и для многоочковых труб эти формулы надо считать весьма ценными и простыми. В 1930 г. инж. Гиринским³ дано решение одноочковой прямоугольной трубы дюкера. В целях рационализации расчета труб инженерами Техотдела Москва-Волгострой Виноградовым и Кожевниковым⁴ предложены таблицы и номограммы, упрощающие расчет труб. По их данным для расчета одноочковой трубы точным способом требуется 12 инженеро-дней, а для расчета по предлагаемым ими таблицам и номограммам — 1,5 дня, а для 2 и 3-очковой — 2 дня, при чем такой расчет, по их сообщениям, может сделать любой техник. Имея эти номограммы, можно действительно сделать расчет очень быстро.

¹ Формулы инж. Алексеева Н. Ф. приведены:

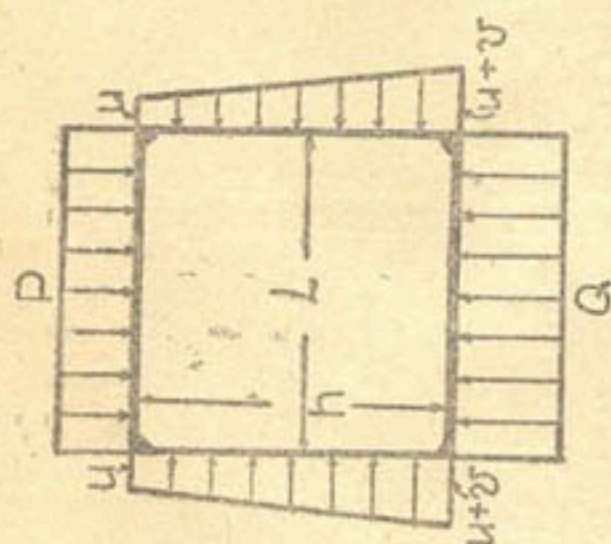
а) В сборнике Моск. высш. техн. училища № 3.

б) В справочнике по гидротехнике и мелиорации, т. I, стр. 629 — 641.

² Инж. Н. Г. Бородинский. „Статический расчет труб“. Изд. Сазгвипровода, 1933 г.

³ Инж. А. К. Гиринский. „К расчету обратного сифона (дюкера)“. „Гидротехник“. Ежегодник Научно-технич. о-ва при Моск. инст. инж. вод. хоз-ва № 1—1929/30 г.

⁴ Инж. Виноградов и инж. М. Кожевников. „Формулы и номограммы для статического расчета труб“. Журнал „Москва-Волгострой“ № 2 — 1936 г.



Чер 1

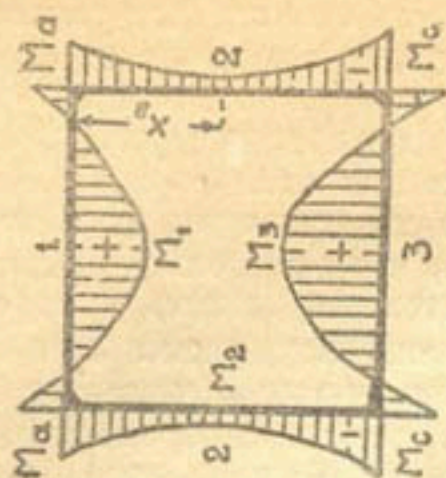
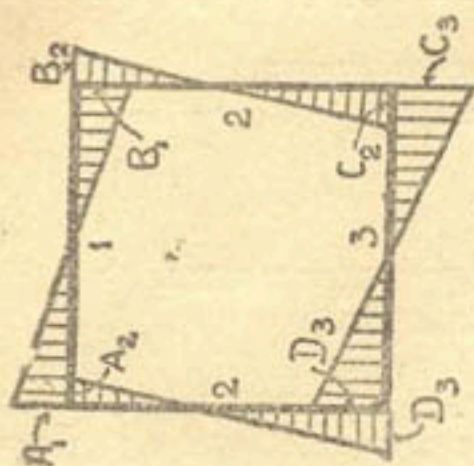
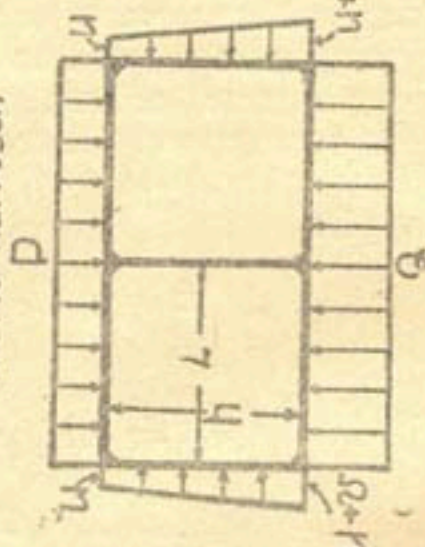
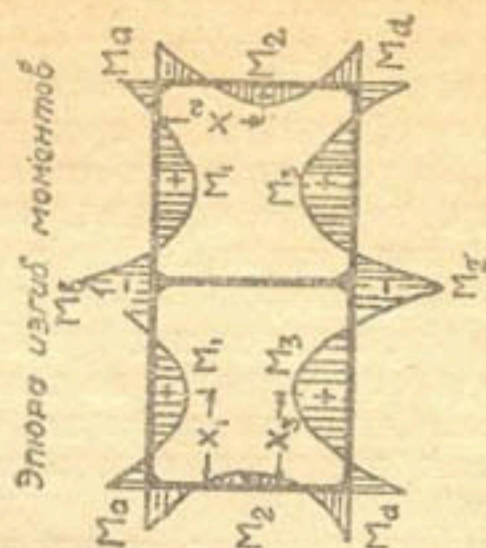
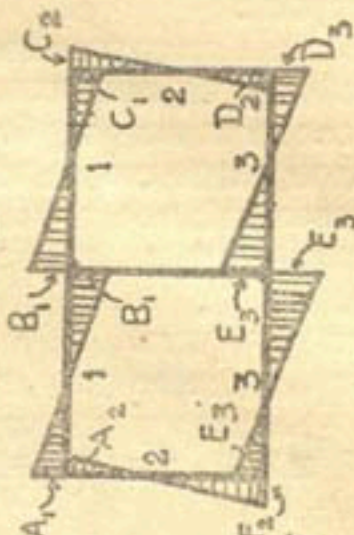


схема нагрузок



Чер 2

Эпюра перерезывающих сил



Реакция грунта складывается из всех вертикальных нагрузок на трубу (врем. нагрузки, засыпки, веса верхнего ригеля). Вес нижнего ригеля в реакцию не входит, так как он лежит на грунте.

Помимо вышеперечисленных нагрузок, для некоторых сооружений может действовать снизу на трубу фильтрационное давление. Такое давление может получиться при закрытых щитах в сооружениях, работающих в условиях напорного грунтового потока, как то: головных, плюзных регуляторов, перегораживающих сооружениях и им подобных. Для узких труб фильтрационное давление можно не учитывать, для широких и многоочковых труб учет фильтрационного давления обязателен.

Интенсивность фильтрационного давления определяется по формуле:

$$q = \gamma (H - h_w) \text{ т/м}^2$$

γ — удельный вес воды;

H — напор;

h_w — потерянный напор до рассматриваемой точки.

$$h_w = \frac{L_x}{L_{\text{фак}}} H$$

L_x — расстояние до рассматриваемой точки от начала понура;

$L_{\text{фак}}$ — фактическая длина пути фильтрации.

Для дюкеров, как для сооружений, работающих в условиях свободного потока, фильтрационного давления на трубу не будет.

Приведем теперь формулы Лонгакра для расчета прямоугольных труб. Имеем следующие обозначения (черт. 1 и 2):

l — ширина трубы в свету в м;

h — высота " " " " " " ;

P — полная нагрузка на верхний ригель трубы на весь пролет в тонн.;

Q — полная нагрузка на нижний ригель трубы на весь пролет в тонн.;

u — интенсивность бокового давления земли на верх трубы в т/м²;

$u + v$ — интенсивность бокового давления земли на низ трубы в т/м²;

I_1 — момент инерции верхнего ригеля в см⁴;

I_2 — " " " " " " стоек " " ;

I_3 — " " " " " " нижнего ригеля " " ;

В формулу изгибающих моментов входят следующие коэффициенты:

$$K_1 = \frac{I_1}{100 l}; K_2 = \frac{I_2}{100 h}; K_3 = \frac{I_3}{100 l};$$

$$n = K_1 K_2; r = K_1 K_3; S = K_2 K_3$$

$$C = 4 (3 K_2^2 + 2n + r + 2S) \text{ — для одноочковой трубы.}$$

Опорные изгибающие моменты в верхних углах трубы:

$$M_a = \frac{-5 (3K_2^2 + 2S) Pl + 5nQl - 5 (3n + r) uh^2 - (7n + 2r) vh^2}{15C}$$

Опорные моменты в нижних углах трубы:

$$M_c = \frac{5SPl - 5 (3K_2^2 + 2n) Ql - 5 (r + 3S) uh^2 - (3r + 8S) vh^2}{15C}$$

Пролетные моменты:

$$\text{для верхнего ригеля } M_1 = \frac{Pl}{8} + M_a;$$

$$\text{для нижнего ригеля } M_3 = \frac{Ql}{8} + M_c;$$

$$\text{" стоек } M_2 = M_a - \frac{ux_2^2}{2} - \frac{vx_2^2}{6h} + A_2 x_2$$

Перерезывающие силы:

$$\text{для верхнего ригеля } A_1 = B_1 = \frac{P}{2}$$

$$\text{" нижнего " } C_3 = D_3 = \frac{Q}{2}$$

$$\text{для стоек вверху} \quad A_2 = B_2 = \frac{M_c - M_a}{h} + \frac{(3u + v)h}{6}$$

$$\text{для стоек внизу} \quad C_2 = D_2 = \frac{M_a - M_c}{h} + \frac{(3u + 2v)h}{6}$$

Место наибольшего момента в пролете стойки (положительного или отрицательного) определяется расстоянием x_2 от внутренней грани верхнего ригеля:

$$x_2 = \frac{\sqrt{2hvA_2 + h^2u^2} - hu}{v}$$

Этот момент может быть положительным или отрицательным, что зависит от величины нагрузки на верхний ригель и величины бокового давления земли. На эпюрах положительные моменты отложены вниз от линии, отрицательные — вверх.

Для 2-очковой трубы, изображенной на черт. 2, имеем те же самые коэффициенты K_1, K_2, K_3, n, r и S , что и для одноочковой трубы. Значение $C = 4 [3K_2^2 + 4(n + r + S)]$

Моменты в крайних углах:

$$M_a = \frac{10n Ql - 5(3K_2^2 + 4S) Pl - 20(3n + r) uh^2 - 4(7n + 4r) vh^2}{30C}$$

$$M_d = \frac{10SPl - 5(3K_2^2 + 4n) Ql - 20(2r + 3S) uh^2 - 4(6r + 8S) vh^2}{30C}$$

Моменты в средних углах:

$$M_b = \frac{5nQl + 5(3K_2^2 + 6n + 6r + 4S) Pl - 10(3n + 2r) uh^2 - 2(7n + 4r) vh^2}{30C}$$

$$M_c = \frac{5SPl + 5(3K_2^2 + 4n + 6r + 6S) Ql - 10(2r + 3S) uh^2 - 2(6r + 8S) vh^2}{30C}$$

Пролетные моменты:

$$\text{для верхнего ригеля} \quad M_1 = -\frac{Px_1^2}{4l} + M_a + A_1 x_1$$

$$\text{для нижнего ригеля} \quad M_3 = -\frac{Qx_3^2}{4l} + M_d + D_3 x_3$$

$$\text{„ стоек} \quad M_2 = M_1 - \frac{ux_2^2}{2} - \frac{vx_2^2}{6h} + A_2 x_2$$

Перерезывающие силы:

$$\text{для верхнего ригеля} \quad A_1 = C_1 = \frac{M_b - M_a}{l} + \frac{P}{4}$$

$$B_1 = \frac{M_a - M_b}{l} + \frac{P}{4}$$

для нижнего ригеля $D_3 = F_3 = \frac{M_e - M_d}{l} + \frac{Q}{4}$

$$E_3 = \frac{M_d - M_e}{l} + \frac{Q}{4}$$

для стоек вверх $A_2 = C_2 = \frac{M_d - M_a}{h} + \frac{(3u + v)h}{6}$

„ „ вниз $D_2 = F_2 = \frac{M_a - M_d}{h} + \frac{(3u + 2v)h}{6}$

Местоположения наибольших пролетных моментов определяются расстояниями x :

для верхнего ригеля (расстояние от внутренней грани стойки)

$$x_1 = \frac{2A_1 l}{P}$$

для нижнего ригеля

$$x_3 = \frac{2D_3 l}{Q}$$

для стойки (расстояние от внутренней грани верхнего ригеля)

$$x_2 = \frac{\sqrt{2hvA_2 + h^2u^2} - hu}{v}$$

Пример. Сделать статический расчет прямоугольной трубы плюза-регулятора (черт. 3).

Данные: глубина в верхнем бьефе $H = 2,5$ м;
 ширина трубы в свету $l = 2,0$ м;
 высота „ „ „ $h = 1,60$ м;
 величина засыпки над трубой $H_1 = 1,40$ м;
 грунт—лесс; $\gamma = 1,8$ т/м³; $\varphi = 30^\circ$.

Материал трубы—железобетон (марка — 110).

Задаемся толщиной верхнего ригеля и стоек 0,20 м и нижнего ригеля 0,25 м. Схема нагрузок на трубу представлена на черт. 3. Определим величины этих нагрузок.

1. Давление засыпки на весь пролет верхнего ригеля

$$p_1 = \gamma_3 H l = 1,8 \times 1,4 \times 2 = 5,04 \text{ т.}$$

2. Собственный вес верхнего ригеля

$$p_2 = 0,2 \times 2 \times 1 \times 2,4 = 0,96 \text{ т.}$$

Суммарная нагрузка на верхний ригель $P = 6,00$ т.

3. Интенсивность бокового давления земли на стойку:

для верха трубы

$$u = \gamma_3 H_u \operatorname{tg}^2(45 - \frac{\varphi}{2}) = 1,8 \times 1,6 \times 0,333 = 0,95 \text{ т/м}^2;$$

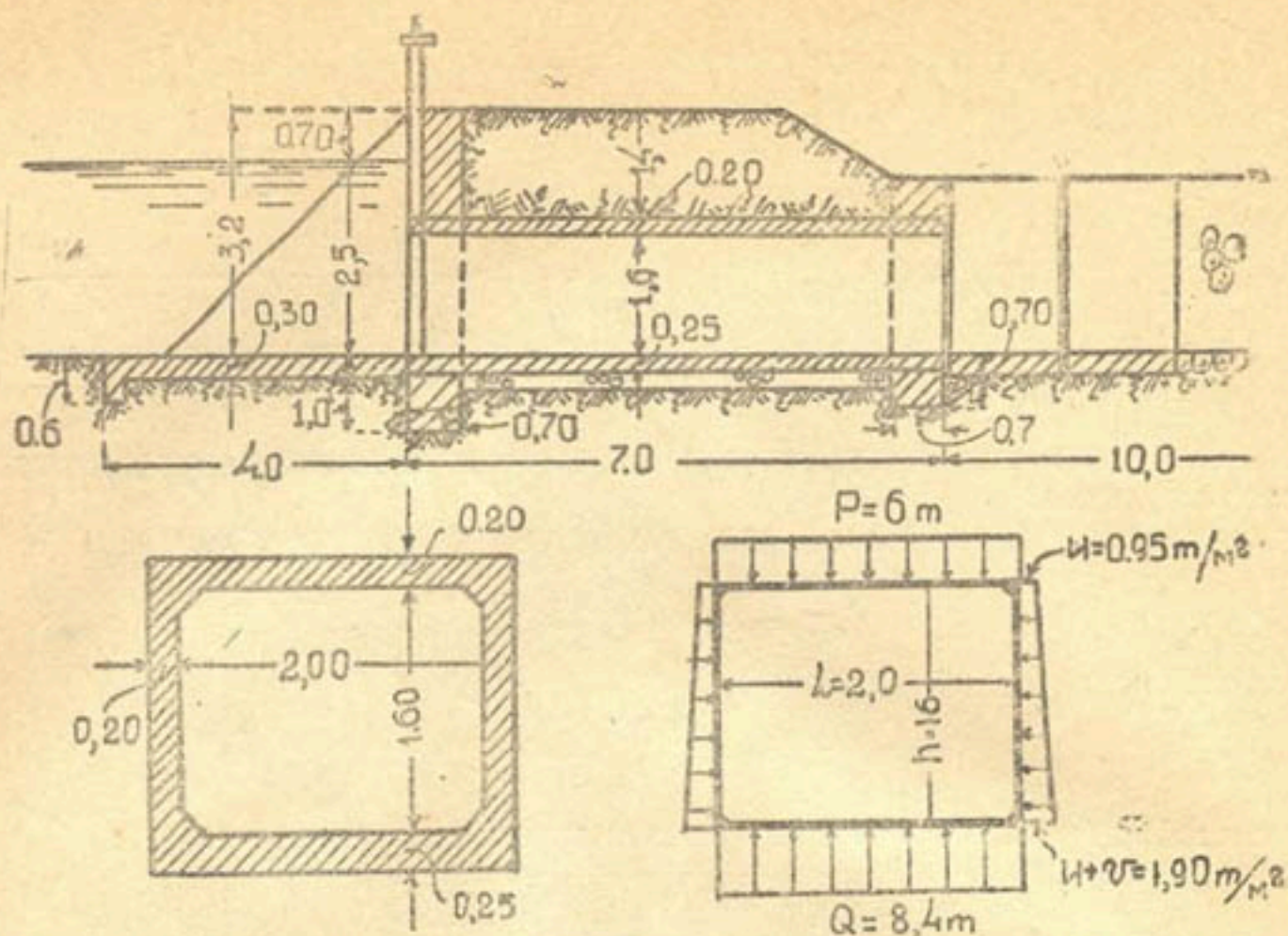
для низа трубы

$$u + v = \gamma_3 H_v \operatorname{tg}^2(45 - \frac{\varphi}{2}) = 1,8 \times 3,2 \times 0,333 = 1,90 \text{ т/м}^2;$$

$$v = (u + v) - u = 1,90 - 0,95 = 0,95 \text{ т/м}^2.$$

4. Реакция грунта

$$p_1 = p_1 + p_2 = 5,04 + 0,96 = 6 \text{ тонн.}$$



Черт. 3

5. Фильтрационное давление на нижний ригель:

Фактическая длина пути фильтрации:

$$L_{\text{фак}} = 0,6 + 0,3 + 0,7 + 0,75 + 0,45 + 0,7 + 4 + 7 = 14,5 \text{ м.}$$

Расстояние от начала понура до середины расчетного сечения трубы:

$$L_x = 0,6 + 0,3 + 0,7 + 0,7 + 0,75 + 0,5 + 4,0 = 7,55 \text{ м.}$$

Интенсивность фильтрационного давления

$$p_4 = \gamma (H - h_w) = \gamma \left(H - \frac{L_x}{L_{\text{фак}}} H \right) =$$

$$= 1,00 \left(2,5 - \frac{7,55}{14,5} 2,5 \right) = 1,20 \text{ т/м}^2.$$

Фильтрационное давление на весь пролет нижнего ригеля:

$$p_5 = p_4 l = 1,20 \times 2 = 2,4 \text{ тн.}$$

Полное давление на весь нижний ригель:

$$Q = p_3 + p_5 = 6,0 + 2,4 = 8,4 \text{ тн.}$$

Определим моменты инерции ригелей и стоек, пренебрегая арматурой, что по нормам разрешается делать.

Момент инерции верхнего ригеля

$$I_1 = \frac{bh^3}{12} = \frac{100 \times 20^3}{12} = 66700 \text{ см}^4.$$

Момент инерции нижнего ригеля

$$I_2 = \frac{bh^3}{12} = \frac{100 \times 25^3}{12} = 129000 \text{ см}^4.$$

Момент инерции стойки

$$I_3 = \frac{bh^3}{12} = \frac{100 \times 20^3}{12} = 66700 \text{ см}^4.$$

Вычислим постоянные коэффициенты:

$$K_1 = \frac{I_1}{100 \cdot l} = \frac{66700}{100 \times 200} = 3,33 \quad r = K_1 K_3 = 3,33 \times 6,45 = 21,7$$

$$K_2 = \frac{I_2}{100 \cdot h} = \frac{66700}{100 \times 160} = 4,17 \quad S = K_2 K_3 = 4,17 \times 6,45 = 26,8$$

$$K_3 = \frac{I_3}{100 \cdot l} = \frac{129000}{100 \times 200} = 6,45 \quad C = 4(3 K_2^2 + 2n + r + 2S) =$$

$$n = K_1 K_2 = 3,33 \times 4,17 = 13,8 \quad = 4(3 \times 4,17^2 + 2 \times 13,8 + 21,7 + 2 \times 26,8) = 642.$$

Моменты в верхних углах трубы:

$$M_a = \frac{5nQl - 5(3K_2^2 + 2S)Pl - 5(3n + r)uh^2 - (7n + 2r)vh^2}{15C} =$$

$$= \frac{5 \times 13,8 \times 8,4 \times 2 - 5(3 \times 4,17^2 + 2 \times 26,8)6 \times 2 - 5(3 \times 13,8 + 21,7)}{15 \times 642}$$

$$\frac{0,95 \times 1,6^2 - (7 \times 13,8 + 2 \times 21,7) \times 0,95 \times 1,6^2}{15 \times 642} = -0,65 \text{ т. м.}$$

Моменты в нижних углах трубы:

$$M_c = \frac{5SPl - 5(3K_2^2 + 2n)Ql - 5(r + 3S)uh^2 - (3r + 8S)vh^2}{15C} =$$

$$= \frac{5 \times 26,8 \times 6 \times 2 - 5(3 \times 4,17 + 2 \times 13,8)8,4 \times 2 - 5(21,7 + 3 \times 26,8)0,95 \times$$

$$\times 1,6^2 - (3 \times 21,7 + 8 \times 26,8)0,95 \times 1,6^2}{15 \times 642} = -0,73 \text{ т. м.}$$

Перерезывающие силы:

$$\text{для верхнего ригеля} \quad A_1 = C_1 = \frac{P}{2} = \frac{6,0}{2} = 3,0 \text{ т;}$$

$$\text{„ нижнего „} \quad C_3 = D_3 = \frac{Q}{2} = \frac{8,4}{2} = 4,2 \text{ т;}$$

$$\text{для стоек вверху} \quad A_2 = B_2 = \frac{M_c - M_a}{h} + \frac{(3u + v)h}{6} =$$

$$= \frac{-0,73 - (-0,65)}{1,6} + \frac{(3 \times 0,95 + 0,95)1,6}{6} =$$

$$= -0,08 + 1,01 = 0,93 \text{ т.}$$

$$\text{для стоек внизу} \quad C_2 = D_2 = \frac{M_a - M_c}{h} + \frac{(3u + 2v)h}{6} =$$

$$= \frac{-0,65 - (-0,73)}{1,6} + \frac{(3 \times 0,95 + 2 \times 0,95)1,6}{6} =$$

$$= 0,08 + 1,27 = 1,35 \text{ т.}$$

Наибольшие моменты в пролетах:

$$\text{верхний ригель } M_1 = M_a + \frac{Pl}{8} = -0,65 + \frac{6 \times 2}{8} = 0,85 \text{ т.м.}$$

$$\text{нижний ригель } M_2 = M_c + \frac{Ql}{8} = -0,73 + \frac{8,4 \times 2}{8} = 1,37 \text{ т.м.}$$

Расстояние от внутренней грани верхнего ригеля до наибольшего момента в стойке:

$$x_2 = \frac{\sqrt{2h\nu A_2 + h^2 u^2} - hu}{\nu} =$$

$$= \frac{\sqrt{2 \times 1,6 \times 0,95 \times 0,93 + 1,6^2 \times 0,95^2} - 1,6 \times 0,95}{0,95} = 0,79 \text{ м.}$$

Наибольший пролетный момент в стойке:

$$M_2 = M_a - \frac{u x_2^2}{2} - \frac{\nu x_2^2}{6h} + A_2 x_2 =$$

$$= -0,65 - \frac{0,95 \times 0,79^2}{2} - \frac{0,95 \times 79^2}{6 \times 1,6} + 0,93 \times 0,79 = -0,26 \text{ т.м.}$$

Имея теперь наибольшие моменты, перейдем к определению арматуры в трубе, имея заданную толщину стен трубы.

Верхний ригель.

Для опоры $M_a = 0,65 \text{ т. м}$; $\sigma_b = 50 \text{ кг/см}^2$. $\sigma_c = 1250 \text{ кг/см}^2$
Марка — 110 кг/см².

$$\text{Необходимая высота плиты } h - a = C_1 \sqrt{\frac{M}{b}} =$$

$$= 0,349 \sqrt{\frac{65000}{100}} = 8,9 \text{ см, принято } h = 20 \text{ см.}$$

Необходимое количество арматуры на опоре:

$$f_c = \frac{M}{\gamma/8 h_1 \sigma_c} = \frac{65000}{\gamma/8 \times 17 \times 1250} = 3,88 \text{ см}$$

берем 5 $\varnothing$ 10 мм — 3,93 см².

Необходимое количество арматуры на пролете:

$$f_c = \frac{M}{\gamma/8 h_1 \sigma_c} = \frac{73000}{\gamma/8 \times 17 \times 1250} = 4,40 \text{ см}^2.$$

берем 6 $\varnothing$ 10 мм — 4,71 см².

Таким же образом можно определить количество арматуры в стойке и в нижнем ригеле.

Проверим скалывающие напряжения в верхнем ригеле

$$C_1 = \frac{h_1}{\sqrt{\frac{M}{b}}} = \frac{17}{\sqrt{\frac{65000}{100}}} = 0,67$$

$$Z = S h_1 = 0,930 \times 17 = 15,8 \text{ см.}$$

S взято по таблицам Сахновского.

$$\tau = \frac{A_1}{bZ} = \frac{3000}{100 \times 15,8} = 1,90 \text{ кг/см}^2 < \text{допускаемых } 4,4 \text{ кг/см}^2.$$

Хомутов и отогнутых стержней по расчету не требуется.

Просадки в лессах

При сооружении новых (а иногда и при расширении старых) ирригационных каналов в последние годы в Средней Азии и на Северном Кавказе неоднократно отмечались случаи, когда лессовые грунты при обильной замочке их водой проседали. Явления просадок во многих районах были известны и ранее, но впервые они в Средней Азии привлекли особое внимание в 1926 г., когда начавшаяся после первого пуска воды осадка грунтов на построенной начальной части ирригационного канала Новый Джун вызвала постоянные прорывы стенок этого канала и разрушение различных сооружений на нем. Сходные явления деформации позднее отмечены были еще в ряде пунктов, например, при пуске и эксплуатации вновь построенных ирригационных каналов: Пахта-арал в Голодной степи, Хасан-сан, Хазар-хан, Хазар-бак и Кум-курган в Сурхандарьинском районе, Вахшский магистральный канал в Таджикистане, ирригационная сеть и поля орошения на вновь освоенных землях к западу от г. Кенимеха и др.

1. Описание явлений

Просадка в лессовых грунтах, обнаруживающаяся вскоре же после пропуска по вновь сооруженным каналам воды, внешне проявляется в оседании их дна и прилегающих береговых участков. Оседание это всегда, как правило, сопровождается нарушением целостности опускающегося массива, в котором возникает целый ряд вертикальных трещин, идущих вдоль канала. По этим трещинам массив распадается на ряд отдельных небольших террас, параллельных каналу. По мере удаления в стороны от канала величина вертикального смещения этих террас постепенно уменьшается, наибольшее же смещение наблюдается по дну канала (до 1,5 и даже 2 м). Количество ступеней достигает 5—6 и более по каждому берегу канала, при чем для большинства случаев характерна симметричность как в отношении количества, так и размеров этих ступеней. Лишь в тех случаях, когда канал проходит по косогору, более интенсивное оседание отмечается на высоком берегу. Схематическое изображение поперечного разреза канала после просадки показано на рис. 1.

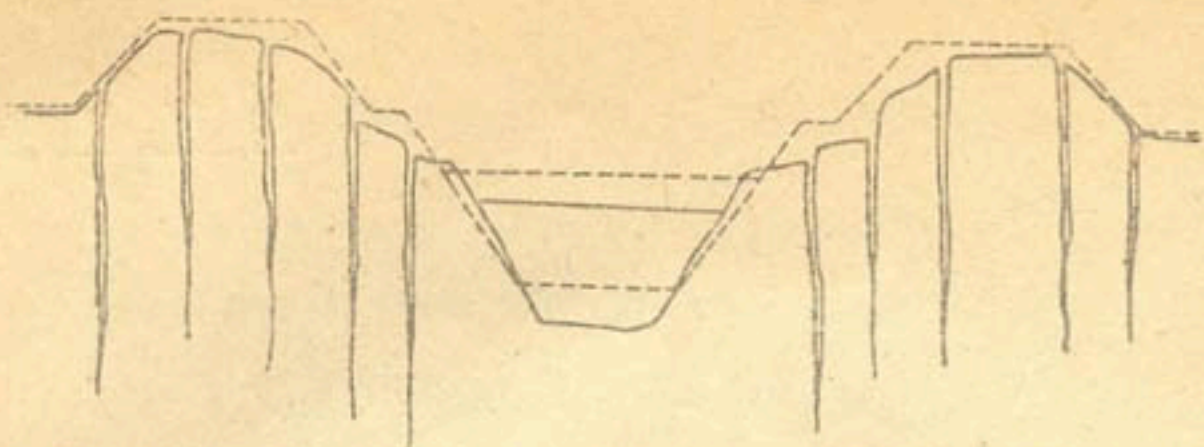


Рис. 1. Поперечный профиль канала после просадки грунта.

Во всех случаях образование террас проседания происходит не одновременно, а последовательно: вначале опускается первая (ближайшая к каналу) терраса, за ней вторая, третья и т. д. По мере распространения просадки в стороны от канала нижние террасы продолжают опускаться; при этом опускающийся массив первой террасы часто несколько выпучивает нижнюю часть откоса и дно канала.

Поперечный разрез канала после просадки грунта имеет ступенчатый характер и по внешнему виду довольно близко сходен с поперечным профилем крупных каналов или оврагов, где развиты ступенчатые оползни. Однако, при внимательном рассмотрении террас, образующихся при оползнях, с одной стороны, и при просадках, с другой, выясняется отличие одних от других, заключающееся не только в различии вызывающих их причин, но и в характере процессов смещения и во внешней форме. В то время, как смещающиеся при оползневых явлениях участки сдвигаются со своего места, а поверхности их имеют обратный уклон, при просадках смещающиеся участки остаются на своих местах, при чем поверхности их почти всегда увеличивают имеющийся или же приобретают некоторый уклон в сторону выемки. Это различие в уклонах поверхности находит свое объяснение в том, что в первом случае трещины, отделяющие одну террасу от другой, в вертикальном направлении характеризуются наличием некоторого уклона в сторону выемки, а во втором случае они ориентированы обычно строго вертикально. Помимо того, оползневые участки редко достигают в длину более 30—40 м, тогда как террасы, возникающие при просадочных явлениях, отличаются часто своей весьма значительной протяженностью вдоль каналов (на 300—500 м, а иногда и на несколько километров непрерывно).

Ширина зоны деформаций испытывает значительные колебания не только для различных районов, но даже и в пределах одного и того же канала, в особенности, если последний проходит по более или менее пересеченной местности. По наблюдениям М. М. Решеткина (8 и 17), для магистрали Нового Джуна (Приташкентский район), при расходе поверхностного потока в несколько кубометров в 1 секунду, распространение просадки в обе стороны от канала на различных его участках в 1929 г. варьировало в пределах от 4 до 20 и более метров. На других ирригационных системах (например, арык Хасан-хан в бассейне Сурхандарьи и хозяйственный арык второго строительного участка Вахшстроя) ширина деформирующейся полосы в первые месяцы эксплуатации не превышала 4—5 м. Какая-либо определенная и вполне закономерная зависимость между расходом воды в канале, его шириной и скоростью течения воды в нем, с одной стороны, и глубиной опускания дна, скоростью этого опускания, количеством террас, шириной всей зоны деформации и общей длительностью явлений оседания, с другой стороны,

до сих пор не установлена. Это может быть объяснено главным образом недостаточностью собранного в настоящее время материала наблюдений. Безусловно, некоторая зависимость между этими факторами имеется, но решающим моментом в интенсивности просадок, несомненно, является состояние лессовых грунтов. Имеющиеся же материалы показывают лишь, что признаки проседания грунтов проявляются вскоре же (через несколько дней, а иногда и часов) после первого пуска воды по каналу, проложенному в подверженных просадкам лессовых породах. Так, например, по свидетельству П. Д. Глебова (6), на опытном участке в Золотой орде (Голодная степь) после пуска воды по каналу стали сразу же наблюдаться деформации дна, стенок и дамб. При этом абсолютные значения величины осадок были невелики, но в процентном отношении к общей высоте канала они достигали 20% и более. Наиболее интенсивно грунт проседает в течение первых 3—5 месяцев работы сооружения, затем проседание постепенно затухает на протяжении ряда лет.

