

Исабеков Т.А.

РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ВОДОДЕЛИТЕЛЯ ДВУХСТОРОННЕГО ДЛЯ КАНАЛОВ С БУРНЫМ ТЕЧЕНИЕМ (ВДКБТ) ДЛЯ МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫХ КАНАЛОВ-БЫСТРОТОКОВ

Т.А. Isabekov

THE RESULTS OF MODEL INVESTIGATIONS WATER DIVIDER BILATERAL CHANNELS WITH RAPID FLOW (ВДКБТ) FOR INTERSTATE CANALS-AND CHUTES

УДК:626.824:627.152

Описываются модельные гидравлические исследования Вододелителя двухстороннего для каналов с бурным течением. Приводятся результаты гидравлических исследований.

Describes the hydraulic model studies of the water divider bilateral channels with rapid current. Given the results of hydraulic research.

В проблеме управления высокоскоростными потоками одной из важных является задача водораспределения на каналах с большими уклонами.

Такие каналы с уклоном дна, больше критического, имеются на предгорных участках всех областей Кыргызстана, включая приграничные районы. Технология вододелиния и, в целом, управления высокоскоростными потоками имеет свои особенности по сравнению со спокойными потоками в каналах с уклоном меньше критического.

С целью увеличения эксплуатационной надежности при снижении затрат на строительство водораспределительного сооружения, а также для применения на межгосударственных каналах-быстроотоках с высокоскоростным стационарным бурным течением при двухстороннем заборе воды сопредельным государствам предложена усовершенствованная конструкция двухстороннего вододелителя для каналов с бурным течением [1].

ВДКБТ состоит из размещенного между подводящим и транзитным каналами-быстроотоками колодца, имеющего вертикальную разделительную перегородку, форма которой в плане имеет излом против течения (рис.1).

Перегорodka, разделяющая колодец на камеры с возрастающей по течению площадью, имеет отсекающий горизонтальный и преобразующий Г-образный козырьки, которые крепятся соответственно на верхней кромке передней и середине задней стенках перегородки. Устроенные на перегородке козырьки, как и перегородка, имеют излом в плане. Отсекающий горизонтальный и преобразующий Г-образный козырьки размещены также в верхней части передней по потоку стенки колодца и в средней части задней стенки соответственно. В боковых стенках колодца на входе в отводящие каналы установлены плоские затворы. Над колодцем шарнирно закреплена решётка с продольными стержнями ромбовидного сечения, расположенными острием кверху (рис. 1). Вершина угла излома разделительной перегородки расположена на заданном расстоянии  $b_1$  от

ближайшей, например, левой боковой стенки колодца, равном  $b_1 = [Q_1 / (Q_1 + Q_2)] B$ , где  $Q_1$  и  $Q_2$  – соответствующие максимальные расходы отбора воды в левый и правый отводящие каналы,  $B$  – общая ширина вододелителя.

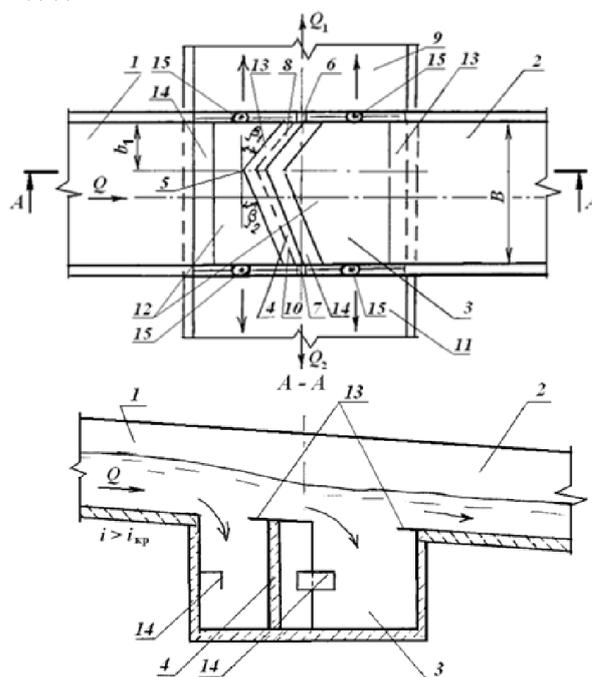


Рис. 1. Схема двухстороннего вододелителя для каналов с бурным режимом течения потока (Патент № 1514, 2012 на имя Лаврова Н.П., Атамановой О.В., Исабекова Т.А. (решетка не показана): 1 – подводящий канал; 2 – транзитный канал; 3 – колодец; 4 – разделительная перегородка; 5 – вершина угла излома разделительной перегородки; 6, 7 – боковые стенки колодца; 8 – одна часть перегородки; 10 – другая часть перегородки; 9, 11 – отводящие каналы; 12 – камеры; 13 – горизонтальные козырьки, 14 – Г-образные козырьки; 15 – плоские затворы.