Повидимому, чем глубже и шире канал, чем чаще происходит чередование его наполнения и осушения и чем меньше содержится в воде взвешенных частиц, тем быстрее и интенсивнее (при прочих равных условиях) идет процесс оседания грунта.

Появляющиеся при просадках параллельные каналу трещины по своим размерам очень непостоянны. Гидрогеолог М. М. Решеткин (8, стр. 28), изучавший в 1929 г. явления просадок на Новом Джуе, по этому поводу говорит следующее: „Трещины, отделяющие террасы оседания друг от друга и от целинного массива, имеют обычно зияющий характер, при чем ширина их у поверхности земли весьма непостоянна, колеблясь в широких пределах как на отдельных поперечниках, так и по длине канала. Предельная ширина обычно достигает нескольких дециметров. Изредка в местах, где каналы проходят в глубоких выемках, ширина их превышает 1 метр. Книзу трещины сужаются, при чем глубина, доступная для промеров, составляет несколько метров, а наибольшая из известных величин достигает 7 м“. Большое различие в размерах трещин, наблюдаемое даже на соседних, близко расположенных друг к другу участках, отмечается и рядом других исследователей для многих районов Средней Азии.

Наличие трещин указывает на то, что грунт, помимо вертикальной осадки, дает при просадочных явлениях и некоторую горизонтальную (боковую) усадку.

Различным районам присущи различные внешние формы проявления просадочности. Наблюдения В. С. Гвоздева (5) на Малокабардинском канале (Северный Кавказ), М. М. Решеткина (8) на нижней части Нового Джуна (Приташкентский район), Г. К. Титова на Хазар-баке и Хазар-хане (бассейн Сурхан-дарьи) и ряда других исследователей показывают, что участки проседания по отношению к длине каналов чаще всего располагаются прерывисто. Трещины, очерчивающие террасы оседания, на большем своем протяжении идут параллельно каналу, а затем довольно резко поворачивают в его сторону и эллиптически смыкаются с такими же трещинами другого берега. В результате образуются несколько вложенных один в другой эллипсов, сильно вытянутых вдоль канала. На Малокабардинском канале протяженность некоторых эллипсов оседания достигает 1 км и более, тогда как на Хазар-хане и Хазар-баке их длина не превышает 20—25 м. На хозяйственном же арыке второго участка Вахшстроя наблюдались эллипсы оседания (каждый по 15—40 м в длину), располагающиеся не прерывистыми участками, а сливающимися вместе, перекрывая друг друга; в таком виде они прослеживались на очень большом протяжении (несколько километров). Наиболее же от-

четливо непрерывное распространение террас было прослежено в верхнем течении Нового Джуна, где на протяжении первых 15 км трещины идут параллельно каналу, и лишь в отдельных случаях некоторые из них приближаются к нему и с ним пересекаются.

Накопившиеся к настоящему моменту материалы наблюдений по просадкам в лессе дают возможность установить, что просадочные явления приурочены почти исключительно к слабо покатым предгорным равнинам, сложенным сильно пористыми лессовидными породами пролювиального или делюво-пролювиального происхождения.

В большинстве случаев эти целинные массивы до недавнего времени были использованы лишь для богарного земледелия; на протяжении же последних лет, вследствие быстрого роста ирригационного строительства и расширения площади орошаемых земель, они во многих районах явились объектом использования для поливного хозяйства, в связи с чем и стали наблюдаться многочисленные случаи деформации грунтов в виде просадок. Более плотные аллювиальные глинистые отложения нижних речных террас, издавна усиленно орошаемые широко разветвленной оросительной сетью, явлений просадок почти никогда не дают. Лессовидные же образования, обладающие свойством просадочности, но ранее в течение некоторого срока подвергавшиеся орошению и затем почему-либо заброшенные, при новом увлажнении способны вновь давать просадки. Так, например, проведенные в сентябре и октябре 1934 г. Упраголом опыты с замочкой котлованов на опытном участке „Земля и труд“ (11 и 12) показали, что развитые здесь мелкопылеватые тяжелые суглинки и легкие глины, подвергавшиеся до 1926 г. орошению, после промачивания их в продолжение 20 суток (с небольшим перерывом) дали просадку до 20 см.

Существует известная зависимость интенсивности просадок и от условий рельефа. В понижениях, где происходит скопление дождевых и талых снеговых вод, постепенно проникающих в грунт и обычно его промачивающих, просадочные деформации встречаются реже и не достигают таких размеров, как в местах более повышенных.

Просадки в лессах под воздействием проникающей в грунт с поверхности воды происходят не только на ирригационных каналах, но также и на участках, подвергающихся впервые искусственному орошению. Однако, явления деформации здесь носят уже существенно иной характер, что стоит в непосредственной связи с несравненно меньшим количеством воды, приходящейся на единицу площади, и с гораздо меньшей длительностью единовременного промачивания грунта. На орошаемых полях наибольшее количество воды проникает в грунт в тех точках, где имеются следы жизнедеятельности организмов в виде нор землероев и канальцев, оставшихся на месте сгнивших корней растений. При сколько-нибудь длительных поливах вокруг этих пустот, являющихся водопоглощающими отверстиями, возникают участки проседания, состоящие из располагающихся концентрическими кругами нескольких террасок, придающих этим участкам вид ступенчатых воронок диаметром от 1—2 до 5—6 м и глубиной до 0,5—1 м. При затоплении полей из центра этих воронок в течение нескольких часов и даже суток вырывается заключенный в пустотах воздух, вследствие чего эти водопоглощающие отверстия напоминают крохотные вулканчики. Обильное выделение почвенного воздуха происходит также и на той площади, где количество крупных пустот меньше и где воронки образуются реже. Так, например, на участке Золотой орды при затоплении делянок, даже орошавшихся частично ранее, покрывавшая их вода, по свидетельству П. Д. Глебова (6), представляла собой букваль-

по кипящий котел, с такой силой и в таком большом количестве прорывался сквозь нее почвенный воздух. При дальнейшем обильном проникновении воды в поглощающие отверстия, остающиеся на дне образовавшихся воронок, происходит постепенно расширение и углубление последних. С течением времени, после прекращения попадания воды в сколько-нибудь значительных количествах, очертания воронок сглаживаются, и они превращаются в так называемые „стенные блюдца“.

Образование подобного типа просадочных воронок происходит и в естественной обстановке в пустынных или полупустынных областях, сложенных толщами лесса, не подвергавшегося сильному увлажнению. По свидетельству Н. А. Димо (7), производившего в 1916 году почвенные исследования в бассейнах рек Сыр-дарьи и Аму-дарьи, проникновение атмосферных вод в жилища термитов в неорошенной части Голодной степи приводит к образованию на поверхности земли различных размеров воронок оседания. Следует отметить, что в естественных условиях процесс образования воронок проседания, находящийся в непосредственной зависимости от интенсивности редко выпадающих в сухих пустынных пространствах проливных дождей, протекает во много раз медленнее, нежели на искусственно орошаемых участках. Так, Г. И. Туркиным (18) при проведении в 1932 г. опытных работ с замочкой котлованов на плато Ак-газа (2-й строительный участок Вахшского магистрального канала) было отмечено, что на месте глубоких ходов муравьев после замочки в течение 30—40 дней образовались вертикальные шахты, глубиной до 0,8—1 м и диаметром 0,6 м. В природных же условиях образование шахт подобных размеров растянулось бы на ряд лет.

Весьма интересным является вопрос о том, с какой скоростью происходит просадка и какова скорость просачивания воды в грунт в разные периоды замочки канала или котлована. Фактического материала по этому вопросу очень мало. Имеются некоторые данные лишь у Г. И. Туркина (18). Эти данные показывают постепенное, довольно плавное, уменьшение скорости фильтрации воды в грунт по мере промачивания его водой. Так, в опытном котловане № 1 (на косогоре Ак-газа, пик. 119) скорость фильтрации в первые дни составляла 0,0145 мм/сек, через 5 дней—0,004 мм/сек. и к концу замочки (через 16 дней)—0,0035 мм/сек.; на плато Ак-газа (1,5 км севернее 230-го пикета трассы Вахшского магистрального канала) в котловане № 1 скорость фильтрации к концу замочки (43 дня) была равна 0,0018 мм/сек., в котловане № 2 через 38 дней—0,0014 мм/сек. и в котловане № 3 через 38 дней—0,0025 мм/сек. Уменьшение же суточной величины просадки, в противоположность скорости фильтрации воды, идет не плавно, а скачкообразно. В качестве примера можно привести результат наблюдений по котловану № 2 на плато Ак-газа. Здесь в первые 10 дней средняя суточная величина просадки составляла 10 мм, в последующие 6 дней—20 мм, с 16-го по 23-й день—вновь по 10 мм, с 23-го по 33-й день—18 мм и в последние 5 дней—5 мм. При этом общая (осредненная для всех пунктов котлована) величина просадки за 38 дней непрерывной замочки составила 0,541 м. В остальных четырех котлованах опытного участка на плато Ак-газа просадка происходила также неравномерно по скорости.

В процессе проведения этих опытов было замечено, что наибольшим деформациям подвергались не целинные массивы, а дамбы, построенные из лессового грунта, при чем дамбы, сооруженные с предварительной замочкой насыпного материала и утрамбовкой его слоями, оказались более прочными и устойчивыми, нежели дамбы, в которых на-

сыпной грунт не был замочен, а только плотно утрамбован. В первые же дни после начала замочки в дамбах начали проявляться трещины и различной формы провалы, требовавшие постоянной заделки. Особенного развития эти деформации достигли в котловане № 2 на косогорном участке, где одна стенка полностью, а вторая частично представляли собой насыпную дамбу, построенную лишь с плотной утрамбовкой грунта. Здесь во время замочки было 3 прорыва дамбы с большим выносом разжиженного грунта. Промоины в течение 10—15 минут достигали глубины 2 м, ширины 1—1,5 м и требовали непрерывного ремонта дамбы. На целинном массиве просадок и трещин при проведении этого опыта, длившегося 2 дня (с перерывами), обнаружено не было.

В результате наблюдений, проведенных на плато Ак-газа при замочке котлованов, имевших форму кольца с островом в центре, было установлено, что крутые откосы у острова-целика начали отваливаться в первый же день, и это разрушение шло до тех пор, пока крутизна откосов не приблизилась к одинарному заложению; одиночные же откосы не обваливались и не оползали.

Результаты произведенного Г. П. Поповым (15) лабораторного исследования образцов грунта, взятых с различных глубин из буровых скважин на дне котлована на участке Ак-газа после окончания замочки, показали, что просадка здесь распространялась на глубину 18 м от дна котлована (или на 20 м от поверхности земли). Для толщи в 18 м среднее уменьшение величины пористости в результате замочки составило 4,67%. Эти образцы грунта при испытании в лабораторной обстановке, будучи насыщены водой (после определения полной влагоемкости и водопроницаемости), показали при высушивании дополнительное уменьшение высоты на 2,3—2,4% (в среднем). Образцы же грунта, не подвергнутого замочке, дали в лаборатории усадку в 7,7% (в среднем). Исходя из этих данных, Г. П. Попов определяет среднюю величину общей возможной просадки грунта, равной 7% по высоте (7 см на каждый метр), что дает для всей 29-метровой толщи лесса на плато Ак-газа величину порядка 2,0 м.

Проведенные в 1935 г. Нижневарзобским инженерно-геологическим отрядом Саогидэп'а (под руководством В. С. Бондаренко) исследования степени просадочности свойств лессового грунта в пункте станционного узла проектируемой Заргарской ГЭС (район г. Сталинабада) показали понижение подвергнутого замочке котлована и прилегающего к нему участка лишь на несколько сантиметров. Столь незначительная величина полученной просадки развитого здесь целинного лессового грунта, по внешнему своему виду и величине пористости могущего быть отнесенным к просадочным грунтам, объясняется, повидимому, чрезмерной кратковременностью замочки котлована (3 суток).

Интересные результаты дают опыты замочки участков, предназначенных под орошение. На опытных делянках (на плато Ак-газа), подвергавшихся в 1932 году замочке посредством ряда поливов с различным расходом воды, главная просадка наступала тотчас же после первого полива. Конечная величина просадки и скорость процесса оседания находились в зависимости от норм полива и типа делянки: при большом расходе просадка шла интенсивнее, разрыхленные делянки давали большую просадку, чем целинные.

Краткие выводы по результатам изучения просадок в лессах сводятся к следующему:

1. Лессовые и лессовидные породы, не подвергавшиеся ранее усиленному увлажнению, обнаруживают способность давать явления просадок тотчас же после обильного промачивания водой.

2. Просадки внешне проявляются в оседании дна и стенок и образовании вдоль каналов или замачиваемых котлованов ряда трещин, по которым происходит смещение отдельных участков в виде террас оседания.

3. Процессы просадок являются совершенно закономерным следствием изменений физических свойств и состояний породы под воздействием просачивающихся в нее больших количеств воды. В результате этого воздействия порода испытывает значительное уменьшение первоначальной пористости, при чем уменьшение это идет главным образом (в особенности в первые моменты) за счет механического уплотнения породы под влиянием собственного веса и веса насыщающей ее воды.

4. Как установлено работами Е. А. Замарина и М. М. Решеткина (8) для лессовидных грунтов Нового Джуна, исследованиями Г. И. Туркина (18) и Г. П. Попова (15) для грунтов Вахшского канала, а также наблюдениями ряда других исследователей, работавших в различных районах Средней Азии и на Северном Кавказе, сущность просадочных явлений сводится в основном к тому, что лессовые грунты цельных массивов, обладающие высокой пористостью (до 48—50% и более), в результате проникновения в них большого количества воды, утрачивают присущую им в воздушно-сухом состоянии значительную связность. Вследствие этого они под действием собственного веса и веса проникающей в них воды уплотняются, то есть пористость их уменьшается (главным образом за счет некапиллярных пустот).

Зная пористость грунта до и после промачивания его водой, то есть p_1 и p_2 , можно определить степень уплотнения его S по сравнению с первоначальным объемом. Приблизительно эту величину можно получить, пользуясь формулой

$$S = \frac{p_1 - p_2}{1 - p_1}$$

Для получения истинной величины уплотнения необходимо ввести в эту формулу, предполагающую просадку грунта только по вертикали, поправку еще и на некоторую боковую усадку. Тогда действительная вертикальная просадка грунта S_0 выразится несколько меньшей величиной, так как учет боковой усадкой S_1 (по общей ширине трещин) снижает величину вертикальной осадки, подсчитанной по приведенной выше формуле. Таким образом, в действительности вертикальная просадка будет равна

$$S_0 = S - S_1$$

В таблице 1 приведены данные об уплотнении грунта района Нового Джуна, взятые из работы Е. А. Замарина (8, стр. 17), подсчитанные последним по обеим формулам (без учета и с учетом горизонтальной усадки).

Последняя графа (средняя величина относительной просадки) введена потому, что наблюдаемая ширина трещин не всегда вполне соответствует той ширине, которая должна бы быть от боковой усадки грунта; во многих случаях ширина трещин увеличивается за счет наклона террас в сторону канала и частично за счет обвала их стенок.

Е. А. Замарин в своей работе указывает, что просадка грунта на Джуне не ограничивается глубиной 13 м, а простирается на глубину, примерно, 17 м, так как образцы грунта, взятые с глубины 15 м, показали уменьшение пористости на 1—1,5%.

Аналитический разбор данных, помещенных в таблице 1, приводит к выводу, что наибольшее уплотнение грунта приурочивается к глубине от 2 до 6 м.

5. Весьма значительная (около 50%) величина пористости лесса целинных массивов является следствием его тяжелого гранулометриче-

Слой грунта в м от поверх- ности земли	Пористость в %		Величина относительной верти- кальной осадки в %		
	Шурф № 2 (на дне Джуна, на- ходивш. свыше 3 л. в экспл.)	Шурф № 3 (на целине за зоной просадок)	Преувал. (без учета боков. усадки)	С учетом боковой усадки	
				Преумень- шенная	Средняя (действ.)
0—2	40,0	47,4	12,9	7,2	10,1
2—4	41,8	50,5	17,6	14,4	16,0
4—6	40,4	47,1	12,7	12,0	12,4
6—8	41,6	44,2	4,7	4,7	4,7
8—13	38,3	39,5	2,0	2,0	2,0
В среднем про- садка на каждый метр для толщи 0—13 м	40,3	45,7	8,1	6,7	7,4

Примечания: 1. С глубины 4 м шурфы продолжены скважинами.
2. Пористость взята средняя (по определениям, сделанным через каж-
дый метр).

ского состава и условий образования. По нашему мнению, схема созда-
ния специфических структурных черт лессовых пород может быть
представлена в следующем виде. В момент отложения породы в слабо-
проточной воде мелкие зерна притягиваются силами адсорбции к ранее
отложившимся частицам, не скатываясь в углубления между ними. В
результате получается сотообразное микросложение, обладающее значи-
тельной пористостью. При коагуляции отдельных коллоидальных частиц
под действием электролитов или в результате свертывания при взаим-
ном воздействии их друг на друга получаются хлопья, дающие сотовое
сложение с еще более значительной пористостью. Происходящие в
породе процессы почво образования, а также жизнедеятельность ро-
ющих животных, приводят к появлению некапиллярных пустот в виде
трубчатых канальцев и нор землероек, что еще в большей степени
увеличивает общую пористость породы, в особенности же ее активную
пористость.

Схема процесса механического уплотнения лессовой породы нам
представляется в следующем виде. По мере проникновения в породу
все больших количеств воды, кажущаяся связность, обусловленная
поверхностным натяжением пленочной воды и вызываемыми этим натя-
жением капиллярными силами, постепенно исчезает, и первоначальное
сотообразное микросложение нарушается. Помимо того, нарушение
сотового сложения может, до некоторой степени, происходить и в резуль-
тате непосредственного напора воды на каркас, образуемый взаимно
адсорбированными частицами, а также и вследствие удаления вытесня-
емых водой из пор пузырьков заземленного воздуха, обуславливающего
присущую сухим лессам упругость. Все это, вместе взятое, приводит к
полному нарушению первоначальной структуры и более плотному распо-
ложению частиц.

Как показывают результаты непосредственных наблюдений, уплот-
нению в первую очередь подвергаются участки под дном канала или
замачиваемого котлована. То обстоятельство, что наибольшая степень

уплотнения породы наблюдается не непосредственно под дном, а на некоторой глубине (см. таблицу 1), подтверждает положение Н. И. Щеголева (20), сводящееся к тому, что чрезмерно большое количество воды, когда ею заполнены все пустоты в породе, препятствует уплотнению последней. Между тем, ряд исследователей, из них в первую очередь В. И. Батыгин (3), ошибочно считает неперемным условием интенсивности просадок возможно большее количество воды в грунте. Помимо того, по мнению Батыгина, грунт тем более подвержен просадкам, чем более он удерживает связанную воду. Однако, известно, что плотные высокодисперсные глины, обладая максимальной молекулярной влагоемкостью, значительно большей, нежели лессы, тем не менее просадке не подвержены. Это станет вполне понятным, если принять во внимание, что чем больший объем пустот будет занят связанной водой, тем меньше будет активная пористость, за счет которой и происходит уплотнение грунта при просадке.

6. Просадка грунта происходит не только вследствие механического его уплотнения, но также и от растворения и последующего вымывания из него солей, что ведет к увеличению пористости. Результаты химического анализа водных вытяжек из образцов лесса, взятых в районе Нового Джуна из упомянутых в таблице 1 двух шурфов — скважин №№ 2 и 3, показывают, что из воднорастворимых солей наиболее заметную роль играют гипс и известь. До глубины 10 м гипс из шурфа № 2 заметно вымывается и затем усиленно отлагается на глубине от 10 до 15 м; содержание же извести, несколько повышенное в поверхностных горизонтах (вероятно, за счет вымыва из арычной воды), уменьшается книзу, не отлагаясь, подобно гипсу, на глубине 10—15 м. Таким образом, вымыв извести на этой глубине компенсируется отложением гипса, в результате чего можно считать, что для данного случая (просадки на Джуне), начиная с глубины 10 м, вымывание солей на просадку грунта влияния не оказывает. Для первых же 10 м просадка грунта от вымыва солей в среднем вдвое меньше просадки от механического уплотнения.

Интересно отметить, что в контрольном шурфе № 2, расположенном за пределами зоны просадок, количество гипса с глубиной заметно уменьшается, содержание же извести, наоборот, несколько возрастает. Таким образом, промачивание грунта водой резко изменяет картину распределения солей в грунте.

В таблице 2 приведено изменение в содержании гипса и извести (по объему) для шурфа № 2 (взято из статьи Замарина, 8, стр. 20).

Таблица 2

Слой грунта от поверхности земли в м	0—5	5—10	10—15
Уменьшение содержания гипса и извести в %%% от первоначального объема грунта	0,6	2,3	0

Аналитический разбор этой таблицы и сопоставление ее с таблицей 1 приводит к выводу, что для района Нового Джуна в поверхностных горизонтах (на глубину до 5 м) роль солей в просадочных грунтах несколько больше, нежели в средних (для глубины 5—10 метров); в нижних же горизонтах она равна нулю.

Результаты химических анализов водных вытяжек из образцов лесса района Золотой орды до и после замочки котлована водою (11) показывают, что после замочки произошло резкое уменьшение общего коли-

чества растворимых солей, главным образом за счет сернокислых и хлористых соединений. К сожалению, данные эти (см. табл. 3) касаются лишь поверхностных горизонтов (на глубину до 3,5 м). Между тем, весьма важно было бы выявить характер изменения солевого режима грунтов после замочки их водою на глубину, по крайней мере, до 10—15 м.

Таблица 3

Время взятия образцов	Глубина взятия образцов в м	Содержание в % к весу сухой породы					
		Плотн. остаток	HCO ₃	Cl	SO ₄	Ca	Mg
До замочки котлована	1	0,088	0,055	0,005	0,021	0,011	0,003
	2	0,604	0,040	0,015	0,365	0,051	0,017
	2	0,620	0,040	0,014	0,347	0,052	0,017
	3	0,278	0,057	0,022	0,112	0,007	0,010
	3,5	0,434	0,045	0,033	0,214	0,011	0,022
После замочки котлована	1	0,070	0,050	0,006	Следы	—	—
	1	0,074	0,051	0,007	—	—	—
	2	0,084	0,053	0,004	Следы	—	—
	2	0,080	0,053	0,004	—	—	—
	3	0,252	0,039	0,004	0,082	0,042	0,022
	3	0,266	0,038	0,005	0,019	0,046	0,017

Говоря о влиянии воднорастворимых солей на просадочные свойства лессовых грунтов, необходимо отметить, что не только вымывание гипса и извести способствует просадкам, но даже и одно их растворение водой. Это происходит потому, что гипс и в особенности известь являются цементирующими веществами, придающими грунтам прочность и устойчивость. Поэтому растворение солей водою приводит к нарушению связности грунтов. Однако, принимая во внимание сравнительно слабую растворимость этих солей (особенно карбонатов) в воде, следует считать, что растворение и последующий вымыв солей из грунта заметно отражаются на усилении рассматриваемых процессов деформации лишь по прошествии достаточно больших промежутков времени, исчисляемых месяцами; на первых же стадиях роль солей в просадках для слабо-засоленных пород в большинстве случаев бывает совершенно ничтожна.

В случае обильного скопления растворимых солей в поверхностных горизонтах, в особенности в условиях косогорных участков, значение солей в деформациях лессовых пород резко повышается. В этих случаях эффект от растворения и вымыва солей сказывается очень быстро, иногда через несколько дней после усиленного промачивания породы водою, и проявляется главным образом в появлении в отдельных пунктах провальных воронок и различных углублений неправильной формы. Здесь мы уже имеем осложнение просадочных явлений процессами карстообразования. Если же принять во внимание, что провальные углубления на откосах вновь построенных каналов являются наиболее слабыми пунктами, легко подверженными в дальнейшем поверхностному и подземному размыву, то картина деформации в этих случаях становится еще более сложной.

7. Способность лессовых пород целинных массивов давать явления просадок объясняется, помимо высокой пористости и наличия более или менее значительных количеств воднорастворимых солей, также и чрезвычайно большой однородностью их по гранулометрическому составу. Порода, состоящая из различных по крупности зерен, предохраняется

от деформации благодаря распределению более мелких частиц между крупными зернами, вследствие чего создается некоторое подобие кирпичной кладки. Лессовые же породы, отличающиеся резким преобладанием иловатых и тонкопылевых частиц, представляют собой массу зерен, связанных между собой преимущественно лишь силами поверхностного натяжения пленочной воды в порах породы.

8. Известное значение в смысле подверженности лессов просадкам имеет также и слабая их способность к разбуханию, что объясняется незначительным содержанием в них дисперсных и коллоидных частиц.

Ф. Л. Андрухин (2) считает, что главная причина уплотнения грунта при промачивании его водой заключается именно в количественном и качественном (свернутые коллоиды) дефиците коллоидальной части. Действительно, результаты произведенного в лаборатории Средазгеолтреста гранулометрического анализа лессов района Нового Джуна показывают ничтожное содержание в них не только коллоидных (диаметром

Таблица 4

Глубина взятия в м	Процентное содержание фракций (размеры в мм)						Сумма
	0,25—0,1	0,1—0,05	0,05—0,01	0,01— 0,005	0,005— 0,001	<0,001	
2,0	0,2	14,3	44,1	31,5	2,5	0,5	93,1
4,0	0,4	4,5	44,9	39,8	5,9	4,7	100,2
6,0	0,7	4,6	40,1	50,0	1,2	1,0	97,6
8,0	0,4	8,6	37,1	41,7	1,6	0,3	89,7
10,0	0,5	17,0	48,3	21,1	1,3	0,2	88,4

менее 0,0001 мм), но и грубодисперсных частиц (диаметром от 0,001 до 0,0001 мм). В качестве примера можно привести результаты анализа образцов породы из шурфа № 4 (ноябрь 1934 года).

Однако, критическое рассмотрение данных этой таблицы заставляет с сомнением отнестись к точности анализа, так как сумма процентов нигде не равняется 100, а в большинстве случаев составляет значительно меньшую величину. Естественно полагать, что недостающая часть, если не полностью, то в значительной степени, приходится на долю мельчайших частиц. Тем не менее, следует признать, что и в этом случае общее содержание дисперсных и коллоидных частиц в лессовых породах, слагающих массивы в районе Нового Джуна, относительно невелико. Разбухание коллоидальных частиц, наблюдающееся при обильном промачивании породы водою, в случае значительного их содержания, может в значительной мере компенсировать общее уплотнение породы, происходящее при перестройке микросложения от сближения между собой сравнительно более крупных (илистых и пылевых) частиц. При небольшом же содержании коллоидальной части эта компенсация будет настолько незначительна, что не окажет существенного влияния на ход и размеры просадки, в особенности спустя некоторое время после начала промачивания, когда сила набухания будет постепенно погашаться весом лежащей выше породы.

Таким образом, положение Андрухина о большом влиянии дефицита коллоидальной части на просадочность лесса имеет известное основание, несмотря на невысокое качество использованного им материала. Однако, как нами было уже показано, не дефицит коллоидальной части, а специфические структурные черты и высокая активная пористость обуславливают, в основном, просадочность лессовых отложений.

9. Материалы полевых исследований показывают определенную зависимость интенсивности просадок от генезиса лессовых образований и от условий рельефа местности. Зависимость же хода просадки и общей ее величины от расхода воды в каналах и ряда других факторов к настоящему моменту со сколько-нибудь достаточной определенностью еще не установлена. Установление этой зависимости должно явиться одним из предметов будущих исследований, обязательным условием правильного проведения которых следует считать постановку тщательно продуманных и надлежаще обставленных экспериментов, проводимых как в поле, так и в лаборатории.

2. Методика исследований

Степень изученности различных деформаций в лессовых грунтах неодинакова. Наиболее изучены деформации, обязанные своим появлением процессам карстообразования, оползням и поверхностному размыву. Наименее же изучены процессы суффозионного характера и просадки. Между тем, интересы нашего бурно растущего социалистического хозяйства настоятельно требуют широкого использования для нужд земледелия и промышленного строительства тех обширных полупустынных пространств, сложенных толщами лесса, где явления просадочного характера в той или иной степени, при условии обильного промачивания пород водой, можно считать неизбежными.

Важно отметить, что просадки могут происходить, и в действительности происходят, не только на ирригационных каналах и полях орошения, где они до недавнего времени преимущественно наблюдались, но и на деривационных каналах и других сооружениях, воздвигаемых при устройстве гидроэлектростанций, а также при железнодорожном и целом ряде других строителств. Поэтому следует признать безусловно необходимым дальнейшее всестороннее изучение различных деформаций лессовых пород и причин, их вызывающих, в первую очередь — процессов проседания под влиянием промачивания породы водою. Изучение это должно преследовать своею целью, во-первых, установление метода выяснения возможности появления и характера развития просадок в районах, намечаемых под то или иное ирригационное или промышленное строителство, и, во-вторых, выработку действительных мероприятий по предотвращению или хотя бы значительному ослаблению вредных последствий происходящих в лессах деформаций. Непременным условием такого изучения пород должно явиться детальное инженерно-геологическое (геоморфологическое, литологическое и гидрогеологическое) освещение интересующих районов, с постановкой во всех ответственных пунктах полного комплекса опытно-исследовательских работ, осуществляемых, главным образом, в делювиях естественного залегания пород.

Одним из главнейших видов экспериментальных исследований при изучении просадочных свойств лессов нужно считать пробные замочки специально отрываемых котлованов. Этот способ установления степени подверженности грунтов просадкам, впервые в Средней Азии, насколько известно, примененный М. М. Решеткиным на Новом Джуне, в последнее время получил известное, хотя далеко еще не достаточное, распространение. Однако, ознакомление с порядком проведения многих из этих исследований и полученными по ним результатами убеждает в том, что методика опытных работ по этому способу большинством усвоена недостаточно. Многими исследователями до сих пор не усвоено то бесспорное положение, что только достаточно длительная замочка больших котлованов (отнюдь не мелких шурфов), предшествуемая и сопровожда-

емая целым рядом наблюдений и аналитических определений, может дать достаточный материал, могущий лечь в основу конкретных заключений по испытываемому участку. Это обстоятельство понуждает автора настоящей работы попытаться дать более или менее исчерпывающие указания о порядке проведения опытных работ по замочке котлованов, тем более, что имеющиеся по этому вопросу указания в литературе, например, в работе М. М. Решеткина (8, стр. 38 и 39), страдают значительной схематичностью и отсутствием перечня тех аналитических определений, которые обязательно должны быть при этих опытах проделаны.

Указания автора к производству опытов по замочке котлованов сводятся к следующему:

1. На участках головных сооружений котлованы желательно задавать по обоим берегам перегораживаемых потоков, в пределах подпертого бьефа, возможно ближе к оси будущей плотины. В том случае, когда проектом предусматривается устройство приплотинного отстойного бассейна, на месте последнего должен быть отрыт особый котлован, при чем желательно, чтобы отметка его дна совпадала с проектной отметкой основания бассейна.

2. На ирригационных и деривационных каналах котлованы задаются на трассе, при чем их глубина и ширина по дну и по верху должны отвечать соответствующим размерам проектируемых каналов, а длина должна быть не менее ширины. На трассе каждого канала, если он проходит по более или менее пересеченной местности, следует заложить не менее 2—3 котлованов, располагая их в наиболее высоких, наиболее пониженных и средних по высоте пунктах по оси трассы. При рытье котлованов отвалы вынутого грунта надлежит удалять не менее чем на 5—10 м от бровки и располагать их только с одной или с двух сторон.

3. Ширина и длина опытных котлованов находятся в зависимости от типа и размеров проектируемых сооружений. При установлении размеров котлованов следует иметь в виду, что больший размер их дает и больший эффект. Откосы по всем четырем стенкам желательно задавать различные: четвертной, половинный, одиночный и полуторный. Дно котлована должно быть горизонтальным и выровненным, а откосы гладко зачищенными. Перед окончательной отделкой котлована с его дна и стенок (через каждые 0,5 м по вертикали) берутся образцы пород для лабораторных определений различных их свойств и состояний. При этом образцы для определения влажности должны отбираться отдельно в стеклянные баночки с хорошо притертыми пробками. Во всех этикетках следует совершенно точно указывать время, место и глубину взятия образца.

4. На дне котлована задается скважина мелкого ручного ударно-вращательного бурения, диаметром 80—100 мм и глубиной до 20—25 м. Образцы из скважины берутся через каждые 0,5 м при помощи стакана Копецкого или иного приспособления, дающего возможность извлечения образца с ненарушенной структурой. По окончании бурения скважина плотно закрывается клином длиной до 1 м. При наличии двух или трех близко отстоящих один от другого котлованов, расположенных в одинаковых или сходных условиях, необходимо на дне одного из них пробурить 3—4 скважины на глубину до 20—25 м и оставить их открытыми на время замочки. Для предохранения 2—3 из них от запыления следует закрепить на всю глубину (или хотя бы на протяжении первых 8—10 м) стренерами (дырчатыми трубами). Помимо того, в одном из котлованов желательно оставить в центре целик с крутыми или вертикальными откосами. Ширина выемки, окружающей целик, при глубоких и широких котлованах должна быть не менее 3—4 м по дну.

5. Против каждой из сторон котлована, на расстоянии примерно 5, 10, 15 и 20 м от его бровки, отрываются разведочные шурфы, сечением $1,00 \times 1,25$ м (более удаленные — на ту же глубину, что и котлован, а ближайшие два — на 2—3 м глубже). Из шурфов образцы пород (в виде монолитов) берутся по вертикали из стенки, обращенной в сторону котлована, также через каждые 0,5 м. Параллельно со взятием образцов производится детальное описание пройденной шурфами породы.

Отвалы вынутого из шурфов грунта могут быть оставлены здесь же, на расстоянии 1—2 м от бровки по одной какой-либо стороне.

6. После окончания земляных работ весь опытный участок, охватывавший, помимо котлована, площадь не менее 50—75 м в стороны от его бровок, покрывается густой сетью контрольно-наблюдательных точек. Точки эти, представляющие собой вбитые вертикально небольшие (25—30 см длиною) колышки, располагаются несколькими рядами, параллельными одним и перпендикулярными другим стенкам котлована. Кроме того, точки задаются и по диагоналям, идущим через углы котлована. Колышки над поверхностью земли не должны возвышаться более чем на 5 см; на каждом из них пишется четко черным карандашом сверху (или сбоку) крестовой номер. Колышки эти по дну и откосу котлована и на ближайшей к нему площади участка располагаются чаще (через 2—3 м), а по мере удаления — реже (через 5 и 10 м). Непосредственно за пределами участка (не ближе 75—100 м от ближайшей бровки котлована) устанавливаются 2—3 репера. После этого на всей площади опытного участка производится очень детальная нивелировочная съемка, в результате которой должен быть получен план участка масштаба 1:100 или 1:250 с сечением горизонталей не менее чем через 5—10 см. Поэтому при съемке для уловления всех особенностей микрорельефа участка нивелируются не только точки, закрепленные колышками, но и целый ряд промежуточных между ними точек.

Схема расположения котлована, шурфов и наблюдательных точек и реперов показана на рис. 2.

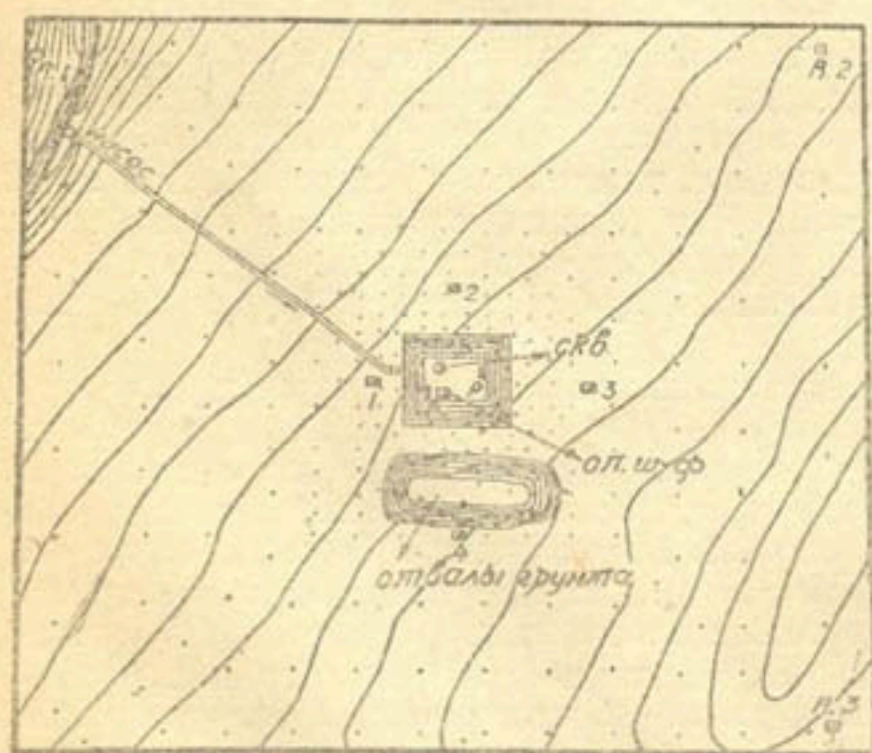


Рис. 2. Схема опытного участка (вид до замочки котлована)

7. Для наблюдений за уровнем воды при наполнении котлована устанавливаются укрепленные в его дно и откосах 3—4 водомерные рейки, ноль которых связывается нивелировкой. Высота реек должна быть не менее глубины котлована. Укрепляются они на сваях, вбиваемых в грунт не менее чем на 3—4 м. Лучше всего сваи опускать в специально пробуренные для этого мелкие скважины. Весьма желательно, чтобы отметки нолей реек полностью совпадали между собой. Рекомендует-

ся на каждой рейке ясно прочертить (на одинаковой для всех отметке) линию, до которой предположено вести наполнение кот-

лована. Лучше всего линию эту установить на 0,20—0,25 м ниже бровки наиболее низкой стенки котлована. Если по условиям рельефа одну или две стенки котлована полностью или частично приходится строить из насыпного грунта, то наполнение рекомендуется вести до отметки на 0,5—0,6 м ниже бровки, во избежание больших осложнений при возможном прорыве насыпных дамб.

8. В зависимости от местных условий, вода в котлован подается при помощи наееса или же путем устройства подводящего канала (или лотка). Следует считать, что в большинстве случаев вода для замочки может быть подана из какого-либо ближайшего поверхностного водотока лишь при помощи насосной установки. В этих случаях необходимо постоянно следить за исправностью насосов, двигателей и подводящего воду шланга. При наличии шланга достаточной длины, обеспечивающей подачу воды непосредственно к котловану, нет надобности в устройстве лотков или подводящих каналов. В тех же случаях, когда представляется возможным подавать воду в котлованы самотеком или же расстояние не позволяет использование шлангов, следует отдавать предпочтение каналам, вырытым в грунте, перед деревянными (или из иного материала) лотками. Во всех случаях в непосредственной близости от котлована на водоподводящей линии устраивается шлюз—регулятор, а позади него водослив для замера количества подаваемой воды. При подаче воды посредством вырытого в грунте канала желательно устройство водослива и в начале подводящей линии.

9. После окончания подготовительных работ к подаче воды, то есть после установки и проверки насоса и двигателя, или отрытия подводящего арыка и устройства водослива, производится наполнение котлована. Во избежание поверхностного размыва под действием падающей струи воды в первый момент наполнения котлована, вода в него должна подаваться на дно по желобу, проходящему по откосу, а дно его должно быть защищено листом фанеры, который потом убирается. Первоначальное наполнение до заданной отметки производится в возможно более короткий срок, а затем, при помощи регулирующих устройств подача воды производится в таком объеме, какой необходим для поддержания постоянного уровня на этой отметке. Вода в котлован должна подаваться возможно более осветленная, с минимальным количеством взвешенных частиц. Так как практика пробных замочек на Вахском строительстве и в ряде других мест показывает, что надлежащий эффект получается во многих случаях лишь при достаточно длительной операции (порядка 30—40 суток), то при наличии одного опытного котлована необходимо стремиться к достаточно длительному (не менее 25 суток) и строго равномерному промачиванию грунта. Если имеется 2 или 3 котлована, располагающиеся в одинаковых или сходных условиях, то 1—2 из них обязательно должны быть подвергнуты замочке с перерывами (8—10 суток под водой, затем 5—6 суток без воды, после чего вновь 8—10 суток под водой и т. д.). Сопоставление результатов наблюдений над ходом изменения формы дна и стенок котлованов, и величиной просадки за различные периоды времени для обоих способов замочки (непрерывного и с перерывами) должно дать весьма интересные и важные данные для суждения о степени влияния перерывов в замочке на интенсивность хода просадки.

10. На протяжении всего опыта, начиная с момента пуска воды в бассейн, ведется точный учет ее расхода водосливом; одновременно ведутся наблюдения и по рейкам. Во время первоначального наполнения котлована наблюдения производятся возможно чаще (через 10—15 минут) для определения количества воды, потребовавшегося, чтобы

наполнить водоем до заданной отметки, и времени, ушедшего на это заполнение. Показания водослива внесут корректив на фильтрацию за время наполнения. В дальнейшем, когда происходит только поддержание уровня на определенной отметке, наблюдения ведутся реже (через 1—2 часа). Попутно производятся наблюдения над скоростью капиллярного перемещения воды по стенкам котлована и в стороны от его бровок (путем фиксации границы видимого увлажнения породы).

11. Параллельно с указанными наблюдениями на протяжении всего опыта по откосам котлована и на поверхности окружающей его зоны ведутся наблюдения над различными деформациями (оползания по стенкам водоема, раскалывание массива и образование террас проседания, размыв, карстовые явления и пр.). При этом в журнале точно отмечается появление той или иной деформации и в дальнейшем внимательно прослеживается характер ее постепенного развития. Все сколько-нибудь интересные моменты должны быть сфотографированы или, еще лучше, зафиксированы при помощи четких зарисовок в плане и разрезе. При проведении этих наблюдений следует тщательно избегать всякого трудно учитываемого искусственного вмешательства в происходящий процесс деформации грунта (например, скопление большого количества людей в непосредственной близости от стенок котлована, расширение лопатой появившихся трещин и пр.).

12. Наблюдения за деформациями дна на небольших котлованах (размером до 7—8 м между бровками в поперечнике) могут производиться с помощью перекидных мостиков. На более крупных водоемах эти наблюдения в процессе замочки производить затруднительно, а поэтому здесь фиксация изменений дна может быть произведена надлежащим образом лишь после осушки. В случае наличия крутого склона или обрыва в пределах опытного участка или поблизости от него, надлежит вести наблюдения и здесь, отмечая время и характер появления воды и деформации грунта. Такие же наблюдения следует вести и по разведочным шурфам, заданным на участке.

13. При изучении деформации в первую очередь надлежит отмечать:

а) протяженность, глубину и ширину трещин, очерчивающих оседающие массивы; характер стенок; особенности развития трещин в целинном и насыпном грунте;

б) амплитуду смещения отдельных террас оседания и наклон их поверхности, ширину и длину;

в) степень симметричности развития деформаций по отношению к различным стенкам котлована;

г) характер и скорость обрушения откосов котлована различной крутизны;

д) размеры и форму карстовых провалов;

е) все остальные моменты, характеризующие явления деформаций грунта.

14. Результаты наблюдений должны тщательно и аккуратно заноситься в особый журнал, параллельно с которым следует вести еще и дневник, так как размеры граф журнала не позволяют вносить в него достаточно подробное описание всех деформаций и их зарисовки. Поэтому в журнале можно ограничиться помещением лишь сравнительно краткого описания наблюдающихся деформаций, более подробно описывая характерные из них в дневнике, куда должны заноситься и все зарисовки. Параллельное ведение обоих этих первичных документов дает возможность делать в журнале своевременно необходимые ссылки на номера зарисовок, которые позднее (после окончания опыта) должны

быть в точности перенесены на последние чистые страницы журнала. Примерная форма журнала может быть дана в следующем виде:

Журнал

Наблюдение при пробной замочке котлована № на участке.
 Наименование организации
 Местоположение котлована
 Ориентировка котлована по странам света
 Абсолютная отметка поверхности земли (для каждого угла котлована)

I. Краткая характеристика участка

1. Геоморфологические черты:
 - а) плоская или волнистая равнина, косогор и т. п;
 - б) характер микрорельефа.
2. Растительный покров:
 - а) густота и состояние растительного покрова;
 - б) характер растительности (растительные сообщества).
3. Степень хозяйственного освоения:
 - а) целина, залежь, культурно-поливная земля;
 - б) гидрографическая сеть, ее густота, удаленность от котлована.
4. Геологическое строение:
 - а) генетический тип отложений (аллювий, делювий, пролювий);
 - б) характер лесса на различных горизонтах, мощность их;
 - в) подстилающая порода
 - г) глубина залегания уровня грунтовых вод м;
 - д) основание для геологического описания (наименование, расположение и глубина разведочных выработок).

II. Условия производства опыта

1. Конфигурация и размеры котлована:
 - а) ширина по верху м;
 - б) . . . по низу м;
 - в) длина по верху м;
 - г) . . . по низу м;
 - д) средняя глубина м;
 - е) откосы (одиночные, полуторные, двойные и т. д.);
 - ж) прочие данные.
2. Условия подачи воды:
 - а) способ подачи (насосом или самотеком по арыку, мощность и система насоса и размеры арыка);
 - б) длина подводящей линии м;
 - в) степень мутности воды.
3. Время проведения опыта:
 - а) начало (число, месяц, год);
 - б) конец
 - в) общая продолжительность суток;
 - г) перерывы: 1-й суток, 2-й суток.

№ набл.	Время наблюдений		Время, истекшее от начала опыта, в час. и мин.	Слой воды в котл. в куб. м	Об'ем воды в котловане в куб. м.	Кол-во подаваемой в котлов. воды в л/сек.	Температура воды	Температура воздуха	Описание наблюдающихся явлений деформаций грунта, №№ зарисовок	Примечание
	Год, месяц и число	Часы и минуты								

Наблюдатели:

Наблюдения и записи проверил

инж. геолог

(подписи)

Помимо того, до начала бурения этой скважины должны быть взяты повторные образцы по стенкам и со дна котлована (по возможности из тех же пунктов, из которых были взяты образцы перед замочкой). Одновременно с этим берутся образцы и из шурфов.

19. Образцы по всем выработкам должны быть подвергнуты тщательному полевому описанию, а затем аналитическим определениям. По каждому образцу надлежит произвести в лаборатории следующие операции:

а) гранулометрический анализ¹, желателно с разделением на фракции: $>0,25$; $0,25-0,1$; $0,1-0,05$; $0,05-0,01$; $0,01-0,005$; $0,005-0,001$ и $<0,001$ мм;

б) определение пористости;

в) > удельного и объемного веса;

г) > верхней границы текучести;

д) > и нижней границы пластичности;

е) > разбухаемости;

ж) > линейной и объемной усадки;

з) > размокаемости (в монолитных образцах);

и) > полной, абсолютной (капиллярной) и максимальной молекулярной влагоемкости;

к) определение влажности (по образцам, взятым в баночки с притертыми пробками);

л) определение коэффициента уплотнения и зависимости влажности от сжатия (на прессе К. Терцаги);

м) химический анализ трехсуточных водных вытяжек (при соотношении 1:10), с определением SO_4 , Cl , HCO_3 , CO_2 , SiO_2 , Ca , Mg , K , Na , R_2O_3 и плотного остатка.

В том случае, когда конечные сроки камеральной обработки материала или отпущенные денежные средства не позволяют проведения указанных лабораторных определений полностью по всем взятым образцам, представляется возможность ограничиться производством этих определений по образцам, взятым через каждый метр, а по разведочным шурфам — и через 2 метра. При наличии же достаточного срока и соответствующих денежных ассигнований желателно произвести, кроме перечисленных анализов, еще и ряд других определений (хотя бы по некоторым образцам, взятым по вертикали из одной и той же выработки до и после окончания опыта с замочкой):

а) валовой химический анализ породы;

б) обработка образцов породы соляной кислотой, углекислым натрием или химическим аммонием и определение емкости поглощения и состава поглощенных оснований;

в) определение минерального состава породы и формы частиц² (пу-

¹ Так как гранулометрический состав грунта после увлажнения, в сущности, не изменяется, то анализ этот (а равно и определение удельного веса) для повторных образцов не производится.

² Описание формы для зерен различного минерального состава и указание на процентное соотношение чешуйчатых и округлых частиц важно потому, что от формы зерен зависят многие свойства мелкозернистых пород. Для чешуйчатых частиц число точек соприкосновения на единицу объема во много раз больше, нежели для округлых зерен. Увеличение же числа точек соприкосновения ведет к возрастанию связности породы и увеличению упругости деформации.

тем рассмотрения под микроскопом или под бинокулярной лупой при большом увеличении);

г) определение предела липкости (клейкости);

д) > предела усадки;

е) > сопротивляемости сдвигу коэффициента и угла внутреннего трения (при помощи системы двух ящиков, на крупных монолитах);

ж) определение критических скоростей фильтрации (на приборе Тима Каменского);

з) определение связности (по методу Аттерберга).

Методы производства всех этих анализов описываются во многих руководствах и инструкциях (например, в инструкции Гидэп'а по водно-энергетическим изысканиям, выпуск III, Инженерная геология, Москва, 1934), а потому в данной работе они опускаются.

Следует лишь отметить, что геолог при сдаче образцов пород в лабораторию для анализа должен всякий раз точно указывать, по какому методу ему желательно произвести то или иное аналитическое определение и в какой форме получить результаты анализа. Подобного рода указания необходимо делать для того, чтобы обеспечить единообразие метода определений и полноту характеристики.

Некоторые определения могут быть произведены и непосредственно в поле, для чего следует иметь полевую лабораторию отрядного типа. Из анализов, могущих быть с успехом произведенными в полевой обстановке, можно отметить определение удельного и объемного веса, пористости, влажности, естественной связности при помощи шведского конуса и ряд других простых определений, не требующих сложной аппаратуры. Взятие образцов в виде монолитов можно производить или путем вырезывания острым ножом, или при помощи прибора Андрухи-на и иных приспособлений.

По всем результатам анализов должны быть составлены соответствующие таблицы, а по некоторым из них также и графики. В таблицах должен быть обязательно указан также и метод, по которому произведено то или иное определение. Помимо отдельных таблиц, рекомендуется составить еще и сводную таблицу, которая отражала бы все физико-механические и химические свойства и состояния породы и их изменения после замочки по горизонтальному и вертикальному пространениям.

20. Кроме аналитических определений по образцам грунта, должны быть сделаны 2 полных химических анализа проб воды, взятых в начале и в конце замочки; в этих же пробах должны быть определены процентное содержание (по весу) взвешенных частиц и их гранулометрический состав.

21. Приведенным в пункте 19 перечнем определений различных свойств грунта не исчерпывается весь комплекс операций, который необходимо произвести для полного выяснения тех изменений, которые происходят в лессовом грунте после интенсивного промачивания его водою. Весьма важно выяснить опытным путем степень сопротивляемости грунта вертикальному давлению в сухом и во влажном состоянии. Эти опыты должны быть обязательно произведены не на образцах, а непосредственно в поле, в условиях естественного залегания грунта, путем постановки прибора ВИОС'а или Лемана. Первый опыт надлежит поставить перед замочкой, а второй по окончании замочки грунта. Оба опыта следует провести поблизости от котлована или, еще лучше, непосредственно на дне котлована в одном и том же шурфе, отрытом на глубину 1,5 — 2,0 м, при чем для проведения второго опыта штами

должен быть установлен на 0,5 — 0,8 м в сторону от того места, где стоял штамп при первом опыте. С целью получения сравнимых результатов оба раза опыт должен быть проведен одинаково во всех деталях. В виду сжатости данной статьи, порядок проведения опыта опускается¹.

Результаты наблюдений над осадкой грунта заносятся в особый журнал, после чего вычерчиваются 2 графика, характеризующие ход осадки во время испытания.

Примерное расположение и форма графиков, а также геологического разреза шурфа показаны на рис. 3.

24. Помимо производимых в поле испытаний степени сопротивляемости породы действию вертикальной нагрузки, чрезвычайно желательно подвергнуть эту породу также и испытанию в насыщенном водою состоянии в лабораторных условиях на приборе типа К. Терцаги (прессе) для определения зависимости между степенью сжимаемости породы и ее влажностью. Испытанию должны подвергнуться образцы, взятые в виде монолитов, по возможности, из тех же мест, где производилось полевое испытание пробной нагрузкой, и в то же самое время, что и образцы для аналитических определений при полевом испытании.

При проведении опыта на прессе Терцаги определяются следующие показатели: коэффициент сжимаемости породы, коэффициент уплотнения и коэффициент фильтрации. Последний коэффициент определяет скорость удаления воды из сжимаемой породы.

В то время, как при испытании пробной нагрузкой в открытом шурфе осадка породы под штампом складывается из двух частей — осадки от сжатия и осадки от выпирания из-под штампа, в результате лабораторного испытания прессом получает освещение вопрос о величине той части осадки, которая является следствием лишь сжимаемости породы. Сопоставление графика хода осадки грунта под нагрузкой на приборе Лемана и результатов аналитических определений по образцам, взятым до и после этого испытания, с компрессионными кривыми, построенными по данным испытания на прессе Терцаги, дает возможность судить:

а) каково соотношение между осадкой, зависящей от сжатия породы и осадкой от перегруппировки частиц и выпирания из-под штампа;

б) происходило ли сжатие под штампом за счет вытеснения воды, или же за счет сжатия незаполненных водою более крупных пустот в породе;

в) достигло ли сжатие предельной величины.

Выводы из этого сопоставления имеют важное практическое значение.

25. Большой интерес представляет также определение (непосредственно в полевых условиях) высоты и скорости капиллярного поднятия воды в лессовых породах до замочки и после замочки их водою. Принимая во внимание довольно большую длительность этих опытов (не менее 1,5—2 месяцев для получения более или менее полной характеристики водоподъемной способности породы), опыт с сухой породой рекомендуется проводить параллельно с замочкой котлована. При условии полной однородности состава и свойств лесса данного участка по горизонтальному распространению опыт этот можно поставить за пределами ожидаемой зоны деформаций грунта при замочке котлована.

Ограниченность места принуждает описание хода опыта и приведение формы журнала из данной статьи исключить. Следует лишь отметить, что результаты наблюдений, помимо записей в журнале, должны

¹ Порядок определения степени прочности грунтов описан в ряде инструкций (например, инструкция КОМСТО (10), инструкция ВИОС и др.).

Результаты

испытания прочности грунта прибором системы КОМСТО на опытном участке №1

Местоположение

Глубина установки штампа - 2,0 м. Размер штампа - 40x40=1600 кв. см.

Геологический разрез шурфа и
спважины с записями прибора.

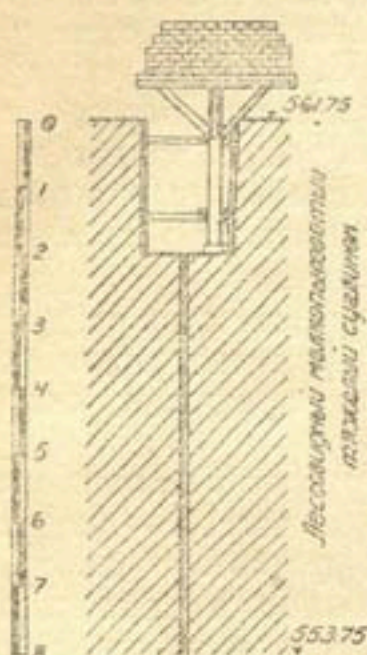


График хода осадки при нагрузке и разгрузке прибора
Удельные нагрузки в кг/см²

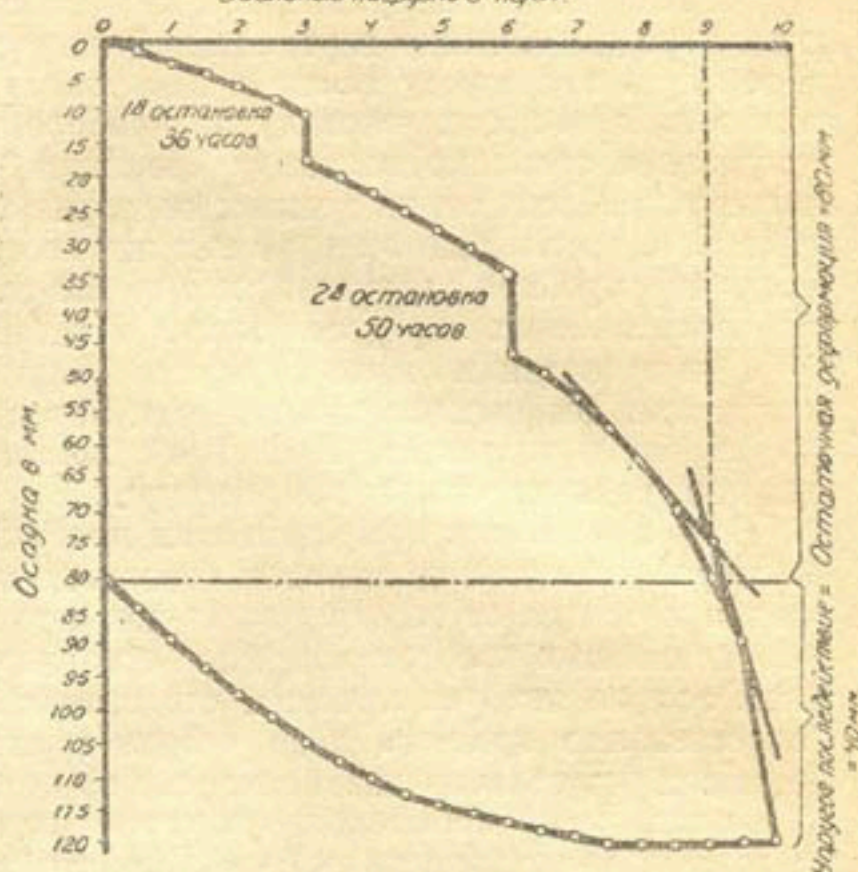
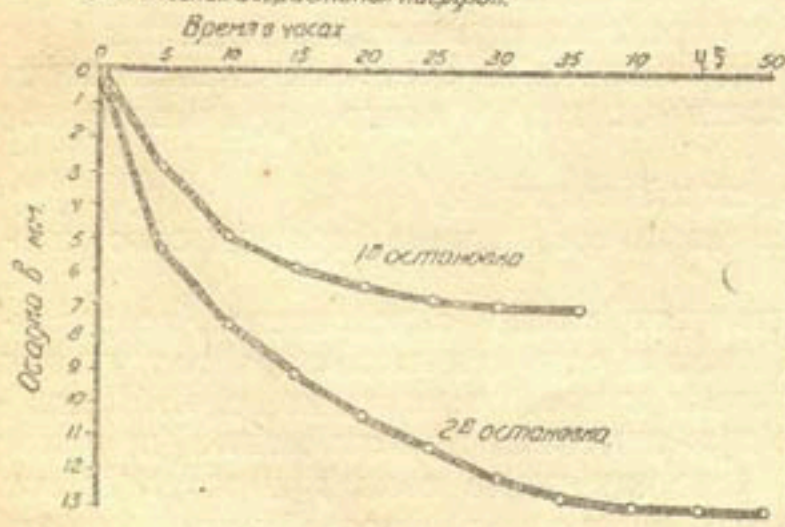


График затухания осадок при
остановках возрастания нагрузки.



Притическая нагрузка при влажности
грунта 8,5% 9 кг/см²

Допустимая безопасная нагрузка
(с поправочным коэффициентом прочности) 3 кг/см²

Коэффициент поправки для момента
притической нагрузки 1,2 кг/см²

Общая продолжительность нахождения
прибора под нагрузкой 192 часа

Продолжительность разгрузки прибора 96 часов

Испытания начаты 5.VIII.35 в 18,00

Испытания окончены 17.VIII.35 в 18,00

Инженер-геолог

Рис. 3. Образец графического изображения результатов испытания прочности
грунта

быть также отражены и графически. При построении графика по оси абсцисс откладывается время в часах, а по оси ординат снизу вверх—величина капиллярного поднятия в сантиметрах.

26. В том случае, когда ограниченность срока исследований или недостаток денежных средств лишают возможности проведения полного комплекса рекомендуемых опытных работ, изучение просадок может быть произведено в меньших масштабах как по объему котлованов, так и общей длительности их замочки. В этих случаях непременно условием получения достаточно ценных материалов является восполнение недостатков полевых исследований возможно более полными лабораторными определениями различных свойств и состояний породы до и после замочки ее водою.

27. При исследованиях для целей мелкого ирригационного строительства, помимо замочки котлованов небольших размеров, весьма желательно производить также замочку грунта на участках различных типов — целинных, пропашных и пропашных с бороздками (по примеру опытных работ, проведенных Санири в 1932 г. на плато Ак-газа).

28. При изучении явлений просадок на существующих гидротехнических сооружениях исследовательские работы сводятся преимущественно к описанию наблюдающихся деформаций и взятию образцов пород с различных глубин для последующего лабораторного анализа. При описании деформаций надлежит в поле отмечать самым тщательным образом:

1. Характер распространения просадок по отношению к длине магистральных, второстепенных и третьестепенных каналов (прерывистый, непрерывный).

2. Количество террас оседания, амплитуду их смещения, размеры и характер трещин, ширину зоны деформаций по каждому берегу.

3. Явления размыва и карста по берегам, приуроченность их к тем или иным пунктам и зависимость от условий работы ирригационной сети и других факторов.

4. Размеры и форму повреждений бетонных, железобетонных и иных сооружений на каналах.

5. Форму и размеры различных нарушений первоначального рельефа на полях орошения и связь их деформаций с норами землероев и другими продуктами жизнедеятельности организмов.

Все основные моменты описания должны быть богато иллюстрированы зарисовками, фотоснимками и планами в горизонталях (по данным инструментальных съемок и нивелировок).

29. Отчет о результатах всех произведенных испытаний и наблюдений должен в себе заключать:

1. Подробное геоморфологическое, геологическое и гидрогеологическое описание не только опытного участка, но и всего окружающего его района в радиусе не менее 2-3 км, с приложением геологической карты этого района, карты глубин залегания уровня грунтовых вод и карты гидроизогипс в возможно более крупном масштабе, и геологических разрезов всех разведочных выработок.

2. Подробное и тщательно исполненное описание всего хода опыта с замочкой котлована и наблюдающихся в процессе его проведения различных деформаций грунта, иллюстрированное журналами наблюдений, планами участка в горизонталях, таблицами, графиками, зарисовками и фотоснимками.

3. Выводы о степени и характере развития просадок и иных нарушений первоначального залегания пород участка и зависимости их от продолжительности и интенсивности промачивания водой и ряда других условий.

4. Рекомендуемые строительные мероприятия по предотвращению или ослаблению вредных для целостности проектируемых сооружений последствий деформации грунта.

5. Подробную программу дополнительных исследований (в случае недостаточности произведенных).

В результативной части отчета желательно привести сопоставление наблюдаемых деформаций с подобными же явлениями в других районах, описанными в литературных или архивных материалах, и указать применявшиеся в этих районах меры борьбы и достигнутый ими успех. Не следует пренебрегать также и приведением данных, почерпнутых при опросе местного населения, так как последнее в некоторых районах накопило ценный опыт в борьбе с различными деформациями грунтов.

Так как просадки представляют собой один из типов современных физико-геологических процессов, то при изучении их необходим естественно-исторический подход. Поэтому изучение просадочных явлений должно производиться обязательно геологом, как владеющим методами естествознания. Между тем, в настоящее время эти исследования иногда ведутся почвоведом или гидротехниками. Поэтому получаемые в результате этих работ данные обычно не дают ответа на целый ряд существенно важных вопросов.