Углы излома разделительной перегородки  $\beta_1$  и  $\beta_2$  функционально зависят от расстояний  $b_1$  и  $b_2$  от оси излома разделительной перегородки до боковых стенок вододелителя и от коэффициентов водоотбора в отводящие каналы  $a_1 = Q_1 / Q_i$   $a_2 = Q_2 / Q$ , где  $Q$  – максимальный расход воды в подводящем канале. Порог входного оголовка отводящего канала с меньшим расходом водоотбора  $Q_1$  расположен выше порога оголовка отводящего канала с большим расходом водоотбора  $Q_2$  на высоту  $P$ , зависящую от соотношения  $(Q_2 / Q_1)^2$  и действующего напора  $H$  над донным отверстием бокового затвора вододелителя.

Использование ВДКБТ на межгосударственных каналах-быстроотоках позволит обеспечить одновре-

менную подачу воды двум сопредельным государствам на основании норм водоподачи, определенных специальными международными Соглашениями между этими государствами.

Для разработки методики расчета усовершенствованной конструкции ВДКБТ, а также для обоснования его наиболее рациональных параметров необходимо было провести гидравлические исследования физической модели.

Модельные исследования ВДКБТ были выполнены в лаборатории гидротехнических сооружений кафедры гидротехнического строительства и водных ресурсов (ГТСиВР) Кыргызско-Российского Славянского университета (КРСУ) в 2011-2012 гг. Линейный масштаб моделирования, исходя из размеров гидравлического лабораторного лотка (ГЛЛ), принят равным 1:20, что больше минимально допустимого, обеспечивающего автомодельность по Рейнольдсу [2].

Лабораторная установка ГЛЛ изображена на рис.2.



Рис. 2. ГЛЛ с моделью ВДКБТ в процессе исследований в лаборатории гидротехнических сооружений кафедры ГТСиВР КРСУ.

Гидравлические исследования ВДКБТ предполагали, прежде всего, установление пропускной способности водodelителя. Пропускная способность является важным фактором в оценке эффективности водораспределительных сооружений, в особенности в условиях возможного трансграничного вододеле-

ния. Поэтому целью гидравлических исследований усовершенствованной конструкции двухстороннего водodelителя для каналов с бурным режимом течения явилось уточнение пропускной способности сооружения.

Модельные исследования проводились на модели двухстороннего водodelителя для принятых уклонов лотка, равных  $i=0,01$ . Величина подаваемого в лоток быстротока расхода изменялась пятикратно в диапазоне от 4,65 л/с до 21,0 л/с, что для природы составляло от 8,3 м<sup>3</sup>/с до 37,6 м<sup>3</sup>/с. Для каждого из указанных расходов  $Q$  устанавливалась величина одинакового открытия всех четырех боковых затворов (по два затвора в обе стороны)  $a$  при значениях коэффициента водоотбора  $\alpha_e = Q_{оме}/Q = 0,2; 0,4 \dots 1,0$ .

Расход на модели замерялся мерными водосливами Томсона, а напор – аттестованным шпитценмасштабом. Расходы истечения в отводящих лотках измерялись одновременно двумя мерными водосливами в двух мерных баках.

В процессе исследований установлена связь между относительным действующим напором  $m_e = H_c/H_n$  и коэффициентом водоотбора  $\alpha_e = Q_{оме}/Q$ . Напоры  $H_n$  и  $H_c$  на водodelителе в начале и конце донной траншеи показаны на рис. 3.

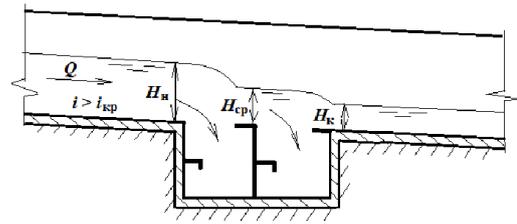


Рис. 3. Схема измерений гидравлических параметров на модели усовершенствованной конструкции двухстороннего водodelителя.

Результаты замеров и расчетов представлены в форме табл. 1 и графиков на рис. 4. Кривые 1–5 на рисунке 4 соответствуют расходам в ГЛЛ, равным  $Q=(0,2-1,0)Q_{max}$ .