В результате же надлежащего изучения явлений просадок в разнообразных условиях должен быть накоплен материал, дающий возможность с достаточной полнотой и точностью предсказывать просадки, ход их развития и конечную величину, не прибегая к длительным, сложным и дорогостоящим опытным замочкам в котлованах. В данный момент, при современном состоянии наших знаний о просадках в лессе, такой прогноз может быть дан лишь с точностью, далеко не всегда могущей в достаточной мере удовлетворить составителей проекта постройки того или иного сооружения. Прогноз этот дается геологом на основе изучения геоморфологического облика, геологического строения и гидрогеологических особенностей участка, выяснения степени и характера развития современных физико-геологических процессов и лабораторного определения наиболее характерных свойств и состояний лессовых пород, развитых на участке.

Как уже указывалось ранее, результаты изучения просадок показывают, что просадки проявляются главным образом на целинных массивах слабо покатых предгорных равнин, сложенных лессовыми породами пролювиального или делювиального происхождения. При этом общая интенсивность просадок на повышенных участках больше, нежели на пониженных. Площади с плоскоравнинным рельефом (при условии однородности состава пород по горизонтальному распространению и равномерности распределения макропустот), как правило, дают равномерные просадки; на участках же, характеризующихся расчлененностью рельефа, наблюдаются в отдельных пунктах резкие колебания как в отношении скорости процесса, так и в отношении конечной величины просадки.

Наличие многочисленных следов жизнедеятельности организмов в виде нор землероев, ходов термитов и т. п. может служить всякий раз указанием на неизбежность неравномерных просадок. Указанием на возможность появления просадок могут служить хотя бы и незначительные проявления процессов карстообразования. Легкая размокаемость образцов породы, высокая пористость и в особенности некапиллярного характера (что ясно обнаруживается и невооруженным глазом), являют-

ся наиболее характерными признаками, указывающими на просадочность пород.

При наличии полевой лаборатории возможно производство определений ряда характерных показателей пород. Результаты этих определений осветят те стороны явлений, которые не могут быть уловлены при полевом (макроскопическом) рассмотрении пород.

3. Меры борьбы с вредными последствиями деформаций грунтов

Вполне действительные мероприятия по предотвращению во всех случаях вредных последствий просадочных явлений в лессовых породах еще до сих пор не выработаны. Следует считать, что меры борьбы с вредными влияниями просадок на прочность и устойчивость сооружений не могут носить универсальный характер, находясь в зависимости от типа и конструкции сооружений, количества проникающей в грунт воды и характера этого проникновения, мощности лессового покрова, величины его исходной пористости и целого ряда других факторов.

Мероприятия, заключающиеся в создании какой-либо водонепроницаемой оболочки, непригодны, так как они не останавливают, а только задерживают естественный процесс проседания, отодвигая полное освоение участков на более долгий срок. Гораздо целесообразнее всемерное ускорение естественного процесса, к чему и следует всякий раз стремиться, сводя процесс просадки от нескольких лет к нескольким месяцам.

1. Многочисленными наблюдениями установлено, что в условиях равнинной местности с очень спокойным рельефом просадки грунтов на каналах не представляют сколько-нибудь серьезной угрозы для их работы при эксплуатации. В условиях же пересеченного рельефа даже небольшие деформации легко приводят к прорывам бортов каналов, особенно в тех местах, где последние проходят в полунасыпях — полувыемках или полностью в насыпях и построены из того же лессового грунта, что составляет и основной массив, но отличающегося даже после утрамбовки весьма высокой пористостью и значительной рыхлостью сложения вследствие влияния остаточной разрыхляемости. Поэтому проложение каналов в насыпях или полунасыпях требует уплотнения не только насыпного грунта посредством его послойного промачивания и утрамбовки, но также и целинного грунта в основании насыпи путем предварительной обильной его замочки.

На каналах, проходящих в полунасыпях — полувыемках и построенных без предварительной замочки целинного грунта в основании насыпи и со слабой утрамбовкой насыпного материала, часто параллельно с оседанием грунта наблюдаются и явления карста, выражающиеся в образовании провальных воронок и шахт. Вода, устремляясь в эти провалы, производит размыв грунта и приводит к прорывам в бортах каналов. Засыпка прорывов сухим или влажным лессовым грунтом с последующей утрамбовкой насыпаемого материала оказывается недействительной, ибо вслед за заделкой промоины последняя вновь немедленно возникает на том же месте. Как показал опыт борьбы с прорывами на Джуне и Хазар-баке, наиболее действительным средством в этом случае является заливка прорванных участков совершенно разжиженным лессовым грунтом с последующим заполнением их грунтом полужидкой консистенции. В случае своевременного обнаружения прорывов ликвидация их производится быстро и не требует особых усилий. Поэтому одним из обяза-

тельных условий борьбы с прорывами на каналах является постоянное наблюдение за состоянием их берегов и правильная организация системы мероприятий по немедленной ликвидации всех обнаруживающихся разрушений. Для предотвращения прорывов рекомендуется в дамбах на каналах давать возможно больший запас.

2. Для сокращения объема дополнительных земляных работ, неизбежных при реставрации канала после деформации его дна и откосов, рекомендуется первоначальное отрытие выемки канала производить не на полную проектную глубину, а с недобором, учитывая вероятную величину просадки грунта по дну (на основании результатов опытных исследований). При этом сооружения на каналах целесообразнее устраивать не постоянные, а временного типа, из дерева. Первый пропуск воды по магистральному каналу и отходящим от него распределителям должен производиться медленно и расход воды лишь постепенно доводиться до предельно допустимого. По свидетельству М. М. Решеткина (8 и 17), эта мера с полным успехом была применена на Джуне при строительных работах по опрямлению некоторых крупных извилин канала.

3. Для ускорения процесса оседания грунта по вновь сооруженному каналу пропуск воды следует производить с перерывами до 5—7 дней. Помимо того, можно рекомендовать устройство по дну и откосам ряда шурфов и скважин. Выработки эти следует располагать в шахматном порядке, на расстоянии от 10 до 15 м друг от друга (считая радиус их действия равным 5—7,5 м). При этом скважины на откосах желательно задавать не вертикально, а наклонно, перпендикулярно к поверхности откосов. Такое направление скважин будет способствовать расширению полосы равномерной просадки. Глубину шурфов по дну канала желательно доводить до 5—7 м, а глубина скважин на дне и откосах должна быть не менее 12—15 м (при условии глубокого залегания уровня грунтовых вод). Чем больше задано этих выработок на каждый погонный километр канала, чем больше диаметр буровых скважин и чем они глубже, тем больший эффект можно ожидать от их действия. Для предохранения скважин от заиливания их полезно заполнять до самого верха гравием и крупнозернистым песком.

4. Окончательная разработка выемки канала до проектной отметки и замена временных деревянных сооружений постоянными бетонными или железобетонными должна быть произведена через более или менее продолжительный отрезок времени (в среднем около 1 года), когда дальнейшее оседание грунта будет происходить настолько медленно и в таких ничтожных размерах, что практически может считаться закончившимся.

5. В глубоких выемках рекомендуется откосы делать более пологими (1:1,25 или 1:1,5) или же устраивать ряд берм (через каждые 1,5—2 м по высоте).

6. При сооружении водохранилищ полезно, в целях придания водоудерживающей способности лессовым грунтам, слагающим ложе и борта водохранилища (а при земляных плотинах также и тело их), засыпать в воду поваренную соль и другие химические соединения, обладающие свойством диспергирования частиц грунта. Уменьшение потерь воды на фильтрацию может быть достигнуто также и вливанием в воду перед плотиной сильно разжиженного лессового грунта. В этом случае будет происходить быстрый кольматаж пор.

7. При возведении капитальных гражданских сооружений на лессовых породах, способных давать просадки, в неорошаемых районах надлежит принимать всяческие меры предохранения породы от обильного промачивания их водою. Это может быть достигнуто рациональ-

ным устройством канализационной системы, обеспечивающей быстрый и надежный отвод всех поверхностных вод за пределы строительного участка.

Вокруг зданий должны быть устроены широкие водонепроницаемые тротуары с водоотводными лотками, а улицы и дворы хорошо замощены и иметь водоотводную систему для вывода ливневых вод. В орошаемых же районах, где промачивание породы будет неизбежно, следует воздерживаться от возведения этих сооружений без предварительной замочки котлована в течение достаточно длительного срока. При замочке весьма важно добиться распространения равномерной осадки на возможно большую площадь. Для достижения этой цели, а также для максимального ускорения процесса деформации грунта, следует рекомендовать отрытие вокруг котлована под сооружение неглубокой выемки с заложением на ее дне и откосах ряда буровых скважин. Размеры этой выемки, кольцом опоясывающей котлован и соединенной с последним посредством прокопа, ее удаленность от котлована, количество и глубина выработок по ее дну и откосам должны определяться в каждом отдельном случае особо, в зависимости от различных факторов, в первую очередь от размеров и конструкции сооружения и степени подверженности грунта просадкам. Замочку рекомендуется вести в несколько приемов, держа котлован и окружающее его кольцо под водой в течение 20—25 дней, а затем 5—10 дней без воды. Перерывы в замочке должны быть использованы для очистки дна и стенок замачиваемой выемки от верхнего разжиженного слоя, представляющего собою колыматирующий материал.

8. Следует отметить, что рекомендуемая предварительная замочка котлована не всегда полностью предохраняет от последующих просадок. В некоторых случаях, в особенности при тяжелых сооружениях, породы после приложения добавочной нагрузки (от веса сооружения) могут давать некоторую дополнительную просадку. Величина этой дополнительной просадки находится в зависимости от степени просадочности лесса на данном участке, длительности и характера предварительной замочки котлована и размера нагрузки строительного основания на грунт. Поэтому при проектировании сооружений преимущество должно быть отдано таким компоновкам, которые допускают возможность легко разделить здание достаточным количеством осадочных швов (1). Фундаменты рекомендуется возводить не на отдельных столбах с перемычками, а сплошные, при чем после замочки котлована по слегка подсушенному грунту должна быть сделана подготовка из гравия или кирпичного щебня с утрамбовкой и заливкой тощим цементным раствором толщиной в 5—10 см.

9. Для предотвращения или смягчения явлений деформации на участках, предназначенных под орошение, в условиях плоско-равнинного рельефа может оказаться достаточным средством предварительная замочка грунта путем нескольких кратковременных затоплений полей тонким слоем воды. Однако, это мероприятие, в случае наличия сколь угодно значительного количества крупных нор землероев, оказывается совершенно недействительным, так как норы превращаются в водопоглощающие отверстия, вокруг которых вскоре же возникают участки интенсивного проседания. Заливка этих нор разжиженным лессовым грунтом, предшествующая обработке участка к первому поливу, может явиться практически наиболее рациональным и экономически наиболее выгодным мероприятием, приводящим к равномерному распределению просадок по всей орошаемой площади.

Ташкент

Список

главнейших использованных литературных и архивных материалов

1. Абедев Ю. И. Временная инструкция по проектированию и возведению гражданских и промышленных сооружений на лессовидных грунтах. Строительная промышленность, № 7, 1931.
2. Андрухин Ф. Л. Вопросы методики геотехнических исследований лессовидных пород (грунтов). Материалы по гидрогеологии и инженерной геологии УзССР, вып. 1, Ташкент, 1935.
3. Батыгин В. И. К методике оценки просадочности глинистых грунтов. Геология на фронте индустриализации, № 2, 1933 (Новочеркасск).
4. Воронов Ф. И. и Ермаков Н. П. — Инженерно-геологическая характеристика строительной площади Бурджарской гидроэлектростанции в г. Ташкенте (Машинопись). Ташкент, 1933. (Технический архив Бурджарстроя.)
5. Гвоздев В. С. Просадки на Малокабардинской оросительной системе. Изв. госуд. научно-мелиор. института, вып. XX, Ленинград, 1930.
6. Глебов Н. Д. Наблюдения над ужатием лесса и осадкой каналов на опытном участке в Золотой орде в Голодной степи. Изв. научно-исслед. инст. гидротехники, том V, Ленинград-Москва, 1932.
7. Димо Н. А. Роль и значение термитов в жизни почв и грунтов Туркестана. Почв. экспедиция в бассейнах рек Сыр-дарьи и Аму-дарьи, вып. II, 1916.
8. Замарин Е. А. и Решеткин М. М. Просадки и водопроницаемость лесса. Труды Среднеазиат. научно-исслед. инст. ирригации, вып. 5, Москва-Ташкент, 1933.
9. Иванов Н. И. Строительные свойства грунтов в зависимости от влажности. Первый всесоюзный гидрогеол. съезд. Сборн. седьмой, секция инж. геологии, 1934.
10. Инструкция по испытанию и исследованию грунтов на месте работ КОМСТО, Москва, 1930.
11. (Кенесарин) Гидрогеологические исследования опытного участка „Земля и труд“ в 1934 г. Упрагол. (Машинопись). Ташкент, 1935. (Архив Упрагола).
12. (Крылов М. М.) Режим грунтовых вод района реконструкции орошения Голодной степи. Упрагол. (Машинопись). Ташкент, 1935. (Архив Упрагола).
13. Лисцин К. И. О просадочных явлениях на Северном Кавказе. Первый всесоюзный гидрогеол. съезд. Тезисы доклада, Москва—Ленинград, 1931 г.
14. Лютгарстаузен Ф. В. Аб „лессавым карсьце“ и аб асобным тыпе равочкаў. Працы Навуковага т-ва на вывученьню Беларусі, том I, 1926, стр. 143—146.
15. (Попов Г. П.) Результаты исследований свойств почвогрунтов и изменений, происходящих в них под влиянием замочки на равнине Ак-газа. Среднеазиат. инст. удобрения и агропочвоведения (Машинопись). Ташкент, 1932. (Архив Санири).
16. Пышкин В. А. Семхоз Пахта-арал. Осадка грунтов на каналах в северо-западной части Голодной степи. Вестник ирригации, 1928, № 1, стр. 39—44.
17. Решеткин М. М. Осадки лессовидных грунтов на ирригационных системах. Первый всесоюзный гидрогеологический съезд. Сборник седьмой, секция инженерной геологии, 1934.
18. (Туркин Г. И.) Технический отчет результатов работ Вахшской экспедиции по изучению просадок грунтов на Вахшстрое (опыты с замочкой) (Машинопись). Санири, Ташкент, 1932. (Архив Санири).
19. Хеладзе Н. Е. Явления образования трещин и осадки грунтов вдоль оросительных каналов. Труды второго всесоюзного гидрологического съезда, ч. II, 1929.
20. Щеглов Н. И. К вопросу изучения просадок грунта. Геология на фронте индустриализации, № 7—9, 1933.

Электронасосные оросительные установки

Развитие электростроительства в ирригационных районах СССР и совершенно естественный для этих районов комплексный характер разрешения водохозяйственных проблем, связующий ирригацию и энергетику (гидроэлектроэнергетику), обуславливают актуальность изыскания оптимальных техникоэкономических схем электрификации механического подъема воды для оросительных целей.

Народохозяйственное значение этой задачи определяется масштабами наличного и возможного в перспективе машинного орошения.

Мощность свыше сотни наличных машинооросительных установок СССР (преимущественно с двигателями внутреннего сгорания) уже на начало второй пятилетки достигала свыше 15.000 лощ. сил: в Закавказье — 46 насосных станций мощностью около 8,5 тыс. л. с. и в Средней Азии — 57 станций общей мощностью свыше 6,8 тыс. л. с.

Конечная мощность только главнейших исключительно электрифицированных ирригационных насосных установок Закавказья и Средней Азии, проекты которых на тот же период были уже проработаны, намечалась до 100.000 лощ. сил, при суммарной площади орошения этих установок в 850.000 га.

Размах предстоящего строительства электронасосных установок вполне вырисовывается, если к названным цифрам приплюсовать гораздо более значительные цифры электроорошения (преимущественно по методу дождевания) Заволжья по проекту „Большой Волги“: 3—6 (по разным вариантам) млн. га, при суммарной установленной мощности порядка 2,8—3,2 млн. лощ. сил.

При всей значительности предстоящих техникоэкономических задач электроорошения, в советской технической литературе до сего времени отсутствуют какие-либо специальные работы, достаточно полно выявляющие и охватывающие все инженерно-технические моменты данной проблемы.

Настоящая статья является попыткой систематизации накопившихся данных, идей и неразрешенных вопросов инженерно-технического (и, в частности, электротехнического) порядка, в целом составляющих основные элементы уже назревшего нового крупного раздела науки ирригации — раздела „Электронасосные оросительные установки“.

Все возможные электронасосные ирригационные установки, т. е. установки электрифицированного подъема воды для оросительных нужд, можно подразделить: по источникам питания — на установки, поднимающие

воды открытых потоков, либо озер, и установки, поднимающие подземные воды (калифорнийские колодцы), и по характеру обслуживаемых ирригационных систем—на установки, питающие магистральные оросительные каналы, и установки, питающие сети трубопроводов дождевания.

Электронасосные станции

Электронасосные оросительные станции—водоподъемные для ирригационных целей стационарные установки, основным оборудованием которых являются агрегаты, состоящие каждый из насоса и приводящего его в движение электромотора. Сооружение первых электронасосных оросительных станций относится к началу текущего века; развитие электрификации и усовершенствование конструкций насосов обусловили быстрый рост электроорошения в Египте, Испании, Италии, США и Германии, так как электронасосные станции оказались экономически эффективными и конкурентноспособными при сравнении с неэлектрифицированными ирригационными насосными станциями, давая стоимость подъема воды, приемлемую даже и не для особо высокоценных технических культур.

Электронасосные оросительные станции, естественно, располагаются на берегу своего источника питания (реки, озера, водохранилища, ирригационного канала), в непосредственной близости от головы питаемых ими магистральных каналов электрооросительных сетей. Оптимальное местоположение всякой электрооросительной насосной станции, в конечном счете, определяется из сопоставления и технически и экономически наиболее целесообразной увязки следующих трех моментов:

1. Наилучшего местоположения головы магистрального канала сети электроорошения.

2. Наивыгоднейших гидравлических параметров самой электронасосной станции.

3. Длины и характеристик передачи электроэнергии, питающей насосную станцию. Известная роль при этом принадлежит также и вопросам объема и стоимости возможных строительно-монтажных работ при сооружении электронасосной станции. Таким образом, за оптимальный вариант местоположения электрооросительной станции должно принять такой, который обеспечит минимум приходящихся на гектар орошаемой площади и начальных капиталовложений и эксплуатационных расходов по транспорту электроэнергии насосной станции, и по подъему и по распределению поднятой насосной станцией воды.

Площадки, потребные для зданий электронасосных оросительных станций, определяются в основном суммой площадей, потребных для агрегатного зала и для распределителей.

Удельная площадь, потребная в среднем на каждый электронасосный агрегат при производительности такового от 0,1 до 0,5 куб. м/сек., колеблется в пределах от 2 до 1 м² на 0,1 куб. м/сек. производительности; нормальное отношение длины электронасосного агрегата к его ширине колеблется в пределах от 2,5 до 2,8. Между отдельными главными агрегатами, между ними и другими вспомогательными машинами, между машинами и стенами обязательны проходы в 1,5 м.

Высотное расположение пола здания станции (вернее—осей насосов) определяется лимитом высоты всасывания (5—6 м при температуре воды до 20°C¹), зависящим, между прочим, и от конструкции насоса.

¹ При $t > 20^\circ\text{C}$ допустимая высота всасывания, не грозящая явлениями кавитации, ниже 5 м.

Высота агрегатного зала станции определяется возможностями маневрирования мостового крана; во всяком случае, эта высота ниже, чем для машинных помещений дизельнасосных станций (в особенности в случае вертикальных дизелей).

Оросительные насосные станции характерны значительными колебаниями во времени своих основных параметров—дебита (Q кб. м/сек.) и напора (H м).

Величина дебита для каждого отдельного дня работы насосной станции, а в совокупности за год — директивный график производительности установки, predetermined директивным графиком расходов воды в голову машинного канала, питаемого установкой, в свою очередь определяемого графиком полива орошаемой территории и коэффициентом полезного действия ирригационной сети, колеблющимся в пределах от 0,35 до 0,90. За директивный график поливов надлежит принимать перспективный плановый график, при чем „укомплектование“ графиков поливов в интересах максимальной рентабельности насосной установки должно проводить так, чтобы обеспечить максимально возможное постоянство потребной для установки мощности (т. е. примерное постоянство произведения величин двух основных гидравлических параметров— QH); при дебите установки, составляющем значительную долю расхода питающего водного источника, приходится учитывать обязательность синхронизма режимов установки и источника (увязка гидрографа реки с кривой расходов магистрального канала насосной установки).

При проектировании за расчетный (годовой, сезонный) календарный график колебаний дебита (Q) электронасосной установки должно принимать график, окончательно прокорректированный в соответствии со всеми отмеченными выше моментами, что может быть выполнено лишь после построения параллельно и графика колебаний напора (H).

Колебания величины манометрического напора, который придется преодолевать насосной установке, зависят от колебаний величины геометрического напора (разности уровней воды верхнего и нижнего бьефов) и от колебаний дебита отдельного агрегата¹, поскольку от величины расхода воды, прогоняемого насосом через всасывающий и нагнетательный трубопроводы, зависят величины гидравлических потерь в трубопроводах и в насосе.

График колебаний величины геометрического напора строится путем графического сопоставления вычерченных в одинаковых масштабах графиков колебаний уровней верхнего и нижнего бьефов, вычитанием из ординат графика верхнего бьефа (отметки уровня) ординат нижнего; графики же колебаний уровней обоих бьефов строятся на основе соответствующих для источника питания и для машинного канала графиков колебаний расходов и кривых расходов (зависимостей $Q=f(H)$).

Что же касается величин суммарных гидравлических потерь, то они могут быть окончательно исчислены лишь после выбора числа агрегатов и производительности отдельных насосов, а равно и после установления схемы трубопроводов. Предварительно же для насосных установок с геометрическим напором до 20 метров можно принимать

$$H_{\text{ман}} = (1,4 - 1,6) H_2.$$

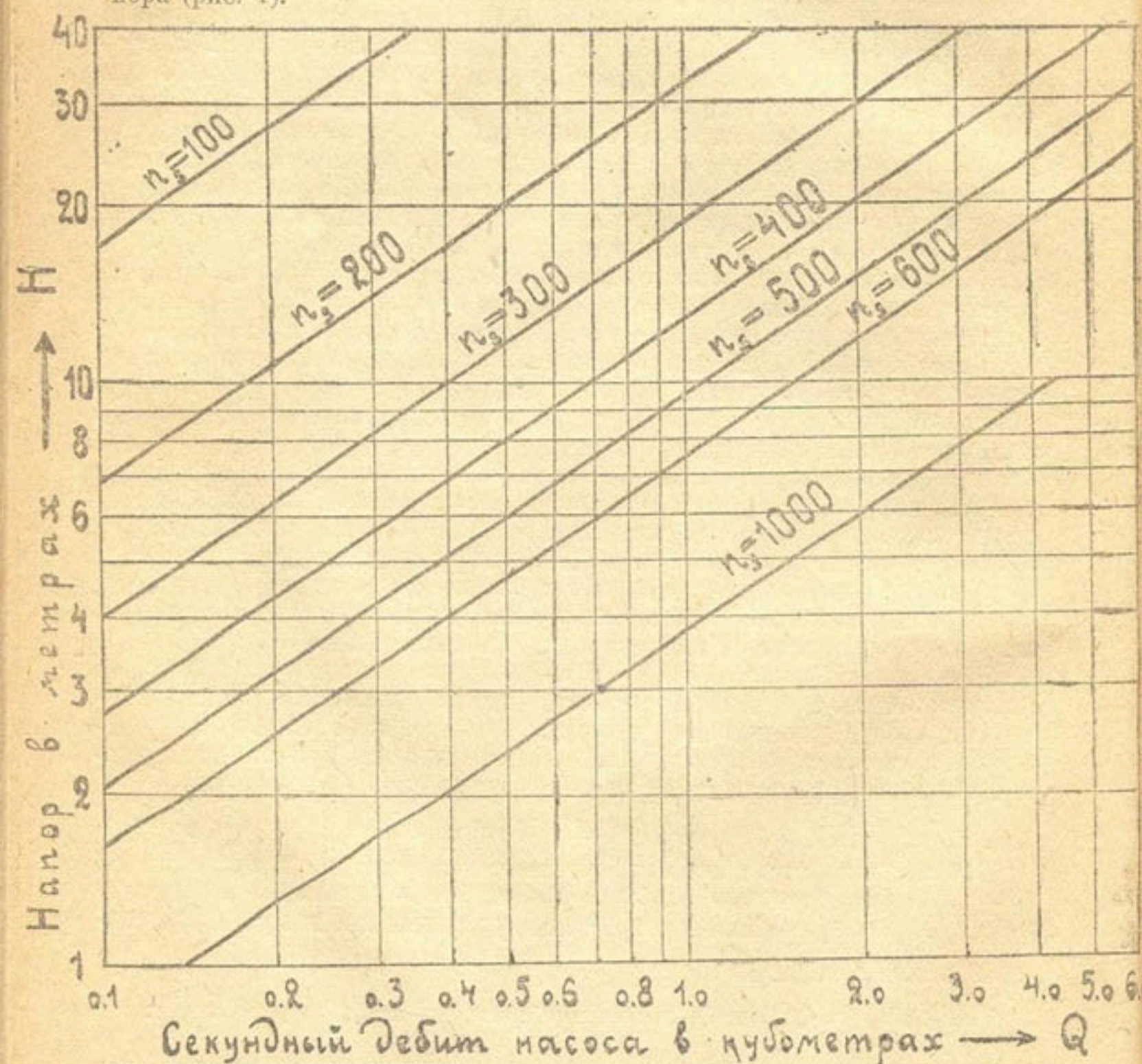
На современных насосных оросительных установках применяются исключительно роторные (центробежные, винтовые или пропеллерные) насосы, характерные взаимосвязью между величинами их производи-

¹ $H_{\text{ман}} = H_2 + g \cdot Q^2$, где Q —расход в кбм/сек, а g —коэф. сопротивления.

ности (Q) и напора (H), при определенном числе оборотов. Так как насосные оросительные установки отличаются значительными колебаниями их гидравлических параметров, то для возможности рационального подбора насосов при проектировании установки необходимо фиксирование некоторых расчетных значений дебита и напора, характерных для директивного режима проектируемой станции; за расчетные значения дебита и напора надлежит принять наиболее часто повторяющиеся комбинации этих значений.

Очень удобным для установления расчетных значений дебита и напора является метод построения соответствующих графиков продолжительности расходов станции и манометрических напоров; базами для построения этих графиков служат календарные хронологические графики дебита и напора, их ординаты располагаются не хронологически но по ниспадающим значениям, а абсциссы перестают быть осями календаря, делаясь просто осями времени.

Графики продолжительности дебита и хронологические графики колебаний дебита и напоров дают возможность построить комбинированный график продолжительности дебита при различных значениях напора (рис. 1).



Анализ всех трех названных графиков продолжительности, особенно последнего—комбинированного, дает основание для установления расчетных значений Q и H .

При этом на установление значения (одного или нескольких) расчетного манометрического напора влияет намечаемый метод регулировки насосных агрегатов,—будут ли агрегаты работать с регулировкой числа оборотов, или при неизменном числе оборотов (регулировка задвижкой в напорном трубопроводе).

Для выбора числа и мощности электронасосных агрегатов следует воспользоваться графиком продолжительности дебита установки и графиком продолжительности потребной для установки мощности; этот последний график может быть построен путем соответствующего преобразования хронологического графика мощности, являющегося производным хронологических графиков расчетного дебита и расчетных напоров. В основу выбора числа и мощности агрегатов кладется принцип обеспечения максимально высоких эксплуатационных показателей: максимального использования насосов по производительности и максимального использования электромоторов по мощности (максимум коэффициента включения и, самое главное¹, максимум коэффициента загрузки).

При этом совершенно естественно стремление к выбору агрегатов возможно высокой производительности, поскольку это адекватно снижению до минимума числа агрегатов, а следовательно, и габаритов здания станции и связанных с ней сооружений, с одной стороны, и поскольку коэффициент полезного действия более мощных агрегатов выше, а стоимость их, равно как и расходы по эксплуатации их, ниже, с другой.

Так как насосные оросительные установки по самой сущности своей являются сезонными предприятиями, работая в общем примерно шесть месяцев (IV—X) в году, должно установить два параллельных понятия эксплуатационных показателей—годовых и сезонных.

Для прямой эксплуатационной характеристики электронасосной оросительной установки необходима следующая система показателей (годовых и сезонных) для отдельных агрегатов, для всей совокупности рабочих агрегатов и для всех установленных (рабочих и резервных) агрегатов: коэффициенты включения агрегатов, коэффициенты загрузки насосов по производительности, коэффициенты загрузки электромоторов по мощности и коэффициенты использования агрегатов по производительности и по мощности.

Специфические требования, которые предъявляются к насосам электрооросительных станций, сводятся к следующему: насосы должны, по большому числу, иметь значительный дебит, при относительно малых значениях напора², насосы должны иметь высокий коэф. пол. действия при большом диапазоне колебаний дебита и напора, насосы должны быть нечувствительны к наличию наносов (мути) в воде, насосы должны быть быстроходными³ (в интересах возможности непосредственного соединения их с электромоторами). Совокупности этих условий удовлетворяют все три существующих типа ротационных насосов: центробежные, вин-

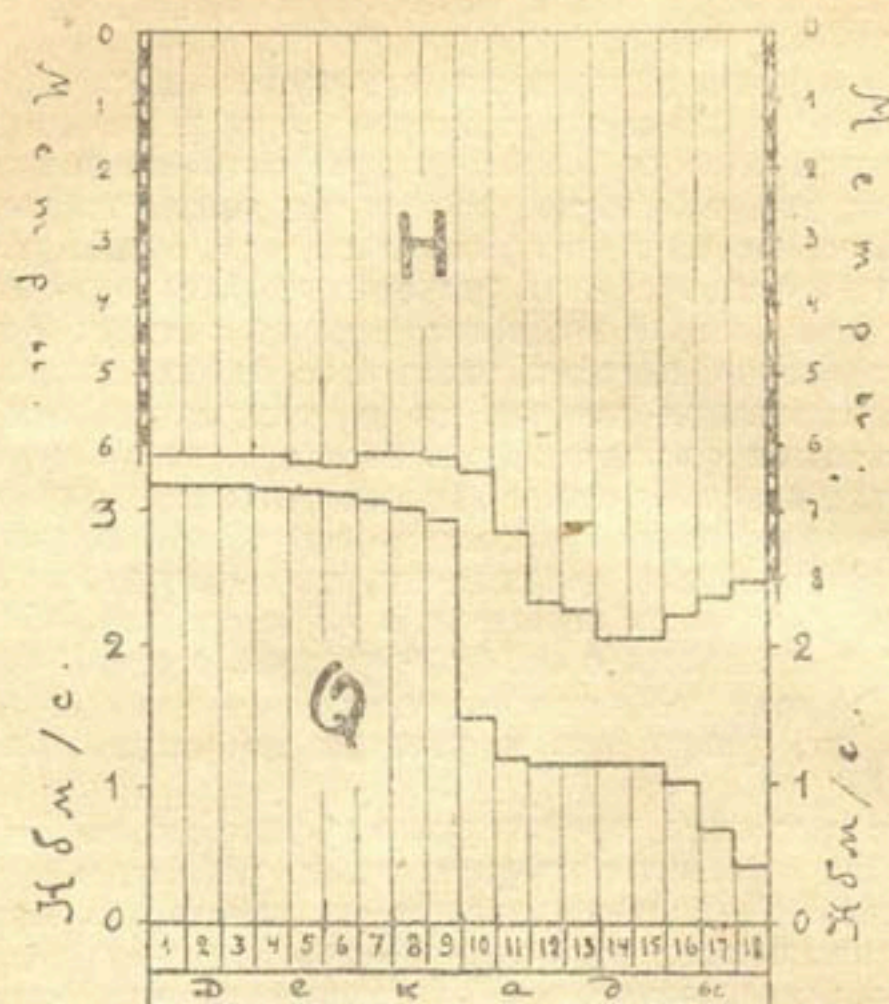
¹ Так как этим определяются и коэф. [пол. действия и коэф. мощности ($\cos \phi$)].

² Низконапорные насосы—при $H \leq 15$ м и средненапорные—при $H = 15—40$ м.

³ Иметь высокий коэф. быстроходности

$$n^* = \frac{3,65 \cdot n \cdot \sqrt{Q}}{H^{3/4}}$$

товые и пропеллерные (первые аналогичны турбинам Френсиса, вторые — турбинам Лавачека, третьи — турбинам Каплана и, как и последние, бывают с поворотными лопатками). Для выбора того или иного типа насоса, — а выбор определяется проектными значениями гидравлических параметров отдельных агрегатов, — автор рекомендует пользоваться разработанной им логарифмической номограммой (рис. 1) значений коэффициен-



тов быстроходности (n_s) для насосов, имеющих 730 об/м, и приводимой проф. Чернышевым таблицей классификации насосов: по номограмме определять для проектных Q и H значение n_s , а по таблице выбирать тип насоса, соответствующий найденному значению.

Таблица 1
Классификация насосов

Класс	Наименование насосов	n_s
1	Тихоходные	100—200
2	Нормальные	
3	Скороходные	300—500
4	Быстроходные-винтовые	400—600
5	Экспрессные-пропеллерные	600—1000 и более

При этом должно иметь в виду, что пропеллерные насосы пока не конструируются для работы на напоры свыше 10 м¹, а обычные цен-

¹ При напорах до 6 м пропеллерные насосы делаются с одним пропеллером, при более значительных напорах — с двумя.

гребные насосы для напоров ниже 10 м, будучи тихоходными, требуют при электроприводе применения трансмиссий, что, помимо технических неудобств в эксплуатации и излишних потерь энергии, влечет удорожание установки за счет повышения габаритов здания станции.

Из предложенной автором номограммы (рис. 1) совершенно ясно, что бесспорная тенденция к конструированию и установке все более и более мощных насосных единиц¹ означает вместе с тем и определенную тенденцию к повышению коэффициента быстроходности ротационных насосов.

Наличие этих тенденций и ряда новых идей в области конструирования насосов чревато на ближайший период ускорением моральной амортизации насосного оборудования, что надлежит особо учитывать при проектировании мощных насосных установок.

Специфические особенности электропривода (постоянная готовность к пуску, простота, возможность автоматизации и быстрота пуска, кривые к.п.д. и $\cos\varphi$ электромоторов и т. д.) исключают целесообразность компоновки электронасосных агрегатов, содержащих более одного насоса. Агрегаты же, состоящие из одного насоса и двух различных по мощности и числу оборотов электромоторов, предназначенных для поочередной работы на различные дебит и напор, в отдельных случаях могут быть объектами рассмотрения при проектировании электронасосных оросительных станций.

Вопрос о резервной производительности насосных оросительных установок должен решаться в зависимости от наличия водохранилища в верху оросительной системы, от аккумулирующей способности совокупности каналов системы в случае отсутствия водохранилища, от засухоустойчивости сел.-хоз. культур обслуживаемых установкой территории, и от степени народнохозяйственного значения орошаемых плантаций. Нормальный процент установленной резервной производительности насосов на оросительной станции, по мнению автора, должен быть порядка не выше 15—20, имея в виду, что сезонность работы ирригационных насосных станций дает возможность очень тщательных проверки и ремонта оборудования за период останова, что значительно снижает угрозы аварий в рабочий период. Практически, однако, в связи с тенденцией к повышению производительности отдельных агрегатов установки, размер резерва производительности определяется соотношением общего номинального дебита установки и номинальной производительности отдельного агрегата на ней, ибо резервные агрегаты (резервный агрегат), естественно, в интересах унификации основного оборудования, должны быть аналогичны по типу и производительности агрегатам рабочим.

Требования, которыми обуславливается выбор электромоторов при компоновке электронасосных агрегатов оросительных установок, достаточно широки и многообразны:

а) общие: соответствующая лимитным гидравлическим параметрам насоса мощность, возможно малые габариты и вес, максимальная дешевизна;

б) по отношению к пуску: возможность быстрого и плавного пуска под нагрузкой без чувствительных для внешней электросети и для работы других агрегатов и механизмов установки толчков, ненужность или возможная простота и дешевизна пусковой аппаратуры, минимальные потери энергии при пуске, возможности автоматизации пуска;

¹ В Европе существуют установки с насосами производительностью по 16 и даже 20 куб.м/сек.

в) по отношению к рабочему режиму: надежность в работе (устойчивость при определенной амплитуде колебаний напряжения в питающей сети, неперегреваемость при определенной длительной нагрузке и т. п.), высокие, при возможно значительном диапазоне режима, нагрузки, коэффициент полезного действия и коэффициент мощности ($\cos\varphi$) и низкий удельный (на кубометр поднятой воды) расход электроэнергии, возможности в соответствии с требованиями режима станции быстрой и плавной регулировки числа оборотов, максимальные возможности автоматизации регулировки, простота и дешевизна обслуживания;

г) по отношению к останову: возможность быстрого и плавного останова агрегата, минимальные при этом потери энергии, возможности автоматизации останова по тем или иным импульсам.

При условии неизбежности по большинству питания современных электронасосных установок в СССР при посредстве электропередач от станций трехфазного тока и отсутствии повышенных требований по части регулировки оборотов, выбор ограничивается выбором того или иного типа электродвигателя трехфазного тока.

Что касается напряжения, то при мощности электродвигателей насосных агрегатов до 40 квт. рекомендуются напряжения 220 и 380 в., при мощности в пределах от 40 до 300 квт.—напряжение в 3000 в., но приемлемо и 6000, и при мощности свыше 300 квт.—наиболее целесообразно напряжение 6000 в., хотя допустимо и 3000 в.

Необходимая мощность моторов определяется по известной формуле

$$W = K \cdot \frac{Q \cdot H_m \cdot 1000}{102 \cdot \eta_{\text{нас.}} \cdot \eta_{\text{мот.}}}$$

при чем величина коэффициента запаса K принимается в зависимости от амплитуды возможного снижения напряжения в питающей электросети (за допустимый максимум падения напряжения принимается снижение его до 60% от нормального). При этом обычно рекомендуется для значения Q в формуле принимать максимально возможный дебит, а для H — минимальный напор., однако, автор полагает более обоснованным принимать вышеупомянутые „расчетные“ величины значений Q и H .

На оросительных насосных установках мыслимо, в соответствии с перечисленными выше специфическими требованиями при компоновке электронасосных агрегатов, применение: асинхронных моторов (короткозамкнутых и фазовых с контактными кольцами), синхронных (с асинхронным пуском) и коллекторных.

При мощности насосных агрегатов до 350 квт. наиболее распространенными на существующих насосных станциях являются моторы асинхронные: до 150 квт.—преимущественно короткозамкнутые, свыше 150 квт.—фазовые.

Общее сравнение короткозамкнутых моторов с фазовыми приводит к ряду явных и значительных преимуществ первых: короткозамкнутые моторы дешевле (нет устройств скользящих контактов, ротор короче, в качестве материала обмотки ротора возможно применение алюминия и без изоляции), короткозамкнутые моторы надежнее в эксплуатации, имеют более благоприятную пусковую характеристику, не требуют пусковых приспособлений, имеют лучший $\cos\varphi$, удобнее для дистанционного управления, могут применяться на насосных станциях открытого типа.

Слабым местом короткозамкнутых моторов является значительный коэффициент пускового тока, что при непосредственном включении мотора в сеть влечет за собой толчки и падение напряжения во внешней электросети. Однако, при большой общей мощности приключенной

к сети мощность электромоторов, которые возможно включать в сеть без пусковых приспособлений, может быть достаточно значительной.

Соответствующий лимит мощности двигателя определяется исключительно допустимой величиной колебания (падением) напряжения, возникающего при пусковом толчке тока. Если $e_{\text{пуск}}$ — допустимое для приемников тока падение напряжения во внешней сети в процентах от номинального напряжения сети, $e_{\text{кзт}}$ — напряжение короткого замыкания (в процентах от ном. напряжения) трансформатора, $I_{\text{пуск}}$ — пусковой ток мотора и $I_{\text{нт}}$ — номинальный ток трансформатора, питающего сеть, то

$$\frac{I_{\text{пуск}}}{I_{\text{нт}}} = \frac{e_{\text{пуск}}}{e_{\text{кзт}}}$$

Отсюда — предельная мощность допустимого к непосредственному включению в сеть мотора в зависимости от мощности питающего трансформатора определяется по следующей формуле:¹

$$P_{\text{им}} = \frac{e_{\text{пуск}} \cdot P_{\text{кзт}}}{100 \cdot K}$$

где $P_{\text{кзт}}$ — мощность короткого замыкания трансформатора,

а $K = \frac{I_{\text{пуск}}}{I_{\text{им}}}$ — коэф. пускового тока.

Если трансформатор имеет исключительно силовую нагрузку, то $e_{\text{пуск}}$ может быть до 10%, а если трансформатор питает и осветительные фидера, то $e_{\text{пуск}}$ не может быть выше 4%.

Таким образом, при исключительно силовом трансформаторе предельная мощность мотора, который допустимо включать непосредственно в сеть без тех или иных пусковых приспособлений, может достигать до 40% номинальной мощности соответствующего группового трансформатора.

Изложенное говорит за то, что ранее ограничивавший сферу распространения и конструирование мощных асинхронных короткозамкнутых моторов коэффициент пускового тока на сегодня потерял свое значение и даже за границей уже имеются примеры выпуска² и применения короткозамкнутых асинхронных моторов мощностью до 1200 квт. (6000 в.).

В последнее время в коммунальных и промышленных насосных установках находят распространение короткозамкнутые асинхронные моторы с углубленным пазом, отличающиеся пониженным пусковым током при значительном пусковом моменте; подобные моторы в СССР строятся мощностью в 100 квт. и выше, за границей — до 2000 квт. Этот тип короткозамкнутых моторов вполне, конечно, применим и для оросительных насосных установок.

Момент вращения такого двигателя в период пуска после начала открытия задвижки (при 75% оборотов) нарастает постепенно, параллельно кривой момента центробежного насоса: в результате — плавное, без толчков, ускорение агрегата.

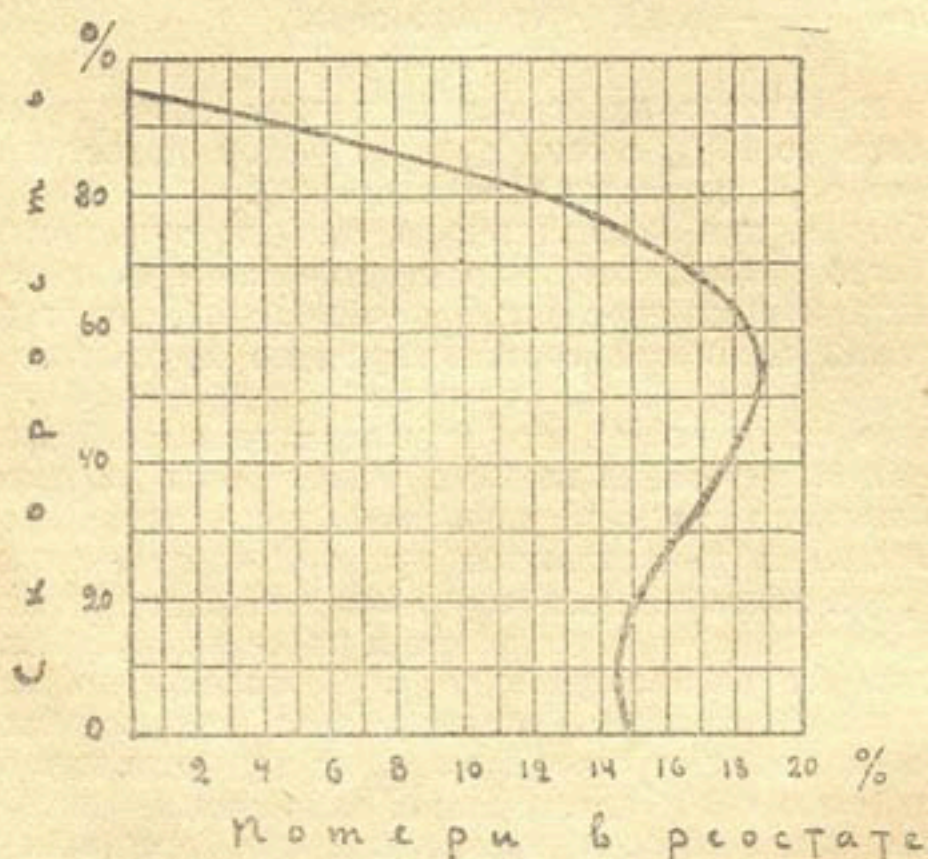
¹ Вывод: $\frac{I_{\text{пуск}}}{I_{\text{нт}}} = \frac{E \cdot I_{\text{пуск}} \cos \varphi}{E \cdot I_{\text{нт}} \cos \varphi} = \frac{P_{\text{пуск.м.}}}{P_{\text{нт}}} = \frac{P_{\text{им}}}{P_{\text{нт}}} \cdot K$
 $P_{\text{нт}} = \frac{P_{\text{кзт.}}}{100} \cdot e_{\text{кзт}}; \quad \frac{e_{\text{пуск}}}{e_{\text{кзт}}} = \frac{P_{\text{им}} \cdot K}{P_{\text{кзт.}} \cdot e_{\text{кзт}}} \cdot 100 \text{ и } e_{\text{пуск}} = \frac{P_{\text{им}} \cdot K}{P_{\text{кзт.}}} \cdot 100$

² Сименс Шункерт.

При необходимости снижения пускового тока пуск короткозамкнутых моторов можно осуществлять понижением подводимого напряжения: либо применением переключения со звезды на треугольник (при малых мощностях), либо применением автотрансформатора (при значительных мощностях).

Минусом короткозамкнутых моторов по сравнению с фазовыми является почти полная невозможность регулировки числа оборотов их. Однако, для электронасосных агрегатов это обстоятельство имеет лишь относительное значение.

Регулировка оборотов агрегата в целях регулировки его дебита при пологой Q/H характеристике насоса вполне заменима регулировкой напора при помощи задвижки в напорном трубопроводе (вентильная регулировка), хотя в оросительных установках в силу того, что их манометрический напор имеет большую статическую составляющую, потери, связанные с задвижкой, довольно чувствительны. При сравнении экономичности регулировки дебита задвижкой, с одной стороны, и изменением числа оборотов агрегата реостатом в цепи ротора фазового асинхронного мотора, с другой, надлежит учитывать, что при изменении числа оборотов (возможно только в сторону снижения) одновременно падает и полный коэф. полезного действия мотора и дебит насоса; при регулировке же задвижкой имеет место лишь снижение дебита при сохранении высокого коэф. полезного действия электромотора; потери



Фиг. 3

в реостате (рис. 3) при первом методе и потери в задвижке при втором зависят, конечно, от диапазона регулировки.

При применении пропеллерных насосов с поворотными лопатками, угол поворота которых при данной скорости определяет величину дебита, в регулировке числа оборотов агрегата нет надобности и полная пригодность для привода короткозамкнутых моторов бесспорна.

В отдельных случаях для насосных оросительных установок могут оказаться особо приемлемыми двух-или трехскоростные индукционные

моторы; при этом, однако, нужно иметь в виду, что изменение (снижение) числа оборотов за счет изменения (увеличения) числа полюсов ведет и к изменению (снижению) мощности мотора.

В случае особо мощных электронасосных агрегатов, при необходимости обеспечения двух (или более) заранее определенных чисел оборотов, может быть применена та или иная схема каскадного включения асинхронных моторов.

Синхронный двигатель, неоспоримым плюсом которого для всякой сети является его свойство, при работе с перевозбуждением обеспечивать компенсацию сдвига фаз, хорошо подходит для привода тихоходных насосов низкого и среднего напора при мощности порядка 200 квт. и выше.

Обыденное главное затруднение к применению синхронных моторов с асинхронным пуском, заключающееся в разрыве между величинами пускового и подсинхронного моментов (по большинству пусковой момент значительно ниже подсинхронного), в электронасосных агрегатах при пуске с закрытой задвижкой не имеет значения, поскольку подсинхронный момент при этом составляет около 50—60% и синхронные двигатели такой момент развивают без чувствительного толчка тока.

Следует отметить, что проектом Волга—Москва для насосных станций предусмотрены синхронные моторы мощностью в несколько тысяч киловатт каждый.

К преимуществам применения синхронного мотора в электронасосных агрегатах следует отнести меньшую, при достаточном возбуждении, чувствительность двигателя к снижению напряжения.

Минусом синхронных моторов является необходимость для питания индукторной обмотки их постоянного тока; однако, генерирование на электронасосных оросительных станциях постоянного тока и без того неизбежно для питания всякого рода защитных и др. реле. Генерация постоянного тока, в зависимости от масштаба потребности в ней, может осуществляться при посредстве преобразовательной установки (проще всего оборудованной ртутниками).

Применение дорогих коллекторных моторов¹ при компоновке электронасосных агрегатов экономически может быть оправдано лишь в случае наличия непреложного требования большого диапазона плавной регулировки числа оборотов; на оросительных установках такой случай едва ли может иметь место.

Электронасосные агрегаты оросительных установок могут быть либо горизонтальными, либо вертикальными; преимуществом последнего типа являются меньшая потребность в месте (значительно уменьшенная квадратура) и возможность пониженной установки насоса (при установке электромотора в безопасном для затопления месте) и, тем самым, возможность уменьшения высоты всасывания.

В пределе при вертикальных агрегатах высота всасывания может быть сведена к нулю — насос может быть установлен ниже уровня воды нижнего бьефа („затопленный“ насос). Распространению вертикальных насосов в СССР до сих пор препятствовал факт неизготовления на советских заводах агрегатов вертикальных насосов и слабого развития строительства нашей электропромышленностью вертикальных моторов (в особенности — достаточно мощных).

¹ В СССР значительной мощности электронасосные агрегаты с коллекторными последовательного возбуждения моторами применены на насосной станции городского водопровода в Ростове-на-Дону.

При очень малом напоре возможна сифонная установка агрегатов оросительных станций.

Центробежные насосы могут быть пущены лишь при условии предварительной заливки, т. е. заполнения водой их корпуса и всасывающего трубопровода; такая заливка для всех случаев незатопленных насосов на коммунальных и промышленных насосных станциях осуществляется либо особым трубопроводом из верхнего бьефа, либо при помощи специального вспомогательного насоса. Недопустимость на всасывающих трубопроводах оросительных установок обратных клапанов делает такой метод заливки неприемлемым и вызывает необходимость применения при установке насоса выше нижнего бьефа особых вакуум-насосов („самовсасывающих“ насосов), создающих во всасывающем трубопроводе вакуум, обуславливающий заполнение этого трубопровода и корпуса водой из нижнего бьефа.

Наилучшими по конструкции из современных вакуум-насосов являются ротационные водокольцевые насосы типа Э л ь м о, изготавливаемые в СССР на заводах Всесоюзного насосно-компрессорного объединения (ВНКО). Высота всасывания для этих насосов до 7—7,5 м, к.п.д.—от 0,35 до 0,50.

Необходимый дебит насоса Э л ь м о для обслуживания того или иного электронасосного агрегата определяется в зависимости от времени, в течение которого агрегат должен быть пущен (обычно 2—3 минуты), и от внутренней кубатуры всасывающего трубопровода и корпуса главного насоса. Насосы Э л ь м о обычно спарены на общем валу с электромотором. Насосы Э л ь м о на оросительной станции могут быть установлены отдельно для каждого агрегата, либо групповые для нескольких агрегатов, либо один для всех агрегатов станции; в последнем случае обязательно наличие резервного агрегата Э л ь м о, во всех прочих случаях обязательно наличие схемы специального воздухопровода, обеспечивающего возможность приключения любого Э л ь м о к любому главному насосу.

Ротационные водокольцевые вакуум-насосы, изготавливаемые в СССР
(сводка характеристик)

Таблица 2

№№ п/п.	Т и п	Q м ³ /м воздуха	h мм ртут. столба	Мощн. мотора (квт)	Габариты (мм)			Число обор. в мин.
					шир.	дл.	выс.	
1	180×25	0,4	515	1,47				
2	180×50	0,8	515	2,2				
3	РМК—1 200×90	1,15	600	4,5		570	1080	1450
4	РМК—2 200×200	4,0	500	10,0		680	1080	1450
5	РМК—3 320×320	12,0	700	29,0	1635	1225	1020	960
6	РМК—4 450×520	30,0	700	55,0	2036	1075	1480	720

Основным бесспорным преимуществом электрификации подема воды для оросительных целей является широкая возможность автоматизации работы электронасосных ирригационных установок: автоматизация

зация всех процессов пуска, автоматизация регулировки дебита по директивному графику при изменяющейся величине напора (при одновременном различном колебании уровней верхнего и нижнего бьефов) всей станции в целом и отдельных агрегатов и автоматизация останова агрегатов, если это требуется по графику, либо это вызывается аварийными обстоятельствами, автоблокировка отдельных элементов оборудования станций, устройство дистанционного управления насосной станцией и т. д., и т. д.

Электронасосные оросительные станции могут быть либо полностью автоматическими (работающими без постоянного людского персонала), либо полуавтоматическими (с кнопочным запуском и остановкой агрегатов, сблокированных с насосом Э.м.о., задвижкой и электропусковой и регулирующей аппаратурой, если таковая имеется).

Полностью автоматизированные насосные станции, требующие тщательной инспекции¹ всего лишь 1—2 раза в декаду и обыденно работающие без всякого обслуживания, появились и получили за границей широкое распространение² по окончании мировой войны. Несколько подобных станций имеется и в СССР.

Полная автоматизация ирригационных электронасосных станций в ближайшей перспективе, нужно думать, будет иметь место прежде всего для установок малой и средней мощности, особенно при наличии куста подобных установок в каком-либо районе, что будет служить импульсом к дистанционному управлению этих установок из единого диспетчерского центра, являющегося таковым же центром и для всей обслуживаемой насосными установками ирригационной сети. Единственным тормозом к форсированному развитию автоматизации электронасосных оросительных станций может явиться задержка в развитии производства соответствующих приборов автоматики на заводах электроаппаратуры.

При автоматизации электронасосных оросительных установок с дистанционным управлением особо должны быть разрешены следующие частные задачи:

1. Автоматизация устройств, гарантирующих бесперебойность электроснабжения установки.

2. Автоматизация включения, выключения и контроля работы отдельного насосного агрегата (вакуум-насос, рабочий насос, задвижка).

3. Автоматизация работы всех агрегатов (перевод нагрузки с одного агрегата на другой, приключение либо отключение резерва). Для максимального успеха автоматизации должна быть обеспечена взаимозаменяемость одноименных элементов оборудования, что может иметь место лишь при унификации (однотипности) этого оборудования, возможного укрепления агрегатов и, следовательно, уменьшения их количества.

Ради бронировки бесперерывности электроснабжения насосных ирригационных станций они должны получать электроэнергию обязательно по двум цепям электропередачи (рабочей и резервной) и желательно даже от различных источников (ГЭС, подстанций). В общем случае эти электропередачи будут подавать энергию высокого напряжения (35 кв., 100 кв.). Таким образом, на насосной станции неизбежны устройства (подстанции) по трансформации энергии на рабочее напряжение станции (чаще всего 6 кв., иногда—3 кв.). Высоковольтную часть подстанции с главными (силовыми) трансформаторами естественно расположить

¹ Осмотр всех машин, приборов автоматики и др., особенно трущихся деталей, анализ масла масляников, проверка контактов.

² Преимущественно коммунальное.

на открытом воздухе, а часть рабочего напряжения в особом помещении¹ здания насосной установки; функции устройства по гарантии бесперебойности электроснабжения детализируются так:

1. Автоматическое замыкание масляника между рабочей цепью электропередачи и шинами высокого напряжения распредустройства электронасосной установки всякий раз, как только рабочая цепь электропередачи окажется под напряжением.

2. Автоматическое выключение масляника рабочей цепи электропередачи в случае аварии на ней и немедленное автоматическое включение масляника, соединяющего с шинами высокого напряжения подстанции резервную цепь электропередачи.

3. Автоматический обратный процесс — выключение резервной и включение рабочей цепи на те же шины высокого напряжения по ликвидации аварии в рабочей цепи и появлении на ее концах нормального напряжения.

4. При коротком замыкании на шинах высокого напряжения или в сети установки — автоматическое выключение масляника рабочей цепи без последующего включения масляника резервной.

5. Автоматическое выключение или включение любого из до сих пор названных масляников по нажатию соответствующих кнопок командного контактора на диспетчерском пункте.

6. Автоматическое приключение к шинам высокого напряжения первичных обмоток рабочего (рабочих) трансформатора (трансформаторов).

7. Автоматическое выключение аварийного трансформатора с последующим включением резервного, и т. д.

Пуск отдельного агрегата автоматической электронасосной установки может осуществляться либо без импульса с диспетчерского пункта при посредстве особо настроенного часового механизма, либо по нажатию пусковой кнопки контактора на диспетчерском пункте. Процесс автопуска в деталях протекает в следующей последовательности: прежде всего замыкается цепь промежуточного реле, включающего пусковой контактор вакуум-насоса и одновременно контрольное реле времени; главный насос заливается и, по достижении в трубопроводе соответствующего уровня, поплавков, помещенный в трубопроводе, размыкает цепь вакуум-насоса (вакуум-насос останавливается) и включает масляник мотора агрегатора и пускатель реверсивного мотора задвижки (асинхронный, быстроходный, 0,5—3 квт.); полное число оборотов агрегата (если мотор асинхронный) достигается весьма быстро, открытие же задвижки продолжается 1,5—2 минуты; в случае фазного мотора в составе агрегата, последний контакт реостата (конец пуска) замкнет цепь пускателя задвижки, поднимающийся шпиндель задвижки разомкнет цепь пускателя и цепь реле времени; если в течение определенного времени (выдержка времени 5 минут) открытие задвижки не последовало, то реле времени сработает и дает импульс к закрытию задвижки и к останову мотора, все механизмы придут в исходное положение, а диспетчерский пункт получит сигнал отказа; блокировочное реле предотвратит возможность вторичного пуска.

Аналогично осуществляется и автоматический запуск агрегата с синхронным мотором, при чем либо синхронный мотор приключается к сети как асинхронный мотор без возбуждения и разворачивается до подсинхронного числа оборотов и входение в синхронизм достигается

¹ Помещение в два этажа: в первом — ряд камер для масляных выключателей, во втором — сборные шины, раз'единители и т. п.

автоматически при приключении возбуждения (самосинхронизирующийся метод включения), либо при запуске применяется автотрансформатор.

Автоматическое оборудование должно контролировать правильную последовательность операций и блокировать установку при нарушении нормального режима пуска; пуск не должен осуществляться (и автоматика должна предотвращать подобную возможность) при недостаточном напряжении, однофазном режиме, реверсе фаз, обрыве цепи, возбуждения, перегреве подшипников или обмотки, перегрузке и т. п.

Автоматическая остановка агрегата осуществляется либо по сигналу диспетчерской, либо в случае какой-либо аварии в агрегате, либо по достижении определенного уровня в верхнем бьефе; процесс остановки складывается из закрытия задвижки и затем выключения мотора (с предварительным введением в цепь ротора реостата в случае фазового асинхронного мотора с контактными кольцами).

При наличии диспетчерского управления автоматическими электронасосными установками центру должна быть обеспечена возможность постоянного наблюдения за работой связанных между собой механизмов установки и за уровнями верхнего и нижнего бьефов; средством для этого могут быть телеизмерительные устройства, наиболее дорогой частью которых являются линии связи (можно воспользоваться существующими телефонными, телеграфными и другими линиями путем наложения соответствующих частот). Диспетчерский пункт должен быть обеспечен получением сигналов о всякого рода авариях на установках (телесигнализация).

Экономический эффект автоматизации электронасосных оросительных установок выражается прежде всего в значительном снижении стоимости зданий и сооружений при незначительном повышении общей стоимости оборудования и в резком снижении эксплуатационных расходов. Снижение стоимости зданий обуславливается:

1. Отсутствием потребности в бытовой площади для обслуживающего персонала.

2. Сокращением норм площади для отдельных агрегатов за счет уменьшения проходов между оборудованием до пределов минимальных требований периодической инспекции и возможностей демонтажа и ремонта.

3. Допустимостью понижения высоты машинного зала.

4. Отсутствием нужды в дневном освещении. Общая кубатура зданий автоматизированной электронасосной установки составляет примерно 55—60% кубатуры той же производительности неавтоматизированной.

Уменьшение эксплуатационных расходов при автоматизации является следствием резкого сокращения обслуживающего персонала.

Напоропреобразовательные станции

В случае, если голова машинного канала может быть расположена в таком пункте источника орошения, где возможно устройство перепада или где он уже имеется, для насосных оросительных установок в последнее время применяются так называемые „напоропреобразователи“. Напоропреобразователь представляет собой агрегат из спаренных на одной вертикальной или горизонтальной оси гидротурбины и ротационного насоса; при посредстве этого агрегата энергия водного потока, преобразуясь в турбине при падении некоторого расхода Q с высоты H в энергию вращения и вращая колесо насоса, поднимает меньшее ко-

личество воды Q_1 на большую высоту H_1 . Учитывая сезонный характер работы насосных ирригационных установок, автор полагает целесообразной электрификацию напоропреобразовательных станций. Подобная электрификация, по мысли автора, должна быть осуществлена путем сконструирования агрегата, состоящего из напоропреобразователя и электрогенератора, т. е. скомпонованного из насаженных на общем валу гидротурбины, ротационного (пропеллерного) насоса и электрогенератора (либо динамомашины постоянного тока, либо генератора трехфазного тока, лучше всего — асинхронного).

Конструкция подобного агрегата должна допускать привод при посредстве турбины или только насоса, или только генератора, или, наконец, одновременно и насоса и генератора. Такая конструкция обеспечит возможность достижения максимального использования энергии потока с обращением этой энергии, в зависимости от потребности момента, либо для под'ема воды, либо для генерации электроэнергии, либо, наконец, одновременно и для под'ема воды и для генерации энергии (в той или иной пропорции). При включении в состав агрегата асинхронного генератора¹ и обеспечении возможности отключения соединений между собой генератора и насоса от турбины возможно использование агрегата в качестве электронасоса при работе асинхронной машины на режиме мотора.

Предлагаемая схема установки, таким образом, является универсальной—это и насосная станция с приводом и гидравлическим и электрическим, это одновременно и гидроэлектростанция. Универсальность, обеспечивая чрезвычайную эластичность работы установки, как насосной станции, в сезон дает, помимо того, возможность по меньшей мере удвоить коэффициент использования зданий и сооружений, а равно и турбин, за счет эксплуатации установки в качестве гидроэлектростанции.

Все, что было сказано по части автоматизации электронасосных оросительных установок, полностью приложимо и к электронапоропреобразовательным оросительным установкам.

Электронасосные станции дождевания

Под дождеванием понимается метод ирригации, при котором оросительная вода разбрызгивается на орошаемой площади при посредстве особых приспособлений (аппаратов), к которым она из того или иного источника подается под давлением по трубам.

При дождевании вся орошаемая территория разбивается на большие прямоугольники (очереди до 140 га), обслуживаемые переносными дождевальными устройствами поочередно. Комплект дождевального оборудования состоит из двигателя, насоса, некоторого количества переносных труб с необходимыми фитингами и нескольких „вакфат“ (воздушных разбрызгивательных вращательных насадок²).

Значительная экономия воды при дождевании по сравнению с обычным арычным способом орошения, отсутствие необходимости мелкой оросительной сети и тем самым упрощение задач механизации обработки полей орошаемых культур обещают дождеванию в СССР большой масштаб развития.

¹ При работе на сеть, питаемую еще и другой станцией, оборудованной синхронными альтернаторами.

² Имеется ряд самых разнообразных конструкций дождевальной аппаратуры.

Проект Большой Волги намечает применение дождевания на грандиозной площади в 4.000.000 га с использованием для питания дождевальных устройств исключительно электронасосов, с затратой ежегодно 5,3 мрд. квтч. электроэнергии для их привода и под'ема до 10,5 мрд. кубометров воды.

При дождевании применяются обыденные центробежные насосы высокого давления (5—8 ат)—многоступенчатые. Для привода их вполне приемлемы асинхронные моторы (непосредственное соединение).

Специальными электротехническими проблемами дождевания являются проблема экономически оптимальной схемы электросети для питания передвижных электронасосных агрегатов дождевания и проблема оптимальной (более экономичной, мобильной и простой в эксплуатации) конструкции этих агрегатов.

Электродренажные установки

До 80% всей искусственно орошаемой площади США орошается водами колодцев и родников.

Распространенные в США ирригационные так называемые калифорнийские колодцы преследуют две цели — снижение уровня грунтовых вод в интересах предотвращения засоления и использование части этих вод для оросительных нужд. Откачка воды из калифорнийских колодцев осуществляется при посредстве насосов, приводимых в движение электромоторами, поэтому этот метод дренирования носит название электродренажа.

Площади ирригационных районов СССР, мыслимые для электродренажа, исчисляются миллионами га: Южный Хорезм—1000 тыс. га, Голодная степь—500 тыс. га, Муганская степь—430 т. га, Араздаинская степь и Зангибассар-Карасунский район—до 30 т. га и др.

Число и расположение колодцев зависят от гидрогеологических условий, от директивной нормы понижения уровня грунтовых вод, от дренажного модуля и т. д.; вопрос о числе и локализации колодцев должен решаться с учетом вопросов экономики и технических условий электроснабжения — вопросов конфигурации электросетей, вопросов экономической мощности колодезных электромоторов (реже колодцы — более мощные моторы, и наоборот); для оптимального решения задачи о числе и местоположении электродренажных колодцев, по мнению автора, целесообразно применить метод проф. Хрущева для выбора числа и расположения питательных пунктов при расчете электрических распределительных сетей.

Глубина калифорнийских колодцев, существующих в США и запроектированных в СССР, колеблется в пределах от 30 до 150 м, дебит—от 0,03 до 0,14 куб. м/сек; мощность моторов для привода обслуживающих колодцы насосов—от 1,5 до 500 НР (в СССР—от 9 до 38 НР).

В практике США в настоящее время электродренажные колодцы оборудуются почти исключительно вертикальными турбинными насосами с электромоторами на общем валу. В самое последнее время появились новые колодезные „глубокие“ насосы (в Германии Uta, в США Reda), опускаемые в колодец вместе с электромотором особой конструкции¹ в специальном кожухе.

Работа колодезных электронасосных агрегатов может быть вполне автоматизирована.

¹ Тонкие и длинные электромоторы.

Диспетчерское телеуправление колодезными агрегатами электродренажной сети, в виду значительного числа колодцев на отдельном ирригационном массиве и разбросанности колодцев, потребует очень развитой сети электропроводов.

Библиография

1. Сидоров А. Н. — Технические условия и нормы проектирования ирригационных насосных станций (проект). Саратов. Огиз РСФСР, 1934. ГПБ (Уз-107229)0
2. Чернышев М. Я. — Мелиоративные насосные станции. Гос. изд. колхоз. и совхоз. литературы. М. Л. 1933.
3. Давыдов Ю. К. — По вопросу о проектировании электронасосных станций для оросительных целей. (Журн. „Туркест. сел. х-во“, 1916, № 9).
4. Сидоров А. Н. — Техническая эксплуатация ирригационных насосных станций. Саратов. Огиз РСФСР, 1934. ГПБ/Уз — 103114/1.
5. Перельман И. Я. — Электроорошение и электрификация хлопководства. Соц.-Экгиз. М. 1934.
6. Азерьер С. Х. — Элементы рационализации в проектировании и эксплуатации насосных станций. Гл. ред. стройлитературы. 1934.
7. Азерьер С. Х. — Современные насосные станции. Ростов н/Д Вс. НИИ водоснабжения. 1934.
8. Костяков А. Н. — Основы мелиорации. М. 1933.
9. Малишевский Н. Г. — Насосные станции. ДИТВУ. Харьков. 1934.
10. Есьман И. Г. — Центробежные насосы. ОНТИ М — Л. 1927 г.
11. Бурдаков А. А. — Из практики с центробежными насосами. М. 1931 г.
12. Проскура Г. Ф. — Центробежные и пропеллерные насосы. М. 1932. ГПБ/Уз — 51718/3.
13. Pfeleiderer C. — Les pompes centrifuges, Paris, 1929.
14. Реммаштрест — Справочник-ценник по пром. оборудованию. Гос. к-ра справочников и каталогов. М — 1934.
15. Каталог-справочник Химмаштреста — Том. 1, 1935 г. Гос. к-ра справочников и каталогов. М. 1935 г.
16. Гормашснабб. — Номенклатура — справочник: насосы, компрессоры и вакуум-насосы. М — 1935 г. ГПБ/Уз — 139602/0.
17. Mortensen S. H. — Synchronous Motors for Driving Centrifugal Pumps. Power, pp. 89, 108, 603, 1920.
18. Bye N. S. — Centrifugal Pumps with Automatic Equipment. Iron and Steel Eng., p. 279 1928-9.
19. Тикунов Б. С., Лукин А. Н., Турк В. И. и Швецов Е. Д. — Автоматические насосные станции. Труды Академии комм. х-ва. Госстройиздат. 1934.
20. Будников А. И. и Бромлей Е. С. — Насосные станции городских и заводских водопроводов. М — 1927.
21. Гениев Н. Н. — Водоснабжение городов и промышленных предприятий. М. 1931.
22. Полонский С. М. и Слесарев М. И. — Нормирование монтажных работ при оборудовании насосных, водопроводных и канализационных станций. (Журн. „Санитарная техника“, 1935, № 5).
23. Пышкин Б. А. — Калифорнийские колодцы. ЗакГиз. Тифлис. 1935 г. ГПБ/Уз — 131951/3.
24. Нельсон-Скорняков Ф. Н. — Дренаж при помощи глубоких колодезных насосов, практикуемый на системе р. Соленой в Аризоне САСШ. Главхлопком, Тшк. 1930.
25. Дождевание. — Сборник под редакцией проф. А. Н. Костякова. Сельхозгиз. 1934. ГПБ/Уз — 119613/3.
26. Попов В. К. — Применение электродвигателей в промышленности. Часть II вып. 1, Кубуч. Лен-град, 1935.
27. НКЗ СССР Ирригация Заволжья. Заключение экспертных комиссий по оценке проектов. Изд-во „Крестьянская газета“. М. 1932. ГПБ/Уз — 54767/0.
28. Наумов И. И. — Автоматический пуск синхронных двигателей. („Вестник электропромышленности“, 1935, № 10).

Результаты исследований зимнего режима Боз-су ГЭС в 1935-36 г.

I

п. 1. Введение. Цель исследования

Перед началом постройки Боз-су ГЭС и при ведении строительных работ в отношении льда исследований не велось. Когда вспоминают историю работы станции, то одни сообщают, что о наличии льда на Боз-су знали, а другие утверждают, что этот вопрос совершенно не учитывался. Во всяком случае, хорошо известно, что ледовые затруднения с первого зимнего сезона эксплуатации застали станцию врасплох. В последующие годы станция также испытывала значительные затруднения в зимней эксплуатации.

К зиме 1935-36 г., по инициативе Узаэнерго, на Боз-су ГЭС в напорном бассейне был установлен вращающийся железобетонный лоток инж. Гостунского¹. При установке лотка считалось, что станция будет работать нормально. В виду того, что при наступлении морозного периода в декабре 1935 г. станция неоднократно останавливалась из-за шуги, администрация ГЭС обратилась в Сани ири с просьбой произвести небольшие исследования для выяснения причин остановки станции². Настоящая статья представляет собой краткие результаты проделанной работы с основными предварительными выводами, которые получены на основании исследований 1935-36 г. и имеющегося материала Сани ири по зимнему режиму к. Боз-су за прошлые годы, и по литературным источникам как о нашей, так и заграничной практике³.

¹ См. ст. А. Н. Гостунского и С. Х. Абальянц — Бозсуйский шугосбросный лоток в № 1 журнала Ирригация и гидротехника за 1936 год.

² На исследовательские работы было отпущено 5000 руб. и по дополнительному соглашению еще 3200 р., итого общая сумма — 8200 руб.

³ 1. „Ice Engineering Horvard Barnes“ 1928 г.

2. „Wasserkraft und Wasserwirtschaft“ 1933 г.

3. „Известия НИИГ“ №№ VII, VIII, XVI и т. д.

4. „Canadian hydraulic power development and electric power in Canadian Industry“.

§ 1. Описание Боз-су ГЭС¹

а) Схема установки

Водоприемное сооружение состоит из напорного бассейна с 5 отверстиями шириной по 3,40 м. С правой стороны к станции примыкает водосброс с двумя сифонными водосливами, с пропускной способностью $6,5 + 6,5 = 13$ м³/сек. Водосброс ступенчатый, с водобойными колодцами длиной по 13,0 м, глубиной 1,71 м и перепадом 1,95 м.

Максимальный расход, пропускаемый водосбросом, 50,0 м³/сек.

От напорного бассейна отходят 4 трубопровода, питающие турбины, длиной по 18,0 м и диаметром 2,4 м. Наибольшая скорость протекания воды 2,3 м/сек. Расчетный напор принят 13,5 м (при работе 3 турбин напор 12,7).

Турбины горизонтальные, сдвоенные, кожуховые, лобовые, мощностью по 1650 л. с., изготовлены германским заводом Фриц Неймейер, а третья турбина Ленинградским металлическим заводом.

Автоматический регулятор к ней конструкции Фриц Неймейер. Турбины поставлены вне здания.

Генераторы трехфазного тока по 1250 кв. каждый при 6600 в., с числом оборотов — 375 об/мин. Наибольший диаметр статора — 2,5 м. Насажены на одном валу с турбинами при помощи эластичных муфт.

б) Верхний бьеф

Вследствие создания подпора плотинной, горизонт был увеличен с отметки 466.00 до отметки 478.20, т. е. на 12,2 м. Образовалось водохранилище общей емкостью около 1.500.000 м³, подпор распространился на 6 км вверх по Боз-су, кончалась несколько выше головы Салара.

После создания водохранилища скорости течения значительно уменьшились (в 5-7 раз), и в нем началось интенсивное отложение влекомых Боз-су донных и особенно взвешенных наносов. Получился отстойник значительных размеров. Насколько интенсивно происходит заиление водохранилища, можно судить из сопоставления следующих данных².

С 1926 по 1930 гг., т. е. за четыре года, отложилось³ 800.000 м³, или заилено — 60%.

С 1930 по 1934 гг. отложилось 180.000 м³, или заилено всего с 1926 г. по 1934 г. — 80%.

В настоящий момент водохранилище заилено на 85 — 90%.

Глубина русла изменилась с 15—10 м. до 3—4 м. (1936 г.). Кроме того, промеры института в 1936 году установили, что поперечное сечение русла как в плане, так и в продольном направлении имеет неправильную форму (излучины, отмели, ямы и т. д. — см. рис. 1), берега и дно покрыты растительностью, камышом, водорослями, а также корягами и пр.

¹ Подробное описание установки см. Товстолес „Гидросиловое оборудование гидроэлектрических установок.“

² Более подробная характеристика заиления бьефа Б. ГЭС будет опубликована в трудах С а н и н и р и (А. Ушаков и М. Монаков. „Заиление водоема Боз-су ГЭС“).

³ По данным Ничипоровича.

По причине заиления изменился скоростной режим от ГЭС до головы Салара и выше, так например, в 1926 г. $v_{\text{ср.}}$ у ГЭС было 0,10—15 м/сек., а в настоящий момент $v_{\text{ср.}}$ — 0,60 м/сек.



Рис. 1. Русло Боз-су (пол. № 12)

Соответственное увеличение скоростей произошло на вышележащих участках ($v_{\text{ср.}}$ у головы Салара 0,90 м/сек).

§ 2. Работа ГЭС в зимнее время за прошлые годы¹

Для обеспечения работы ГЭС к зиме 1926-27 г. никаких подготовительных работ не делалось. В ночь с 6 на 7 января 1927 г. массы льда и шуги, принесенные из р. Чирчик, образовали затор на участке от головы Салара и ниже. По причине зажора произошел подъем горизонта воды у Саларского сооружения. Создалась угроза прорыва Саларского сооружения, вследствие чего подача воды в к. Боз-су была прекращена и Боз-су ГЭС остановилась. Перебои в работе ГЭС продолжались почти весь январь 1927 года.

В общем за зиму 1926-27 г. гидростанция не работала в течение 8 дней и 16 дней работала на одной турбине (из-за недостатка воды по причине забитого шугой русла). Недовыработка гидроэнергии выразилась в 271.900 кв.

Несмотря на серьезный урок описанного года, его считали случайным и повторений не ожидали. Однако, в 1927-28 г. шугоход начался с 15 декабря. Подпёртый бьеф гидростанции вскоре оказался забитым шугой и льдом. В общих чертах повторилась история зимы 1926-27 г. Станция стояла 6 дней, а неполной нагрузкой работала в течение 30 дней. Недовыработка энергии выражалась в 394.534 кв.

¹ Указанный раздел составлен на основании архивного материала, опубликованных работ (А. С. Вавилова) и личных спорадических наблюдений за работой ГЭС с 1932—33 г.

В 1928-29 г. ГЭС работала весь зимний сезон нормально. Объясняется это следующим:

В голове Салара был устроен деревянный шугосброс и установлены запони — шуга отбивалась от водохранилища в Салар¹. В эту зиму водоем покрылся льдом и ГЭС работала нормально.

В 1929-30 г. Боз-су ГЭС впервые испытала осложнения непосредственно на станции — забивка решеток поверхностным льдом.

По причине анхорского прорыва и забивки водохранилища шугой ГЭС 1 и 2 января имела полную остановку. По этой же причине она работала неполной нагрузкой до 24 января. Всего за зимний сезон 1929-30 г. станция недовыработала 895.408 кв.

Зимой 1930-31 г. на Боз-су ГЭС прибавилось новое осложнение (помимо забивки водохранилища) — забивка решеток шугой. В ночь на 3 февраля Боз-су ГЭС остановилась из-за забивки решеток, их вытащили и ГЭС работала без частых решеток. Станция в зиму 1930-31 г. недовыработала электроэнергии 424.638 кв.

С зимы 1931-32 и 1932-33 гг. эксплуатация ГЭС стала тяжелей, чем за прошлые годы.

С 1931-32 по 1933-34 г. станция испытывала уже местные затруднения, а именно:

1. Забивка турбин шугой (ГЭС работала без решеток).
2. Обмерзание сифонного клапана.
3. Обмерзание напорного трубопровода.
4. Обмерзание щитов перепада и затруднения в сбросе шуги и льда через перепад.

Начиная с зимы 1934-35 г., ледяной покров не образовывается даже у станции, хотя в прошлые годы это явление было обычным.

В зиму 1934-35 г. Боз-су ГЭС испытывала следующие затруднения:

- а) механическая забивка частых решеток даже при наличии электрообогрева,
- б) обмерзание и забивка шугой турбин,
- в) заторы от шуги у станции.

По указанным причинам станция останавливалась до 5 раз.

Исходя из вышеописанного, основные затруднения на Боз-су ГЭС можно сформулировать так:

1. Забивка шугой подводящего русла от головы Салара до Боз-су ГЭС; вследствие этого явления уменьшается подача воды станции до 10—12 м³/сек, подводящее русло забивается шугой, когда перед головой Салара происходит затор, отбой ее нарушается и она почти целиком попадает в подводящее русло Боз-су ГЭС, забивая последние.

2. Затруднения в сбросе шуги и особенно льда через щиты перепада (с 1935-36 г. установлен лоток).

3. Замерзание воздушной щели в сифонах перепада (с 1934-35 г. устроен ручной клапан разряжения и сифоны после этого работают нормально).

4. Обмерзание и забивка шугой частых решеток трубопровода (с 1935 г. применен электрообогрев, решетки не обмерзают, но забивка их имеет место).

5. Обмерзание металлического трубопровода (с зимы 1933-34 г. это явление более не наблюдается, трубопровод утеплен).

6. Обмерзание и забивка шугой направляющего аппарата.

¹ Затора перед головой Салара не было.

Как видно из изложенного, на Боз-су ГЭС условия зимней эксплуатации ухудшаются из года в год; это ухудшение нужно отнести исключительно за счет заиливания водохранилища.

За 10 лет эксплуатации затраты по борьбе с шугой на Боз-су ГЭС выражаются следующими цифрами:

1926-27 г. около	20.000 руб.
1927-28 . . .	48.000 .
1928-29 . . .	75.000 .
1929-30 . . .	98.000 .
1930-31 . . .	220.000 .
1931-32 . . .	180.000 .
1932-33 . . .	200.000 .
1933-34 . . .	200.000 .
1934-35 . . .	180.000 .
1935-36 . . .	240.000 .

Итого . . . 1.500.000 руб.

Если учесть убытки промышленности¹ (простой заводов, трамвая, потребителя и т. д.), простой которой в 30—50 раз дороже, чем стоимость недовыработки, то общий убыток от шуги выражается миллионами рублей.

III

§ 1. Поступление шуги в верхний бьеф и шугообразование в нем

Наблюдениями установлено, что при нормальной работе саляских запоней поступление поверхностной шуги в подводящее русло ГЭС незначительное—до 2%.

Подтверждено, что при наличии условий, способствующих теплоотдаче потока (открытая поверхность, турбулентность, отрицательная T° воздуха), происходит переохлаждение воды, т. е. понижение ее температуры ниже 0° , хотя бы на незначительную величину.

T° воды измерялась микротермометром.

За период наблюдений в 1936 году было измерено наибольшее переохлаждение воды— $0,094^\circ\text{C}$, при температуре воздуха— 14°C .



Рис. 2. Микрофотография капли охлажденной воды.

¹ Цифры до 1931-32 г.—по данным быв. зам. управл. ТашГЭС С. Д. Алдукова, за последующие годы исчисление производили ориентировочно, на основании собранного материала и по данным инж. Чупракова и Монакова.

В переохлажденной воде выделяются кристаллы льда по всему сечению (см. рис. 2).

Различные предметы, находящиеся под водой, как то: куски дерева, камыш, бетон и особенно металлические предметы, а также поверхность русла, под действием обтекающих их переохлажденных струй и местной теплоотдачи становятся очагами накопления льдообразований.

Для наблюдений за ходом льдообразовательных процессов в период наибольшего льдообразования (ночное время) опускались контрольные веревки.

К веревке длиной, равной глубине потока, привязывались через известные промежутки различные материалы — металлические корзиночки, пучки хвороста и вместо груза кусок бетона.



Рис. 3. Накопления прикрепленной шуги на контрольных веревках.

При вытаскивании на всех веревках независимо от материала, привязанного к ним, были обнаружены большие накопления рыхлой, пластинчатой шуги.

Так, на проволочных корзиночках накопления были наиболее плотные, при чем слои, непосредственно прилегающие к металлу, состояли из плотной мелкопластинчатой шуги (размеры пластинок не превышали 1 см^2). Остальная масса накоплений состояла из рыхлой крупнопластинчатой массы.

На пучках хвороста накопления однородной плотности состояли из рыхлой крупнопластинчатой массы. Кроме того, до появления в потоке видимых невооруженным глазом кристаллов льда на проволочных корзиночках обнаружены мелкие ($d = 2 - 3\text{ мм}$) крупинки льда.

С началом массового образования кристаллов льда погруженные в воду предметы быстро „обрастали“ шугой крупнопластинчатого строения (указанный вид шуги характерен для рассматриваемого участка).

Перечисленные факты позволяют сделать вывод, что накопления шуги на поверхности русла и погруженных в воду предметах происходят за счет влекомых потоком кристаллов льда и образование таковых

непосредственно на переохлажденных поверхностях весьма незначительно.

Накопление кристаллов льда на русле достигает значительных размеров. Эти накопления отрываются от дна под действием пловучести или под действием солнечных лучей. Всплывшие куски содержат значительное количество (до 6%) наносов, слагающих русло Боз-су (см. рис. 4). В силу увеличения удельного веса, указанные куски слегка видны на поверхности воды.

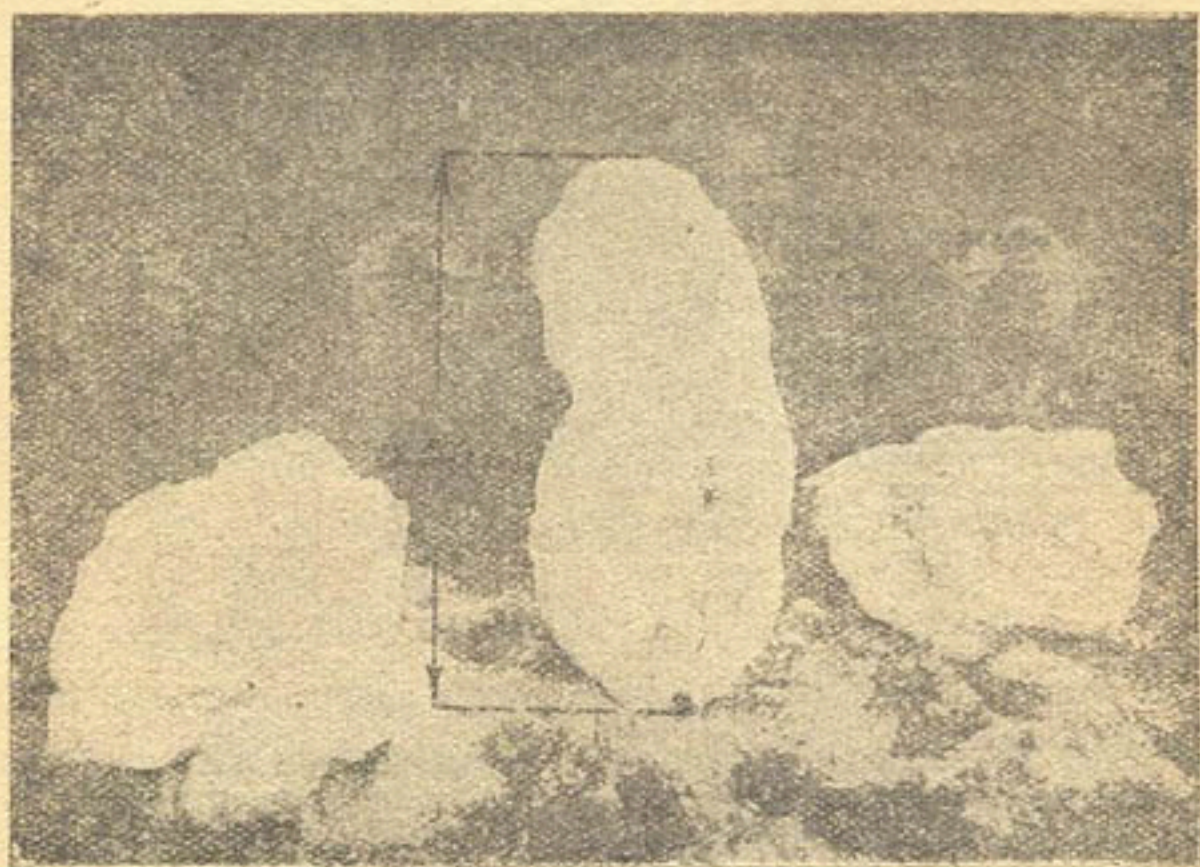


Рис. 4. Накопления прикрепленной шуги, всплывшие на поверхность.

Но не все кристаллы льда потока обволакивают подводные предметы, часть из них всплывает на поверхность воды, смерзается в более крупные кристаллы, образующие пластинки шуги размером до 2—2,5 см² и толщиной в лист писчей бумаги; скопление этих пластинок на поверхности образует ковры шуги.

Наблюдениями отмечено, что на участке от 3-го до 14-го поперечника всплывание кусков прикрепленной шуги чаще и накопления по размерам больше, чем на других участках подводного русла. Это особенно характерно наблюдалось в местах с вихревыми и обратными течениями. На протяжении от головы Салара до ГЭС наблюдались следующие виды шуги:

- а) свободно плавающая (кристаллы льда, которые наблюдаются только в переохлажденной воде, распределяясь по всему сечению потока);
- б) поверхностная (ковры шуги);
- в) прикрепленная (в виде накоплений на погруженных в воду предметах или на поверхности русла, так называемый „донный лед“).

Распределение указанных видов шуги в потоке см. рис. 5.

Существующее до сего времени у работников Боз-су ГЭС и отдельных лиц мнение, что „донная шуга“¹ может находиться по всему сечению потока во взвешенном состоянии, а также двигаться по дну, не соответствует действительности. В зиму 1935-36 г. этого не наблюдалось.

Однако, не исключена возможность, что в процессе перехода от донных очагов образования к поверхности ее можно встретить на любой высоте только вблизи очагов образования.

Распределение шуги на Боз-Су

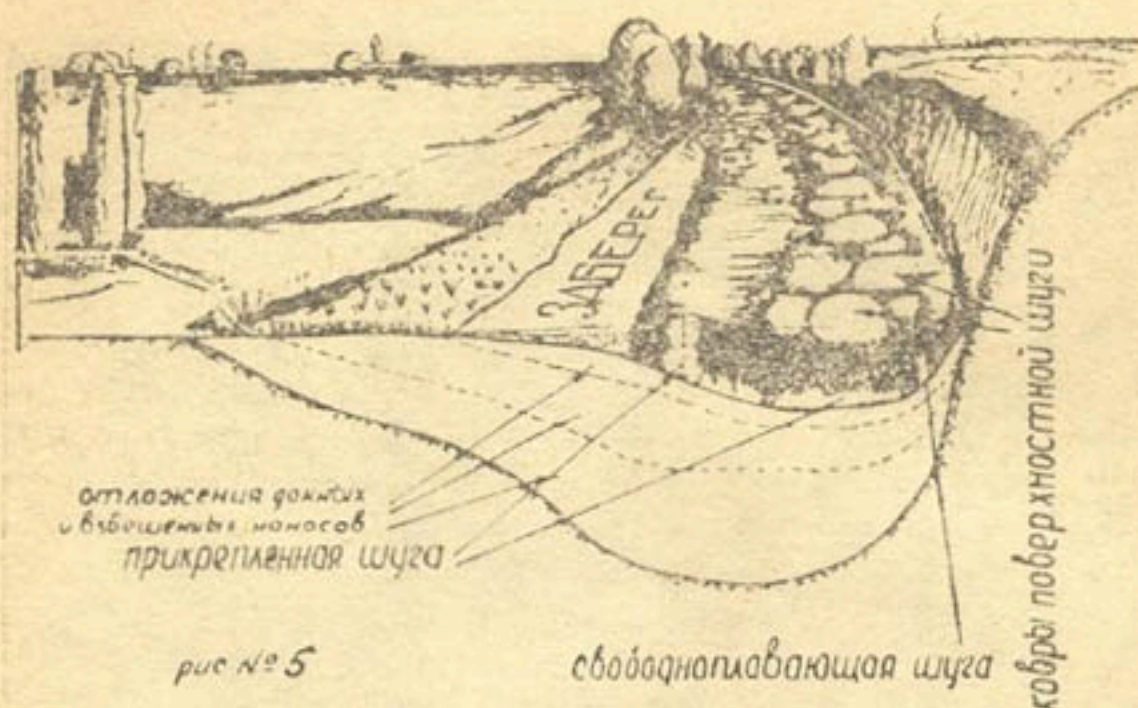


Рис. 5. Распределение шуги в потоке.

Предлагаемая классификация видов шуги сделана в соответствии с наблюдаемыми явлениями, происходящими и в результате льдообразовательных процессов в условиях рассматриваемого участка.

В основу нашей классификации положено образование по всему сечению потока кристаллов внутриводной — свободно плавающей шуги и виды ее скоплений — прикрепленная и поверхностная шуга.

§ 2. Мероприятия по борьбе с шугой, применявшиеся в 1935-36 г.

Основное мероприятие по борьбе с шугой на Боз-су ГЭС к зиме 1935-36 г., намеченное к выполнению в дополнение к существующим ранее, состояло в установке лотка инж. Гостунского в напорном бассейне.

Основные данные лотка

Лоток железобетонный, цилиндрической формы, с горизонтальной осью вращения. Вращается вокруг оси цилиндра подъемниками на низовой край лотка. Слева лоток ограничен торцевой стенкой, а справа примыкает к прорубленному в стенке бассейна отверстию, через которое вода с шугой из лотка сбрасывается в перепад (см. рис. 7).

Полная глубина лотка 1,65 м. Глубина воды у входа и в напорном бассейне 3,30 м, глубина воды под лотком 1,40 м, а скорость $v = 1,80$ м/сек.

¹ Термин „донная шуга“ принадлежит эксплуатационным работникам Боз-су ГЭС. Под этим термином они понимают всплывшую прикрепленную шугу, содержащую в себе песок и ил.

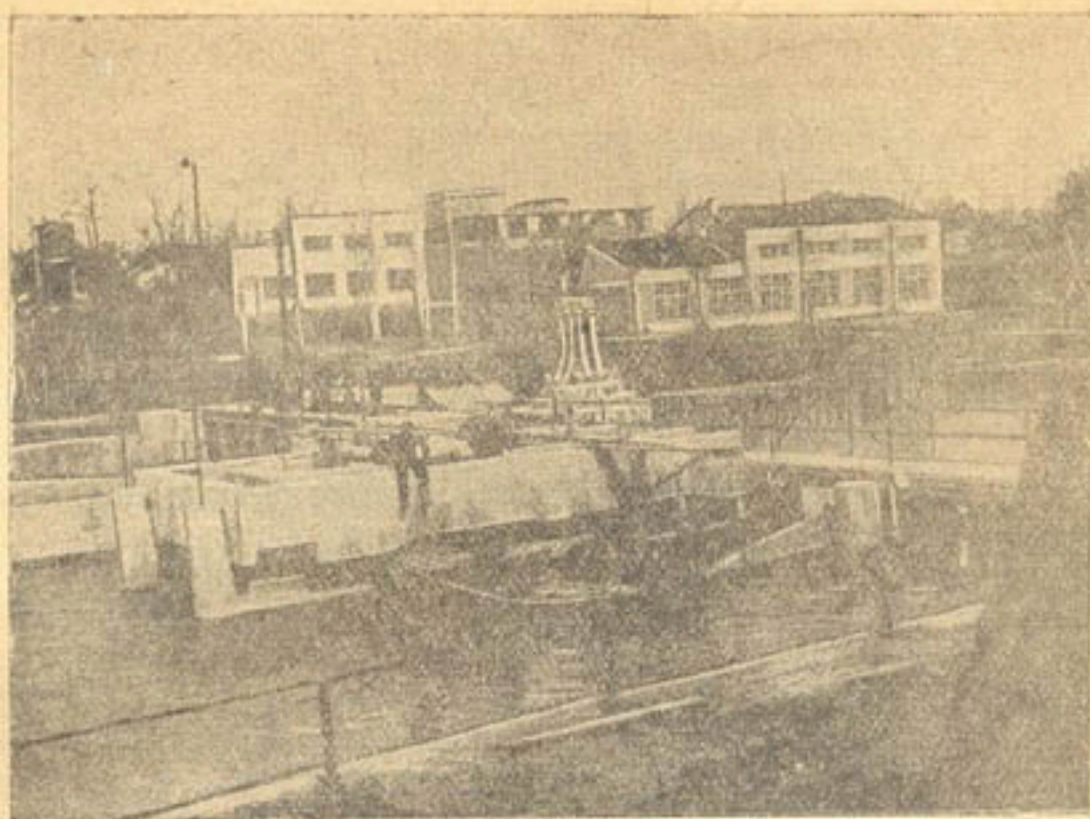


Рис. 6. Общий вид лотка

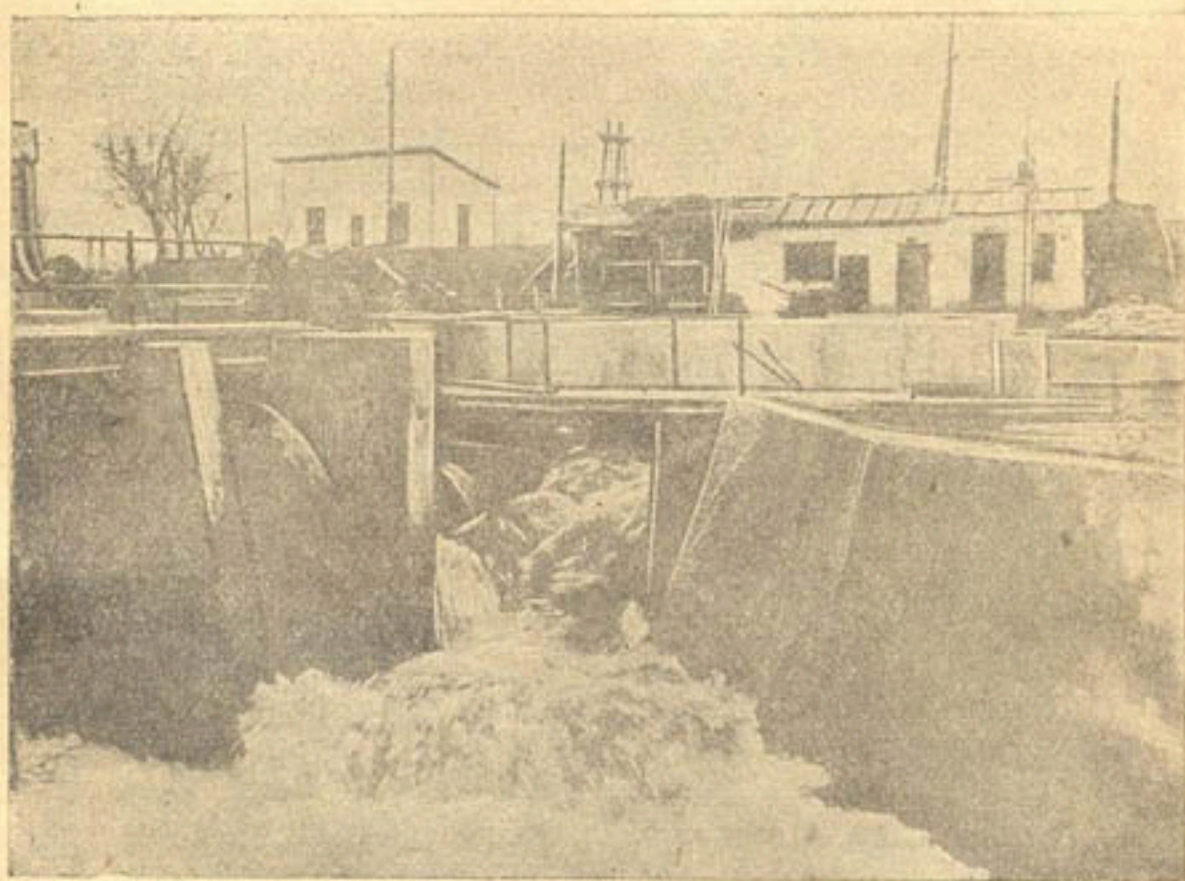


Рис. 7. Выход из лотка в перепад

При обмере в натуре получены следующие размеры:

	Существ.	Проект.
Полная длина	11,13	11,20
Радиус цилиндра	2,30	2,25
Ширина пролетов в свету 1 ств .	3,31	3,40
2 . . .	3,28	3,40
3 . . .	3,28	3,40
Полная ширина в свету	9,88	10,20
Ширина опорной балки 1	0,62	0,50
11	0,63	0,50

Толщина лотка вместо проектной 0,25 м выполнена в 0,20 м. Уменьшение произведено за счет увеличения радиуса, образующего внутреннюю поверхность лотка.

Кроме того, по проекту отметка гребня порога закрытого лотка должна соответствовать отметке нормального горизонта воды (нерабочее положение) с тем, чтобы доступ воды в закрытый лоток прекращался.

В натуре¹ при практически возможном закрытии лотка средняя отметка гребня порога соответствует открытию на 0,22 м.

Дальнейшее понижение гребня порога лотка осуществимо на 0,48 м, что в общей сложности дает открытие на 0,70 м.

Пропускную способность лотка см. на кривой зависимости $Q=f(H)$ (рис. 8).

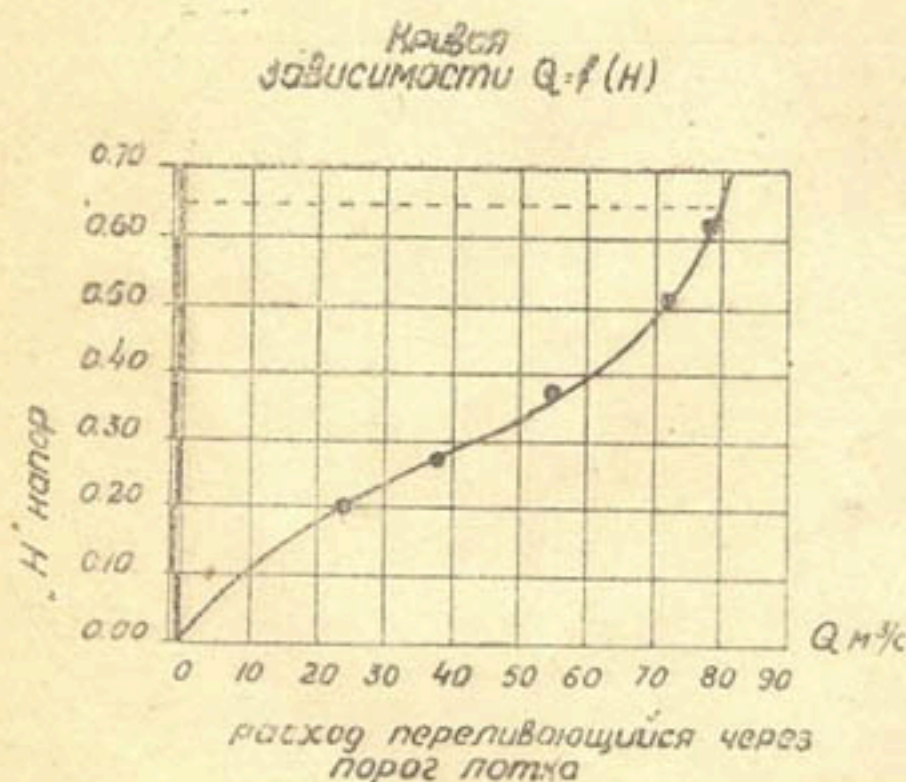


Рис. 8. Работа лотка в период шугохода.

ство шуги, попадающей под лоток, зависит от открытия при данном горизонте.

При повышении температуры воздуха и продолжающейся после этого оттепели начинается массовое движение оторвавшихся заберегов.

¹ Существующее выходное отверстие сделано уже, чем по проекту. Произшло это вследствие несозидания отверстий в подпорной стенке и в выходном лотке.

Вследствие расположения шугосбросного лотка сразу за бычками грубых решеток и малой глубины под ним наблюдается образование вихрей и воронок, величина которых зависит от открытия лотка. Так как при малых открытиях размеры воронок возрастают, d их доходит до 5-6 см.

Поверхностная шуга, поступающая по оси пролетов, попадает целиком в лоток, а идущая по бокам — засасывается, при чем количе-

Куски льда, свободно проходящие между бычками, плавно соскальзывали в лоток, дробясь при прохождении через гребень порога. При малейшей задержке перед бычками немедленно происходило погружение задней части льдины и она перегораживала вход под лоток.

Наблюдениями установлено, что лоток наиболее успешно сбрасывает шугу при открытии на 0,40 м при существующем горизонте.

В период шугохода при нормальных горизонтах лоток обычно устанавливается на указанное открытие. Раздельная глубина перед средним пролетом равна 0,60 м.

Толщина ковров поверхностной шуги в период исследований 1936 года не превышала 0,50—0,60 м, при чем опускавшаяся на 0,5 м шуголовка сразу наполнялась шугой, при опускании на 0,60 м попадали отдельные группы пластинок.

В ночное время до появления оформившихся ковров поверхностной шуги, но при наличии кристаллов в потоке, наблюдалось налипание пластинок шуги по всей внутренней поверхности шуголовки.

После установки лотка на дно перед ним было оставлено много строительного мусора, как то: обрывки троса, провозоки, целые звенья снятых решеток, что являлось очагом накоплений прикрепленной шуги, стеснявшей сечение перед лотком на $\frac{2}{3}$.

Кроме того, на бычках перед напорным бассейном также налипала шуга пластинчатого строения.

Наибольшее накопление наблюдалось с лобовой стороны.

В период льдообразования в потоке (ночное время) перед лотком происходило описанное выше накопление (днем оно не наблюдалось) прикрепленной шуги, создавая перед ним пережат. Наличие пережата значительно увеличивало попадание под лоток поверхностной и всплывшей, двигающейся на поверхности прикрепленной шуги.

С восходом солнца начиналось массовое всплывание накоплений до тех пор, пока движение перед лотком не выравнивалось, комья шуги попадали под него и затем вылавливались у частых решеток.

При сильном шугоходе возможно образование перед лотком затора, при этом поверхностная шуга целиком проходит под лоток.

Так, по данным ГЭС 1/1-36 г. при ходе шуги в 90% перед лотком образовался затор, вследствие чего значительная часть шуги пошла под лоток, но машины работали нормально. Очевидно, в этот период t° воды была выше 0° .

С восстановлением условий подхода оставшаяся шуга выныривала даже непосредственно перед лотком и целиком сбрасывалась в него.

Прощупывание подводной части лотка показало, что бетон за ночь при температуре воздуха до -14° покрывается прикрепленной шугой на 25—30 см, при чем до 10 см слой, прилегающий непосредственно к бетону, состоит из плотной мелкопластинчатой массы шуги. Остальной слой в 15—20 см состоит из рыхлой пластинчатой массы.

С восходом солнца накопления ниже горизонта воды быстро отстают и выныривают на поверхность.

Днем при температуре воздуха ниже 0° в напорном бассейне на уровне горизонта воды сохраняются только кромки, состоящие из плотнопластинчатой массы.

§ 3. Эксплоатация гидростанции при проходе шуги

а) Работа турбин

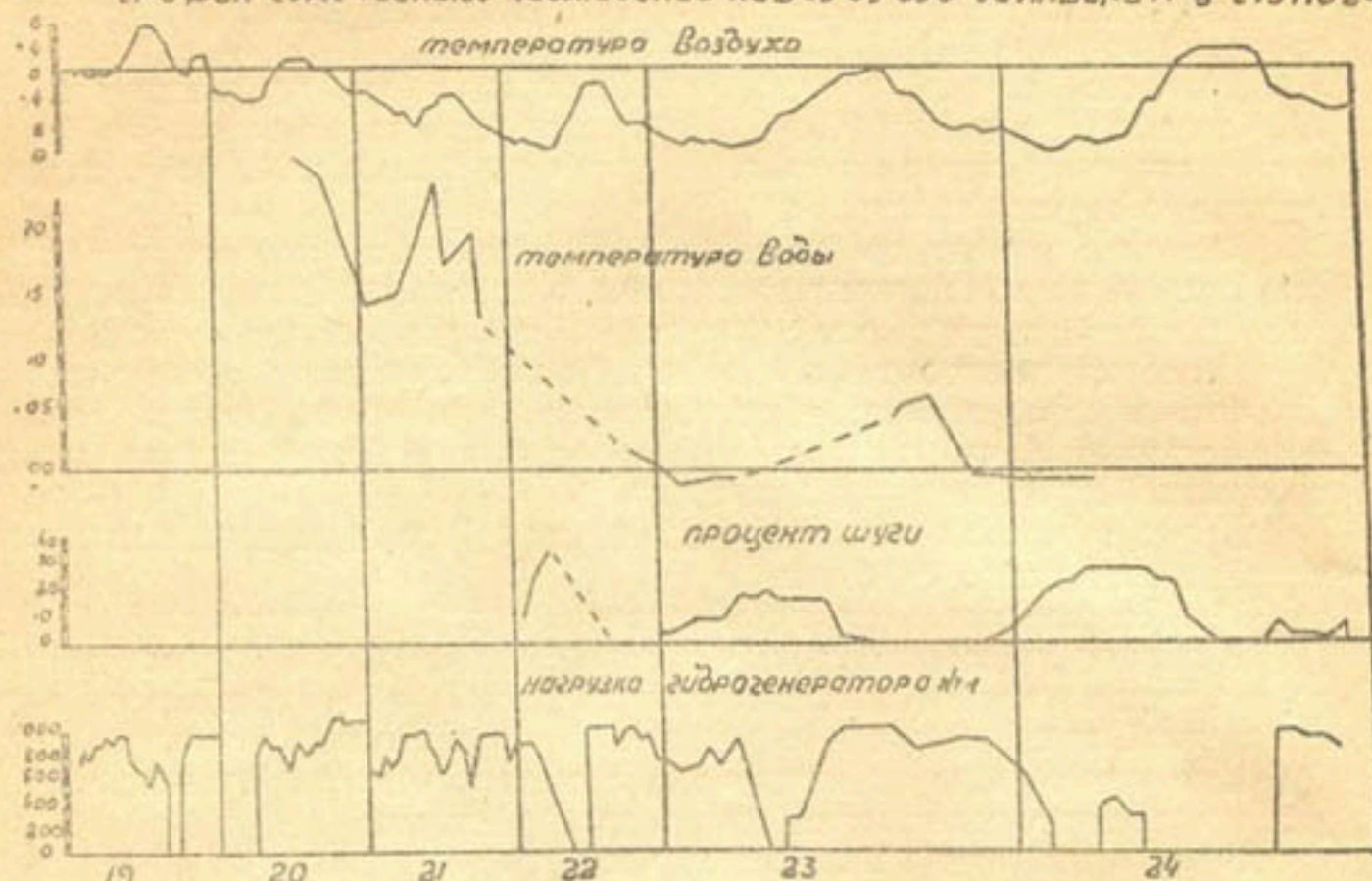
Приводимая ниже таблица характеризует работу ГЭС зимой (1935-36 г.).

Из рассмотрения ее видно, что зимой 1935-36 г. остановка¹ станции (из-за шуги) происходила по двум местным причинам;

1. Обмерзания направляющего аппарата и забивки шугой кожуха и трубопровода (16 случаев).

2. Забивки решеток шугой (это затруднение было кратковременно и повторялось 5 раз).

График ежечасных наблюдений на БЭС за январь м. с 19 по 24 1936



Условия, при которых происходили остановки станции, даны на рис. 9. Рассмотрение его показывает, что в период уменьшения мощности при полной остановке одного из агрегатов t° воды была 0° или ниже нуля (отрицательная t° воды доходила до $-0,0916^{\circ}$) и количество шуги в потоке от 5 до 30%. При температуре воды выше 0° (хотя бы на $+0,05^{\circ}$) и наличии в потоке шуги от 15 до 40% станция не останавливалась.

Учитывая сказанное в §§ 1, 2, а также приведенные выше данные, можно с некоторым приближением установить причины, которые влияют на остановку станции, их две:

Первая и основная — переохлажденная вода, проходя через турбины, охлаждает последние, кроме того, в переохлажденной воде содержатся кристаллы льда, которые прилипают к металлическим частям, на подобие железных опилок к магниту, постепенно они намерзают, стесняя отверстия рабочего аппарата.

Вторая — шуга, частично поднырнувшая под лоток и образовавшаяся непосредственно в самом напорном бассейне, проходя через турбины, ускоряет забивку последних.

б) Работа решеток

В отношении частых решеток необходимо отметить следующее:

1. Отсутствие обмерзания при условии, если включен электрообогрев.

¹ Кроме того, станция работала с пониженной мощностью из-за нехватки воды по причине затора в сбросном русле Юмалак-тепе.

№№ п.п.	Дата	Причина остановки	№№ гидрогенераторов					
			1		2		3	
			Оста-новка	Пуск	Оста-новка	Пуск	Оста-новка	Пуск
		Остановка из-за шуги						
1	1/XII	Забилло решетку	—	—	—	—	24	—
2	10/XII	" "	—	—	23,45	—	—	—
3	11/XII	" "	—	—	—	0,05	—	—
4	11/XII	Забилло направляющ. аппарат	0,55	—	5,50	—	4,45	6,10
5	11/XII	Турбина забита шугой . . .	—	—	—	—	10,30	12,30
6	12/XII	" " "	3,48	9,45	2,35	7,42	10,30	14,25
7	12/XII	Забилло решетки	19,25	—	—	—	19,48	20,05
8	12/XII	" направляющ. аппарат	—	—	—	—	23	—
9	13/XII	" " "	—	—	0	—	—	—
10	13/XII	Турбину забилло шугой . . .	—	—	21	—	—	—
11	15/XII	Забилло решетки	—	—	—	—	9,10	16,30
12	25/XII	" "	—	—	1,40	2,20	—	—
13	1/I	Забилло направляющ. аппарат	5	6,32	—	—	1,10	6,40
14	7/I	Забилло решетки	3,45	4,0	2,35	2,58	3	4,55
15	22/I	Забилло направляющ. аппарат	9,50	12,25	9,48	12,29	8,30	9,45
16	23/I	" " "	6,15	8,20	4,25	6,0	2,23	4
17	23/I	" " "	—	—	9	10,30	6,15	8,38
18	24/I	" " "	4,50	6,25	3,55	8,40	—	—
19	24/I	" " "	—	—	4,50	6,40	—	—
20	24/I	" " "	—	—	6,45	8,35	—	—
21	25/I	" " "	6,33	8,50	4,38	7	4,15	—
22	25/I	" " "	—	—	11,30	1,35	—	—

2. Механическая забивка имеет место, однако артель рабочих в количестве 4 человек справляется с их очисткой, вынимая часть шуги на поверхность, а часть проталкивая через решетки. Закупорка решеток наблюдалась полная только в момент отсутствия электрообогрева (не был включен по тем или иным причинам).

IV

Выводы

I. Полевые наблюдения

1. Заилнение водоема ГЭС и изменчивость температуры являются главными факторами, обуславливающими ход ледовых процессов, чему содействует отсутствие ледяного покрова и сплошное шугообразование в периоды резких понижений температур на исследуемом участке Боз-су.

2. Неправильное подводящее русло ГЭС, наличие отмелей, водоворотов, излучин, растительности и т. д. — все это способствует значительному образованию шуги. Так, например, в правильном инженерном канале Кадырьи ГЭС при $F = 45 \text{ м}^2$, $v_{\text{ср.}} = 1 \text{ м/сек}$ и длине $L = 5000 \text{ м}$ шуги образуется в 3—4 раза меньше, чем в подводящем русле Боз-су, длина которого 5800 м, $F = 40 \text{ м}^2$ и $v_{\text{ср.}} = 0,70 \text{ м/сек}$.

3. В период шугообразования внутриводного льда t° воздуха спускается до $8—10^\circ \text{ С}$ (непрерывное снижение), и вода может охладиться до $-0,1^\circ$.

4. Частые смены тепла и холода затрудняют работу ГЭС.

5. На участке от головы Салара до ГЭС наблюдаются следующие виды шуги:

а) свободно плавающая (кристаллы льда, которые образуются только в переохлажденной воде),

б) поверхностная (ковры шуги),

в) прикрепленная или так называемая „донный лед“.

6. Поверхностная шуга, в условиях Боз-су ГЭС, при $v > 0,50$ и $v < 1,20 \text{ м/сек}$, $h > 2 \text{ м}$, грунт — песок, идет слоем до 0,60 м.

7. Затопы на участке от головы Салара до Боз-су ГЭС возможны при неисправном отбое шуги в голове Салара.

8. Остановка Боз-су ГЭС из-за шуги в зиму 1935-36 г. происходила по двум причинам:

1-я — основная, обмерзание направляющего аппарата свободно плавающей шугой;

2-я — второстепенная, подныривание поверхностной и прикрепленной шуги под лоток.

9. Цилиндрическая форма лотка, установка его за бычками, значительное сжатие под лотком, а также частичное обмерзание его и особенно обмерзание строительного мусора перед лотком, все это способствовало подныриванию шуги под него.

10. Установку шугосбросных устройств за бычками вообще следует считать нежелательной.

11. В условиях небольших глубин до 3—4,0 м следует применять плоский лоток. Указанный лоток минимально сжимает поток¹.

12. При глубинах $> 4—5 \text{ м}$ возможно применять любые лотки, работающие на принципе Эльсдена.

13. Звено частой решетки против третьей турбины следует изменить. Для этого необходимо уменьшить расстояние в свету между полосами на 11 мм, т. е. сделать их в 33 мм против 44 мм, существующих в настоящий момент.

Это мероприятие предлагается в качестве опыта.

14. К зиме 1936-37 г. необходимо проделать следующее:

1. Убрать строительный мусор и произвести очистку перед лотком.

2. Поднять переднюю кромку лотка на 0,22 м.

3. Уничтожить боковую фильтрацию в лоток.

II. Мероприятия по борьбе с зимними затруднениями на Боз-су ГЭС

Вопросы борьбы с шугой за 10 лет эксплуатации Боз-су ГЭС во многих частях остались неразрешенными. Недоучтены факторы зимнего режима, без которых немисливо наметить те или иные мероприятия, а также правильно понять явления, происходящие в условиях Боз-су ГЭС.

¹ Данная конструкция предложена А. П. Ушаковым при модельных испытаниях Ю. Тепе, в июле 1935 г. См. подготавливаемую к печати работу А. П. Ушакова.

Мы считаем, что только тщательное исследование ледовых явлений приведет к установлению успешных способов борьбы с шугой. Накапливая опыт и подвергая его анализу, можно получить хорошие результаты.

Наши исследования установили:

1. Современные турбины типа Кадырчи ГЭС с относительно большим напором и габаритом направляющего и рабочего аппарата в зимних условиях работают нормально, при правильном решении и способе борьбы с шугой.

2. На Боз-су ГЭС, которая является низконапорной станцией с малым габаритом турбин, наиболее уязвимым местом является направляющий аппарат, который обмерзает и забивается шугой. В подобных условиях находятся все низконапорные и маломощные гидростанции¹.

Так, по сообщению Барнеса, „ледяной налет“ на турбинных колесах может достигнуть такой величины, что подача воды сократится и производительность станции сильно снизится.

При такого рода затруднениях американцы применяют у себя электрообогрев турбин.

В результате произведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Дальнейшие улучшения работы шугосбросного приспособления, перечисленные в п. 14, не внесут решающих изменений в шуговой режим станции.

2. Не касаясь вопроса о развитии мероприятий по борьбе с шугой на самой станции, как то: обогрев турбин, механизация очистки их от шуги и пр., укажем, что наиболее радикальные мероприятия могут быть осуществлены только на участке от головы Салара до Боз-су ГЭС, при чем предполагается, что голова Салара надлежаще устроена².

3. Мероприятия в русле должны заключаться в переустройстве русла таким образом, чтобы обеспечить образование ледяного покрова на всем тракте от Салара до Боз-су.

4. Создание ледяного покрова может быть осуществлено двумя способами:

а) переустройством тракта таким образом, чтобы получить режим скоростей, при котором происходит естественный ледостав, при чем недостаточные для продвижения наносов скорости могут компенсироваться работой на сниженных горизонтах для промыва наносов в периоды малых нагрузок станции;

б) устройством матов, гирлянд и прочих приспособлений, способствующих образованию ледяного покрова при скоростных условиях, исключающих естественный ледостав.

Регулировочные работы по выправлению русла и в этом случае будут желательны, хотя и в уменьшенном объеме.

5. Эти мероприятия для суждения о их преимуществах, технической осуществимости и стоимости потребуют специальной проработки, без которой оценка и выбор их невозможны.

6. На период времени, пока станция будет находиться в настоящих условиях, целесообразно проработать способ очистки от шуги направляющих аппарата и турбин, например, теплой водой под давлением³.

¹ По данным заграничной практики.

² Имеется проект переустройства протившуговых устройств в голове Салара, составленный в Санири в 1935 г. См. журнал Ирригация и гидротехника № 2.

³ Предложение директора Боз-су ГЭС инженера Чупракова.

О переводе данных об'емного способа учета взвешенных наносов в весовой

(Для рр. Сыр-дарьи и Аму-дарьи)

1. Недостатки об'емного способа учета взвешенных наносов

Учет стока взвешенных наносов в реках и каналах Средней Азии обычно производится суммарным способом. Лишь в последние 2-3 года суммарный способ во многих случаях начинает заменяться ежедневным (преимущественно при исследованиях для гидроэнергетических целей). Как известно, суммарный способ учета взвешенных наносов заключается в том, что ежедневно в одной точке (иногда в 3) берутся пробы воды и за установленный период времени (декаду, пентаду или месяц) сливаются в одну большую бутылку. Чаще всего суммирование проб производится подекадно. После 10—20-дневного отстаивания из большой бутылки при помощи сифона сливается отстоявшаяся вода, а наносы вместе с небольшим количеством воды или сливаются в мензурку для дальнейшего отстаивания и уплотнения, или же подвергаются фильтрованию (или выпариванию) без дополнительного отстаивания и уплотнения. В первом случае после 30-дневного отстаивания определяется об'ем уплотненного осадка и вычисляется об'емная относительная мутность, обычно выражаемая в процентах от об'ема воды. Во втором случае количество осадка определяется по весу и относительная мутность получается в весовых единицах на единицу об'ема воды. Как известно, первый способ учета взвешенных наносов называется об'емным, второй весовым. С первых лет наблюдений за наносами учет взвешенных наносов на реках и каналах Средней Азии производился по преимуществу об'емным способом. Лишь с 1928 г. об'емный учет начинает вытесняться весовым и с 1931-32 г. при исследованиях, как правило, применяется весовой способ.

С точки зрения удовлетворения запросов водного строительства учет стока взвешенных наносов об'емным способом предпочтительнее перед весовым, так как при решении таких вопросов, как расчет срока заиления водохранилищ, заиление каналов, работа отстойников и пр., в первую очередь необходимо знать об'ем отложившихся наносов. Тем не менее переход от об'емного способа учета взвешенных наносов к весовому следует признать вполне целесообразным. Этот переход вызван следующими причинами:

1. Определение веса сухих наносов может быть произведено с весьма большой точностью (до тысячных и десятитысячных грамма). Определение же об'ема отложившихся в мензурке наносов в лучшем случае может быть произведено с точностью до 0,5 см³, обычно же производится с точностью до 1 см³. При таких условиях относительная

ошибка определения объема наносов в мензурке обычно составляет не менее 5—10%, сгущается до 2-3% при большой мутности потока и при достаточно большом объеме пробы воды и повышается до 100% и более при малой мутности или очень малом объеме пробы воды.

2. Плотность осадка в мензурке подвержена весьма большим изменениям, при чем нередко плотность эта разнится на 500—1000%. Факторами, влияющими на степень уплотнения наносов в мензурке, являются: механический состав взвешенных наносов, срок уплотнения их в мензурке, форма и диаметр мензурки и пр.

Чем более содержание мелких фракций в наносах, чем менее срок отстаивания их и диаметр мензурки, тем уплотнение будет меньше. Таким образом, количество наносов, срок и условия отстаивания их сильнейшим образом могут влиять на получаемую величину относительной мутности и стока наносов. Получаемые результаты о мутности не только разных рек, но одной и той же реки за различные периоды, получаются несравнимыми.

3. В естественных условиях плотность отложившихся наносов будет иная, чем плотность наносов, отложившихся в мензурке. Плотность наносов в мензурке, вследствие сцепления их со стенками мензурки, а также вследствие отсутствия течения, даже при значительном сроке отстаивания будет значительно меньше, чем плотность тех же наносов, отложившихся в естественных условиях, при чем различие будет тем больше, чем мельче наносы. Поэтому без особых поправочных коэффициентов нельзя объем наносов, полученный на основании уплотнения в мензурке, переносить на натуру, и при решении таких практических задач, как срок заиления водохранилища, определение объемного веса наносов в естественных условиях на основании литературных данных или специальных исследований при объемном способе учета столь же необходимо, как и при весовом.

Изложенные три основные причины показывают полную целесообразность перехода от объемного способа учета к весовому, так как при учете весовым способом сток взвешенных наносов получается значительно более точным, чем при учете объемным. Вместе с тем для решения ряда практических вопросов как при одном способе учета, так и при другом остается в силе необходимость определения объемного веса взвешенных наносов, отложившихся в естественных условиях, что может быть выполнено лишь путем постановки специальных исследований для рек с различным механическим составом взвешенных наносов. В связи с переходом от объемного способа учета при решении многих практических задач возникает новый вопрос—это приведение имеющихся данных объемного и весового учета за различные годы к удобосравнимому виду. Другими словами, возникает необходимость перевода данных объемного учета взвешенных наносов в весовой.

2. Данные об объемном весе некоторых рек европейской части СССР

В последние 2-3 года в литературе¹ появились данные об объемном весе взвешенных наносов, отложившихся в мензурке. Автор этих трудов, инж. Б. В. Поляков, в результате анализа данных объемного веса

¹ Б. В. Поляков. Исследование стока взвешенных и донных наносов, Ленинград, 1935 г.

Б. В. Поляков. Заиление водохранилищ Заволжья. Нижневолгопроект. В. В. М.-Л. 1935.

Объемный вес взвешенных наносов рек европейской части СССР

(составлена по данным инж. Б. В. Полякова)

Таблица 1

№ п-п	Река	Пункт наблюдения	Месяц и год наблюдения	Число наблюд.	Продолж. от- стояния в км	Об'ем в см³ плот- ного осадка в мок- ром состоянии			Об'емный вес в гр/см³ плотного осадка в сухом со- стоянии			Примечание
						от	до	средн.	от	до	средн.	
1	Днепр	С. Разумовка	III-1928	10	—	0,25	0,70	0,4	0,041	0,118	0,07	У поверхности
2	"	"	III-1928	10	—	0,3	1,2	0,5	0,031	0,475	0,12	У дна
3	Ухтома	Д. Вятково	VIII. IX-1930	2	13	0,27	0,27	0,27	0,047	0,060	0,05	
4	Инежев	Д. Пестрецы	VIII. IX-1930	2	13	0,28	0,35	0,31	0,090	0,300	0,20	
5	Колбаса	С. Клевцово	X-1930	2	13	0,25	0,125	0,19	0,036	0,170	0,10	
6	Увель	С. Клевцово	VIII, IX, X-1930	3	10	0,106	0,200	0,14	0,044	0,114	0,07	
7	Кубань	Петрушинский рукав			20						0,46	на 0,2 Н от поверхности
8	"	Петруш. рукав			20						0,62	на 0,8 Н от поверхности
9	Веглянка	Кулецов	IV-1934	9	28	13,2	19,5	14,9	0,218	0,406	0,32	Реки за № 3—6 принад- лежат к бассейну р. Уводь
10	М. Кинель	Полудни	IV-V-1934	21	28	0,05	12,5	5,4	0,087	0,688	0,26	а реки за № 9—18 нахо- дятся в Заволжье
11	"	Троицкое	IV-1934	12	28	2,50	6,5	4,0	0,163	0,382	0,28	
12	Б. Кинель	Бугуруслан	IV, V-1934	34	28	0,20	10,8	4,1	0,037	0,700	0,29	
13	"	Тиманово	III, IV, V-1934	21	28	0,10	43,0	10,3	0,050	1,181	0,32	
14	Самарка	Елшанка	IV-1934	4	28	12,0	13,5	12,7	0,226	0,348	0,29	
15	"	Первомайск	IV-1934	9	28	1,2	16,2	10,5	0,149	0,478	0,35	
16	Б. Иргиз	Б. Глушица	IV-1934	14	28	6,0	13,5	8,6	0,230	0,444	0,35	
17	Таловженка	Н. Алексеев	IV-1934	9	28	19,0	36,0	26,3	0,330	0,490	0,42	
18	Домашка	Летн. гора	IV-1934	9	28	8,8	20,0	14,5	0,262	0,369	0,32	

Таблица 2

Объемно-весовой способ учета взвешенных наносов рр. Сыр-дарья и Аму-дарья

№ п. п.	Река	Станция	Время наблюд.		Число наблюд.	Продол. от ст. в мезурке в дн.	Объем в см ³ плотного осадка в мокром состоянии			Объем. вес в гр/см ³ плотн. осадка в сух. сост.		Удельный вес наносов		Объем пустот порозности в мокром состоянии в %		
			Год	Месяц			от	до	среднее	от	до	от	до	от	до	среднее
1	Сыр-дарья	Запорожская	1927-28 1928-29 1929-30	XII-VI I-III X-VI	79	30	0,5	46,5	7,8	0,04	2,22	1,88	2,92	49	92	75
2	Сыр-дарья	Кокбулакская	1929-30	XII-IX	30	30	1,0	33,0	12,6	0,43	1,78	2,22	2,99	26	83	73
3	Сыр-дарья	Чардарьинская	1927-28	XII-V	6	30	1,5	63,5	20,3	0,64	0,83	2,12	2,50	67	74	70
4	Сыр-дарья	Тюменьарь-ская	1928-29 1929-30	IV-IX	53	30	0,5	23,5	10,5	0,31	1,94	2,17	2,81	20	88	72
5	Сыр-дарья	Казалинская	1928-29 1929-30	I-II X-IV	27	30	0,5	20,0	4,5	0,08	0,92	1,62	2,47	53	96	72
6	Аму-дарья	Керкинская	1927-28 1928-29 1929-30 1933-34	VIII-IX X-IX X-IX X-IX	49	30	7,5	115,0	42,9	0,45	1,18	1,87	2,56	49	80	70
7	Аму-дарья	Джумур-тау	1931-32	V-XII	22	30	11,0	44,0	24,6	0,43	0,87	2,50	3,18	67	85	75

Таблица 3

Объемный вес взвешенных наносов рр. Сыр-дарыи и Аму-дарыи

№ п/п	Река	Станция	Год наб- людения	Объемный вес взвешенных наносов гр/см³												Неверг. пер.	Ветраст. пер.	Год
				X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX			
1	Сыр-дарья	Запорожская	1927-28— 1929-30	0,53	0,83	0,65	0,65	0,50	0,50	0,57	0,63	0,68	—	—	—	0,61	0,63	0,62
2	"	Кокбулакская	1929-30	—	—	0,57	0,70	0,90	0,80	0,60	0,66	0,75	0,73	0,67	0,64	0,74	0,68	0,71
3	"	Чардарьинская	1927-28	—	—	0,83	0,66	0,65	0,71	0,66	0,64	—	—	—	—	0,71	0,65	0,68
4	"	Тюменьарыкская	1929-30	0,90	—	0,75	0,93	0,60	0,87	0,65	0,46	0,67	0,52	0,58	0,58	0,81	0,59	0,70
5	"	Казаинская	1928-29— 1929-30	0,73	0,68	0,51	0,48	0,33	0,51	0,65	—	—	—	—	—	0,55	—	—
				Среднее												0,68 0,64 0,66		
6	Аму-дарья	Керинская	1927-28— 1932-33	0,64	0,61	0,87	0,80	0,82	0,64	0,62	0,65	0,82	0,68	0,70	0,68	0,73	0,69	0,71
"	"	Джумуртау	1932-33	0,58	0,49	0,63	—	—	—	—	0,80	0,74	0,80	0,78	0,78	0,57	0,78	0,68
				Среднее												0,65 0,74 0,70		

взвешенных наносов мелких рек Заволжья, Днепра, Уводи (приток Клязьмы) и Кубани приходит к следующим выводам:

1. Объем пустот в взвешенных наносах, отложившихся под водою, очень велик и значительно превосходит объем сыпучих тел такого же механического состава, отложившихся на воздухе.

2. Чем мельче наносы, тем объем пустот больше.

3. Наносы придонных слоев, как более крупные, имеют меньший процент пустот.

Эти выводы инж. Поляков наглядно подтверждает обильным фактическим материалом, полученным на некоторых реках. В концентрированном виде средние и предельные величины объемного веса по большинству рек, приводимых в трудах Полякова, помещены в таблице 1.

Данные таблицы 1 показывают, во-первых, чрезвычайно сильную изменчивость объемного веса наносов даже одной и той же реки и, во-вторых, чрезвычайно низкий объемный вес при малом количестве наносов, что объясняется не только ничтожным уплотнением, но и неточностью определения объема наносов в мензурке.

3. Данные по рр. Сыр-дарье и Аму-дарье

По рр. Сыр-дарье и Аму-дарье в настоящее время имеется достаточное количество данных для суждения об объемном весе взвешенных наносов, отложившихся в лабораторных условиях (мензурка), так как после того, как выяснилась целесообразность перехода к весовому способу, в течение 1—2 лет учет наносов производился одновременно обоими способами. Это обстоятельство позволяет установить объемный вес наносов для перевода данных объемного способа в весовой.

В нашем распоряжении имеются данные 266 наблюдений (опытов) по пяти станциям р. Сыр-дарьи (ст. Запорожская, Кокбулакская, Тюменьарыкская, Чардаринская и Казалинская) и двум станциям р. Аму-дарьи (ст. Керкинская и Джумур-тау). Рамки журнальной статьи не позволяют привести подробные результативные данные для каждого наблюдения. Поэтому мы ограничимся приведением лишь предельных и средних величин об объемном весе плотного осадка в сухом состоянии и объеме пустот его (порозности) в мокром состоянии.

Считаем не лишним привести также предельные и средние значения полного объема наносов, отложившихся в мензурке, а также данные об удельном весе наносов (табл. 2).

В виде средних величин по отдельным месяцам и периодам данные об объемном весе взвешенных наносов сведены в таблицу 3 и в графическом виде представлены на рис. 1 (см. табл. 2 и 3).

Из данных графика можно сделать следующие заключения:

1. Объемный вес взвешенных наносов колеблется в очень широких пределах — от 0,04 до 2,22 гр/см³. Но столь малые и большие значения объемного веса встречаются лишь при очень малом объеме осадков в мензурке, вследствие чего относительная ошибка определения объема может быть велика. При достаточно большом объеме наносов в мензурке объемный вес изменяется в более узких пределах — от 0,30 до 0,90 гр/см³.

2. Не наблюдается никакой закономерности в изменении объемного веса по времени года. Замечается лишь меньшая амплитуда колебаний объемного веса в вегетационный период, что следует объяснить большей мутностью рек и большим объемом наносов в мензурке. По всем рекам, за исключением р. Сыр-дарьи у ст. Тюменьарыкской, на-

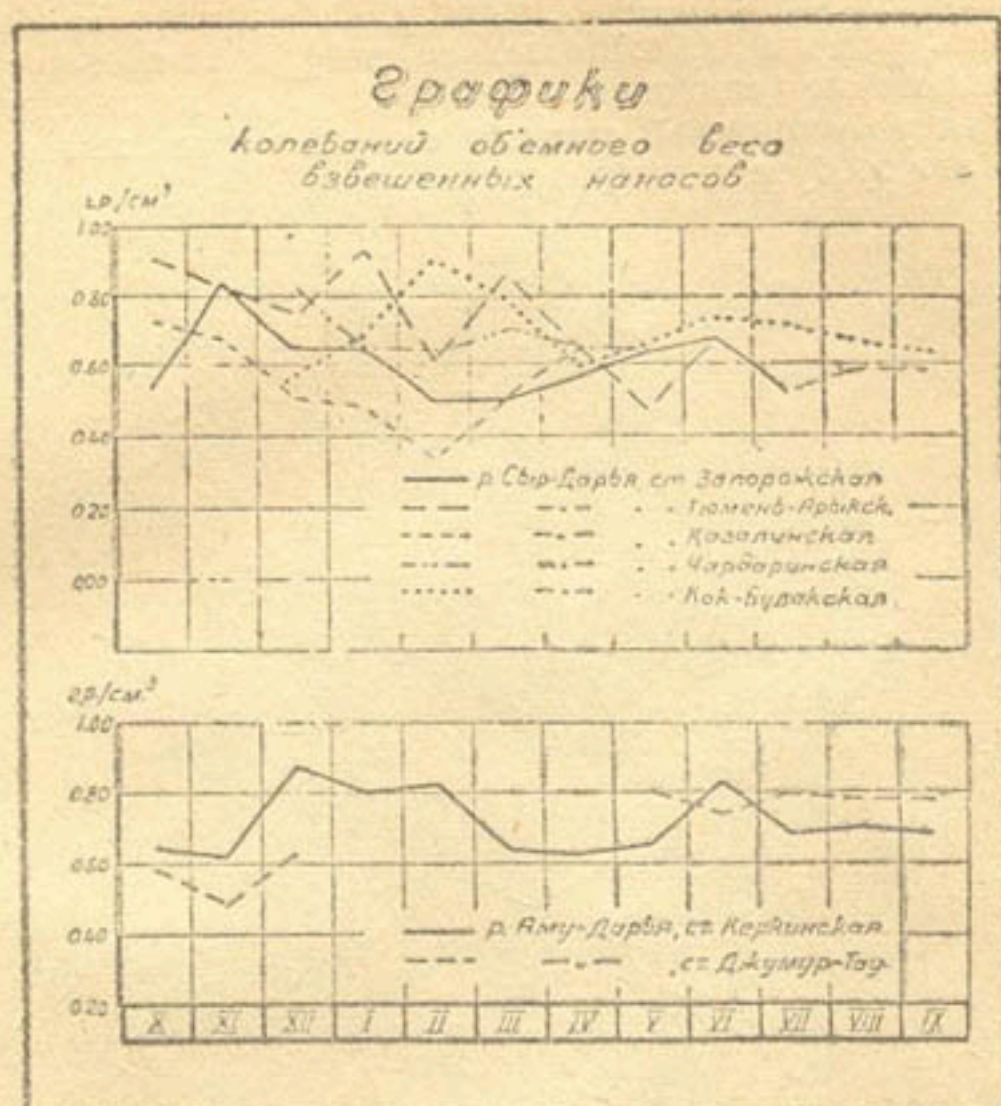
Таблица 4

Удельные веса взвешенных наносов рр. Сыр-дарьи и Аму-дарьи

№ пп.	Река	Станция	Год наблюдений	Средний удельный вес взвешенных наносов												Невзвешен. пер.	Взвешен. пер.	Год
				X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX			
1	Сыр-дарья	Запорожская	1928—30	2,54	2,06	2,27	2,47	2,25	2,34	2,35	2,42	2,42	—	—	—	2,42	2,40	2,41
2	"	Кокбулакская	1929—30	—	—	2,44	2,71	2,30	2,44	2,42	2,52	2,65	2,63	2,56	2,63	2,47	2,58	2,52
3	"	Тюменьская	1929—31	2,53	2,48	2,42	2,63	2,50	2,64	2,61	2,60	2,60	2,59	2,48	2,40	2,53	2,55	2,54
4	"	Чардаринская	1928	—	—	2,50	2,21	2,12	2,28	2,37	2,45	—	—	—	—	2,28	2,41	2,34
5	"	Казалинская	1929-30	1,81	1,84	1,68	1,78	1,84	1,75	1,87	—	—	—	—	—	1,84	—	—
6	Аму-дарья	Керкинская		2,3	2,38	2,40	2,37	2,56	2,18	2,25	2,13	2,03	2,33	2,37	2,30	2,37	1,24	2,30
7	"	Джумуртау	1931-32	2,98	2,96	2,82	—	—	—	—	2,76	2,53	2,67	2,82	2,57	2,92	2,67	2,79

блюдаются близкие между собою значения объемных весов за невегетационный и вегетационный периоды.

3. Среднегодовые значения объемных весов по всем станциям обеих рек весьма близко подходят друг к другу, при чем максимальное расхождение не превосходит $0,09 \text{ гр/см}^3$, или 14%.



4. Учитывая большую неточность объемного учета и относительную незначительность расхождения среднегодовых значений объемного веса для различных станций, можно принять для рр. Аму-дарьи и Сыр-дарьи среднее значение объемного веса для них, равное $0,68$. Последней величиной можно воспользоваться при переводе данных объемного способа учета взвешенных наносов в весовой.

5. Сравнивая объемный вес взвешенных наносов рр. Аму-дарьи и Сыр-дарьи с объемным весом наносов рек, приведенных в таблице 1, получаем, что объемный вес первых в 2—3 и более раз больше объемного веса вторых. Исключение представляет лишь р. Кубань, объемный вес наносов которой после 20-дневного отстаивания лишь на 10—50% меньше объемного веса рек Сыр-дарьи и Аму-дарьи.

6. Объем пустот взвешенных наносов, отложившихся в мензурке, изменяется от 20 до 96%. Но такая большая амплитуда обычно наблюдается лишь при малом количестве наносов в мензурке. При значительном количестве наносов объем пустот изменяется в более узких пределах—от 60 до 80% и в среднем по всем станциям равен 73%.

7. Удельный вес наносов по данным таблицы 2 изменяется от 1,62 до 3,18. Чтобы исключить влияние случайных ошибок при определении

удельных весов, в таблице 4 даны средние значения удельных весов по месяцам и периодам.

Для станций Запорожской, Кокбулакской, Тюменьарьской, Чардаринской и Керкинской средние удельные веса близки к величинам, обычно приводимым в литературе, как низший предел удельного веса для взвешенных наносов. Для Аму-дарьи у ст. Джумур-тау средний удельный вес получаем высоким—2,79, а для р. Сыр-дарьи у ст. Казалинской очень низким, равным 1,84. Последняя цифра настолько мала, что вызывает некоторые сомнения. Возможно, что взвешенные наносы р. Сыр-дарьи у Казалинской станции содержат очень много гумусовых частиц, но это требует подтверждений.

О коррозии бетона

Разрушение портланд-цементного бетона под влиянием агрессивных вод теоретически было обосновано еще Вика. Последующие работы ряда ученых (Лешаталье, Байков и др.) не только подтвердили вывод Вика, но и дали более детальное обоснование этому явлению.

Теоретические выводы о разрушении портланд-цементного бетона получили и получают подтверждение в многочисленных случаях разрушения бетонных гидротехнических сооружений.

Причины разрушения бетона таятся уже в самом химическом составе его: выделение гидрата окиси кальция при твердении ц-цемента.

Коррозия бетона под действием минерализованных вод, в основном—сернокислая коррозия, является следствием обменных реакций, протекающих между солями воды и гидратом окиси кальция ($\text{Ca}(\text{OH})_2$). Из них нужно отметить два процесса—образование сульфо-алюмината кальция и кристаллизацию гипса.

Несколько иной вид коррозии (углекислая коррозия) наблюдается при омывании бетона слабо минерализованной водой, содержащей агрессивную углекислоту; в этом случае протекает процесс выщелачивания из бетона окиси кальция¹. Наконец, при действии на бетон очень мягких вод наблюдается прямое растворение его.

Следовательно, коррозия бетона может наблюдаться как в минерализованных водах, так и в пресных. Интенсивность протекания коррозии зависит не только от минерализации окружающей воды, но и от структуры бетона и тех напряжений, которые он испытывает. Чем меньше водопроницаем, а, следовательно, более плотен бетон, тем он устойчивее по отношению к агрессии воды, поэтому все факторы, способствующие получению плотного бетона (тщательный подбор состава бетона, применение правильно выбранных водоцементных отношений, употребление пуццоланового ц-цемента и т. д.), увеличивают его стойкость против агрессии и, наоборот, факторы, нарушающие структуру бетона, облегчающие образование трещин в бетоне (неоднородность бетона, чрезмерные напряжения и т. д.), будут усиливать протекание процесса коррозии.

¹ Подробно о процессах, ведущих к коррозии бетона, изложено в статье „К вопросу изучения ср.-аз. месторождений гидравлических добавок“ Н. И. Каменев и Е. Д. Рождественский. Ирригация и гидротехника № № 4 и 5 за 1935 г.

В условиях гидротехнического строительства республик Средней Азии коррозионность бетона приобретает огромное практическое значение, т. к. поверхностные воды Средней Азии обладают слабой минерализацией, часто с незначительной карбонатной жесткостью, а грунтовые воды обычно сильно минерализованы и содержат иногда большое количество сернокислых солей.

Несмотря на это, до настоящего времени в республиках Средней Азии вопросу коррозионности бетона не отводится достаточного внимания как со стороны проектирующих и строительных организаций, так и со стороны научно-исследовательских.

При осмотре гидротехнических сооружений Узбекистана и Туркмении в текущем году автор наблюдал протекание и углекислой коррозии (Кадырья ГЭС, Дальверзин) и сернокислой (Шахрудская система).

И если еще в 1935 г. некоторые вопросы коррозии бетона подвергались обсуждению¹, то сейчас основные положения получили четкую формулировку и принципиальную оценку. Исключительно важную роль в этом сыграло расширенное совещание по коррозии бетона, проходившее в начале марта текущего года при отделении технических наук Академии наук СССР.

В совещании приняли участие наиболее видные научные работники в области изучения цемента и инженеры крупных строителей.

Совещание подвело итог многолетним научным работам по коррозии бетона и обобщило опыт строителей. В своих резолюциях оно приняло ряд принципиальных установок и наметило пути дальнейшей работы в этой области.

Значение решений совещания для гидротехнического строительства Средней Азии очень велико, поэтому инженерно-технический персонал ирригационных организаций, безусловно, должен ознакомиться с ними.

Остановимся коротко на основных решениях совещания. Прежде всего совещание отметило громадный вред, приносимый процессами коррозии бетона, и этим самым окончательно подтвердило вредность недооценки коррозионности бетона при возведении различных бетонных сооружений.

В резолюциях указано, что „коррозия бетона нетерпима в условиях строительства СССР“².

Оно одобрило постановление пленума Академии наук (ноябрь 1933 г.) о необходимости применения пуццоланового портланд-цемента и шлакопортланд-цемента при возведении гидротехнических и подземных сооружений. Это решение мотивируется тем, что пуццолановый портланд-цемент не подвергается коррозии в минерализованных водах и дает более плотный бетон, а, следовательно, и менее водопроницаемый.

С другой стороны, признано, что пуццолановые портланд-цементы также подвержены углекислой агрессии, хотя и в меньшей степени, чем обычный портланд-цемент. Поэтому в условиях углекислой агрессии необходимо применять меры изоляции бетона от воды (покрытие или пропитка бетона битумом и т. п.).

Изоляция бетона (безразлично какого) должна быть проведена и в том случае, если воды содержат значительные количества магниевых солей ($MgSO_4$ более 0,75—1% и $MgCl_2$ более 2—3%).

В виду малой солестойкости глинист-портланд-цемента (смесь портланд-цемента с обожженной каолиновой глиной), выявленной в по-

¹ Дискуссия газеты „Техника“.

² Резолюции расширенного совещания по коррозии бетона, Москва, 3—5 марта 1936 г. Издательство Академии наук Союза ССР, стр. 3.

следнее время, совещание рекомендует воздержаться от его применения в гидротехническом строительстве в минерализованных водах, впредь до проведения исследовательских работ, которым надлежит окончательно выяснить этот вопрос.

Совещание обращает особое внимание инженеров-строителей на то обстоятельство, что плотность бетона, а поэтому и его устойчивость против агрессии воды, в большой мере зависит от тщательности подбора состава бетона и тщательности его укладки, рекомендуя при этом укладку производить с применением вибрации.

Чрезвычайно важное практическое значение имеет решение совещания об организациях районных или непосредственно на крупных строительствах сульфатно-помольно-смесительных установок для получения пуццолановых портланд-цементов, т. е. это ведет к гибкому и рациональному использованию местных гидравлических добавок.

В вопрос оценки воды, как среды для бетона и для затворения бетона, внесены крупные исправления¹.

По сравнению с нормами 1934 г. наиболее сильное изменение претерпели нормы оценки воды для затворения бетона. Нормы 1934 г. браковали целый ряд природных вод и поэтому встретили много возражений, в том числе и с нашей стороны².

В отличие от прежних норм совещание установило, что „почти все воды, существующие в природе, пригодны для затворения бетона“³.

Выводы эти сделаны на основе результатов обширных исследовательских работ, проведенных за последние годы.

В оценке воды, как среды для бетона, четко поставлено требование учета углекислой агрессии, каковая в старых нормах была неясно сформулирована и недостаточно оценена.

Наконец, совещание нашло безусловно необходимым производство систематических наблюдений за состоянием бетона гидротехнических сооружений с целью регистрации процессов коррозии бетона и выявления причин, ее вызывающих.

Для дальнейшей проработки проблемы о коррозии бетона намечен целый ряд вопросов, подлежащих изучению. Приведем основные из них:

1. Изучение углекислой агрессии и изыскание стойких по отношению к ней цементов для гидротехнических сооружений.
2. Изучение коррозии, зависящей от действия магnezиальных солей.
3. Разработка наиболее эффективных методов защиты поверхностей бетона от агрессии и создание стойкого поверхностного слоя бетона.
4. Изучение поверхностных напряжений в бетоне как фактора, обуславливающего появление трещин и коррозии бетона.
5. Изучение гидротехнических бетонов на известково-пуццолановых и известково-шлаковых цементах и др.

Возвращаясь к проекту норм воды, служащей средой для бетона, нам хотелось бы указать на то, что проект совершенно не содержит указаний об агрессии воды, зависящей от сернокислого магния и сернокислого натра, хотя в резолюциях подчеркнута особая вредность солей магния.

По данным лабораторных исследований, проведенных автором, сернокислый магний является солью, наиболее разрушающе действующей на бетон из всех встречающихся в природных водах. Подтверждение

¹ Проект новых норм приводится в конце статьи.

² О качестве воды для затворения бетона, Е. Д. Рождественский и Н. И. Царев. Ирригация и гидротехника № 2 за 1935 г.

³ Резолюции расширенного совещания по коррозии бетона, стр. 11.

этого факта автор получил при изучении коррозии бетона в Шахрудской ирригационной системе, где бетон интенсивно разрушается под действием воды, содержащей, главным образом, сернистые натрий и магний. По нашему мнению, в проект нужно бы внести пункт, говорящий об обязательном индивидуальном подходе при оценке воды вообще, независимо от ее химического состава. Последнее замечание исходит из того, что условия нахождения бетона в природе бывают самые разнообразные, так, автор наблюдал коррозию бетонной облицовки канала Дальверзин (Узбекистан), вызванную водой, которая могла бы считаться неагрессивной. Коррозия в этом случае явилась следствием сильного гидростатического давления при незначительной толщине облицовки.

Пункт второй проекта предлагает институтам и лабораториям при больших содержаниях сульфатов и хлоридов давать оценку для каждого случая в отдельности.

Так как результаты многих лабораторных исследований и опыт строительства по вопросу коррозии бетона не освещены еще в достаточной мере в литературе, то хотелось бы, чтобы организация Академии наук, координирующая исследования в области коррозии бетона, выпустила сжатый перечень полученных результатов; это облегчило бы в большой мере работу институтов и лабораторий.

Решения совещания лишний раз подчеркивают ненормальное положение в ирригационном строительстве Средней Азии вопроса о борьбе с коррозией бетона. Это может быть охарактеризовано двумя моментами: отсутствием пуццоланизации бетона и часто неудовлетворительной постановкой бетонных работ. Насколько нам известно, по ирригационному строительству Узбекистана имеется единственный случай пуццоланизации бетона (Шахрудстрой), инициатором которого явился инж. М. Я. Бабун. И это происходит при наличии ряда месторождений гидравлических добавок, уже опробованных С а н и я р и и рекомендуемых им для эксплуатации.

По нашему мнению, первоочередной задачей в вопросе пуццоланизации является установка районных сушильно-помольно-смесительных установок для получения пуццоланового портланд-цемента на месте и продолжение изучения месторождений гидродобавок районов намечающегося ирригационного строительства в 3-м пятилетии.

Состав бетона на ирригационных стройках часто подбирается без учета необходимости получения наиболее плотного бетона. Вибрированный бетон, как правило, не употребляется.

Такое положение в дальнейшем нетерпимо, и инженерно-технический персонал строительства, проектирующих и научно-исследовательских организаций, должен принять все меры к его выправлению.

Проект норм состава природных вод, применяемых для затворения бетона и служащих средой для бетона

Настоящие нормы относятся только к природным водам. Для сточных вод (промышленных и бытовых), действующих на бетонные и железобетонные сооружения, должны быть разработаны специальные нормы.

Нормы распространяются на бетонные и железобетонные сооружения.

А. Вода как среда для бетона

1. Для плотных бетонов на портланд-цементе устанавливаются следующие допустимые нормы примесей, при отклонении от которых вода должна считаться агрессивной:

а) агрессивной должна считаться вода при временной жесткости до 24 немецких градусов с РН меньшим 7,0 и при жесткости свыше

24 градусов с РН меньшим 6,7; при больших водородных показателях оценка воды производится в соответствии с нормами, указанными ниже;

б) агрессивной должна считаться вода, имеющая временную жесткость менее 6 немецких градусов;

в) агрессивной должна считаться вода, содержащая сравнительно чистые растворы гипса, с содержанием SO_4 более 250 мг/л и $\text{Na}+\text{Mg}$ менее 60 мг/л;

г) агрессивной должна считаться вода, содержащая свободную углекислоту (определенную методом титрования воды раствором едкого натра и фенолфталеином в качестве индикатора) в количестве, большем приведенного в таблице.

Предельная цифра таблицы (свободной CO_2 в мг/л) берется с учетом временной жесткости воды и содержания в ней сульфатов и хлоридов.

Содержание последних берется как сумма имеющегося количества SO_4 и Cl .

Предельное содержание свободной CO_2 (в мг/л)

Жесткость в немецких градусах	Сумма (SO_4)+(Cl)		
	Менее 300 мг/л	От 300 до 600 мг/л	От 600 до 1000 мг/л
6—12	20	18	15
12—16	40	39	34
16—20	70	62	55
20—24	110	90	80
24—30	150	120	100

П р и м е ч а н и я:

При содержании в воде MgO в количестве, большем половины содержания CaO ($\text{MgO} > 0,5 \text{ CaO}$), предельные цифры для свободной CO_2 берутся в том же столбце, но строчкой выше той, которая соответствует данной жесткости воды.

Под плотным бетоном понимается бетон с водоцементным отношением не более 0,65, с расходом цемента на 1 м³ бетона не менее 250 кг при ручной укладке и не менее 220 кг при вибрировании. Подбор материалов, расчет состава и укладка бетона должны обеспечить полную плотность свежееуложенной бетонной смеси, проверяемую по сумме абсолютных объемов материалов и объемному весу бетона после укладки.

2. Оценка количества воды, содержащей сульфаты и хлориды в количестве, большем указанного в таблице, а также для всех случаев загрязнения, не предусмотренных § 1, производится соответствующими институтами и лабораториями на основании данных химического анализа для каждого случая в индивидуальном порядке.

3. Для плотных бетонов на пуццолановом портланд-цементе (цемента заводского приготовления) нормы допустимых примесей, приведенные в § 1 п. „в“, увеличиваются, а в п. „б“ уменьшаются в три раза, а для пуццолановых портланд-цементов построечного изготовления в 1,5 раза.

Нормы § 1 п. „а“ и „г“ остаются без изменения.

Примечание. Нормы допустимых примесей для воды при шлако-портланд-цементе марки „150—200“ принимаются те же, что и для портланд-цемента. Шлако-портланд-цемент марки „250“ и выше приравнивается к пуццолановому портланд-цементу.

4. Если агрессивность воды не позволяет применить ни портланд-цемента, ни другого более стойкого цемента, для обеспечения долговечности сооружения следует принять меры к защите поверхности бетона от действия воды (путем штукатурки, покраски, битуминозной изоляции поверхности и т. п.), согласно особой инструкции, учитывая скорость течения воды и колебания ее уровня.

5. Для бетонных сооружений в морской воде желательно применять пуццолановые портланд-цементы, содержащие менее 4% A_2O_3 в клинкере.

В. Вода для затворения бетона

Для затворения бетона может применяться водопроводная питьевая вода, а также любая природная вода, имеющая водородный показатель РН не менее 4, т. е. не дающая покраснения лакмусовой бумаги и не содержащая сульфатов свыше 1500 мг/л в расчете на SO_4 .

Сточные воды, содержащие жиры, растительные масла, сахар, кислоты и др. не допускаются для затворения бетона. Природные воды должны браться для затворения бетона из мест, достаточно удаленных от мест попадания сточных вод.

В сомнительных случаях пригодность воды для затворения бетона может проверяться путем сравнительных испытаний образцов на данной воде и на питьевой, допуская к применению воду, не вызывающую снижения прочности более чем на 10%, за срок твердения не менее 60 дней во влажной среде.

На болотную воду распространяются все вышеуказанные условия.

Морская вода и другие соленые воды допускаются для затворения бетона, за исключением бетона, идущего на возведение жилых зданий, и за исключением железобетона в особых климатических условиях (жаркий сухой климат).

Бетон на глиноземистом цементе не может затворяться соленой водой.

Для поливки бетона следует применять ту же воду, что и для затворения бетона.

Ташкент.

Список трудов

Средне-Азиатского Научно-Исследовательского Института Ирригации „САНИИРИ“

(Ташкент, Ассакинская 22)

Выпуск 2. Д. Я. Соколов — Опытные исследования головного регулятора Вахшского магистрального канала	Цена 1 р. 25 к.
Выпуск 3. Д. Я. Соколов — Боковой отвод воды	1 р. 60 к.
Выпуск 4. Н. И. Каменев — Результаты механических испытаний каменных строительных материалов Средней Азии. Часть II	2 р. 70 к.
Выпуск 5. Е. А. Замарин и М. М. Решеткин — Просадка и водопроницаемость лесса	1 р.
Выпуск 6. П. И. Васин — I. Размывающие скорости в лессовых грунтах С. С. Бан — II. Коэффициент бокового сжатия регуляторов	1 р. 50 к.
Выпуск 7. Д. Я. Соколов и М. С. Вызго — Пропускная способность водосливов практического профиля	1 р. 20 к.
Выпуск 8. В. Ярцев — Временные инструкции для производства полевых работ при обследовании гидротехнических сооружений	1 р. 30 к.
Выпуск 9. Е. А. Замарин — Гидротехнический расчет. Издание третье	2 р. 50 к.
Выпуск 10. I. Н. И. Теперин — Движение струи в массе жидкости. II. М. С. Вызго — Консольные перепады	1 р. 75 к. 85 к.
Выпуск 11. П. И. Васин — Потери в каналах и формулы их учета	
Выпуск 12. А. С. Вавилов — Противошуговые работы на канале Боз-су в период 1926—31 гг. и меры борьбы с шугой	2 р. 25 к.
Выпуск 13. В. Н. Ярцев — Инструкция для производства полевых работ и предварительной обработки материалов при гидравлических исследованиях на ирригационных каналах	3 р. 50 к.
Выпуск 14. Е. А. Смирнов, В. М. Аполлосов, А. Н. Гостунский — Механизация очистки ирригационной сети в Средней Азии	1 р. 25 к.
Выпуск 15/I. М. С. Вызго и Н. И. Теперин — Гидравлическая лаборатория САНИИРИ на службу подготовки кадров	60 к.
Выпуск 16. С. И. Батурин — К вопросу составления кадастра ирригационных систем Средней Азии	1 р. 35 к.
Выпуск 17. В. М. Аполлосов — Механизация земляных работ при устройстве орошения Дальверзинской степи Дальверзинстроем	3 р. 50 к.
Выпуск 18/2. В. Н. Ярцев и М. С. Вызго — Относятся бережно к гидротехническим сооружениям	35 к.
Выпуск 19/3 К. Н. Смирницкий — По ударному проведи плановое водопользование в своем колхозе и совхозе (распродаи)	20 к.
Выпуск 20. Е. Д. Рождественский — Инструкция к отбору проб воды на химический анализ и типы анализов для различных целей	80 к.
Выпуск 21. Коэффициенты шероховатостей искусственных ирригационных сооружений Средней Азии	2 р. 50 к.
Выпуск 22/4. В. Н. Ярцев и Г. И. Туркин — Как учитывается оросительная вода	1 р.
Выпуск 23/5. З. И. Шваб — Конные скрепера на очистке ирригационной сети	95 к.
Выпуск 24/6. И. Ахтямов — Ирригационная линейка для мирабов и бригадиров	1 р. 30 к.
Выпуск 25. В. М. Аполлосов, Г. А. Болдырев, К. К. Шубладзе — Переустройство ирригационных систем Ферганской долины	3 р. 50 к.
Выпуск 26. З. И. Шваб — Применение гидромеханизации на очистке ирригационной сети	1 р.
Выпуск 27. С. И. Батурин — Контрольный кадастр ирригационных систем Средней Азии	6 р. 50 к.
Выпуск 28. С. М. Кривовяз — Техника полива хлопчатника в крупных механизированных хозяйствах	4 р. 25 к.
Выпуск 29. Г. Н. Виноградов — Ирригация в долине Кашка-дарьи	5 р. 60 к.
Выпуск 30. К. К. Шубладзе и А. С. Цветков — Механизация переустройства ирригационной сети	2 р. 50 к.
Выпуск 31. В. Н. Ярцев — Практическое руководство для тарировки мелких гидротехнических сооружений	2 р. к.

Выпуск 32. Н. И. Царев и И. И. Горбенко — Исследования средне-азиатской древесины	Цена 1 р. — к.
Выпуск 33. В. Н. Ярцев — Водомерный лоток Вентури-Поршала . . .	2 р. — к.
Выпуск 36. З. И. Шваб — Как использовать канавокопатели на очистке ирригационной сети	1 р. — к.
Выпуск 37. С. Иванов — Смыв отвалов „рашей“ струей воды	1 р. — к.
Выпуск 9/22 Временная инструкция по устройству гидрометрических станций и постов и ведению работ на них	1 р. 40 к.
Замарин — Движение грунтовых вод под гидротехническими сооружениями	1 р. 80 к.
М. Громов и В. Баранов — Чигирь, как водоподъемное колесо и как привод	60 к.

Кроме того, имеются комплекты и отдельные номера журнала Вестник Ирригации за годы 1925 — 1930 по 12 р. за годовой комплект и 1 р. за каждый отдельный номер. Заказы выполняются наложенным платежом по первому требованию.

Ответственный редактор Н. А. Степанов
Технический редактор Е. П. Глаголева

Сдано в производство 27/VIII-36 г.
Подписано к печати 17/XII-36 г.
Узлит № Т. — 4275 Б, 6 3/4 п. л. Заказ 1976

Ташкент, Полиграфк-т НКМП УзССР — 37 г.