Таблица 1

Результаты экспериментальных исследований относительного напора  $m_e$  над решеткой двухстороннего водodelителя

$\alpha_e = \frac{Q_{оме}}{Q}$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
$Q=2,1$ л/с, $Q/Q_{max}=0,1$										
$m_e = \frac{H_c}{H_n}$	0,78	0,65	0,54	0,425	0,315	0,2	0,13	0,08	0,03	0
$Q=4,65$ л/с, $Q/Q_{max}=0,2$										
$m_e$	0,81	0,70	0,59	0,46	0,34	0,225	0,15	0,1	0,06	0
$Q=8,4$ л/с, $Q/Q_{max}=0,4$										
$m_e$	0,83	0,75	0,65	0,51	0,36	0,26	0,18	0,12	0,06	0
$Q=12,5$ л/с, $Q/Q_{max}=0,6$										
$m_e$	0,86	0,78	0,67	0,56	0,4	0,28	0,19	0,14	0,07	0
$Q=16,6$ л/с, $Q/Q_{max}=0,8$										
$m_e$	0,86	0,80	0,68	0,58	0,42	0,3	0,20	0,15	0,08	0
$\Delta m_e, \%$	12,3%	9,9%	14,2%	17,7%	13,2%	29,4%	29,8%	31,7%	34,2%	0

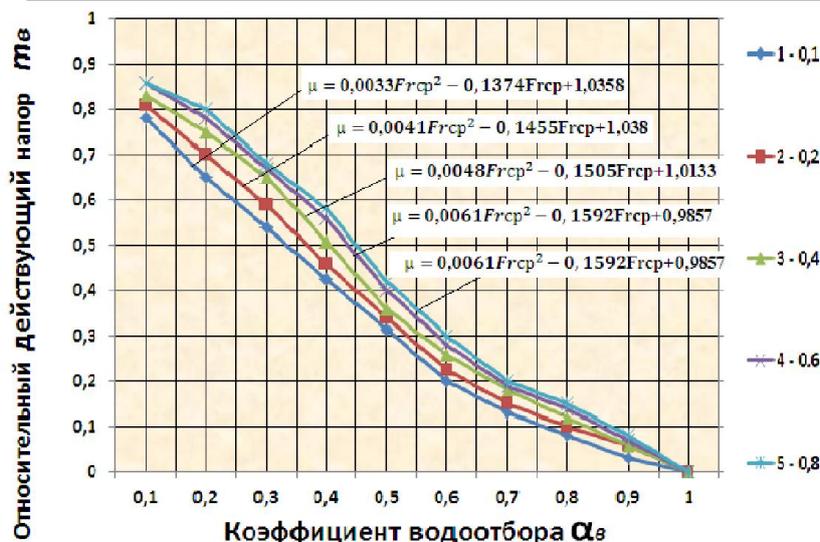


Рис. 4. Зависимость относительного действующего напора над решеткой  $m_e$  от коэффициента водоотбора  $\alpha_a$ .

На основании кривых, точки которых найдены экспериментальным путем установлена зависимость для относительного действующего напора над решеткой  $m_e$  от коэффициента водоотбора  $\alpha_a$  в зависимости от расхода (рис. 4).

Затем были выполнены исследования пропускной способности вододелителя. Они заключались в определении коэффициента расхода вододелителя опытным путем, который из расходной формулы [2] равен:

$$\mu = \frac{Q_{отв}}{\rho l_n b \sqrt{2gH_{cp}}}, \quad (1)$$

где  $p$  – доля площади отверстий в решетчатой плите по отношению к общей площади плиты,  $p = F_{отв}/F_{общ}$ ;  $l_n$  – длина решетчатой плиты;  $b$  – ширина быстотока;  $H_{cp}$  – средний напор над решетчатой плитой:  $H_{cp} = (H_n + H_k)/2$ . Доля отверстий в решетчатой плите  $p$  составляла 0,6, длина решетчатой плиты  $l_n$ , была равна 0,475 м, а ширина вододелителя была равна ширине быстотока  $b=0,3$  м.

Измерения глубин потока в начальном  $H_n$  и конечном  $H_k$  створах, выполнялись мерной иглой, с определением максимальных и минимальных значений колебаний уровня поверхности воды.

Коэффициенты расхода  $\mu$  изменялись в пределах от 0,15 до 0,47 при различных параметрах Фруда и открытиях боковых затворов. Параметр Фруда  $Fr_{cp} = \alpha v_{cp}^2 / gh_{cp}$  рассчитывался для среднего сечения решетчатой плиты ( $h_{cp}$  – глубина,  $v_{cp}$  – средняя скорость потока на решетчатой плите). Наименьшие по абсолютной величине коэффициенты расхода (от 0,14 до 0,335) наблюдались при малых открытиях боковых затворов  $a = 0,01$  м. При максимальном открытии боковых затворов  $a_{max} = 0,05$  м коэффициент расхода изменялся от 0,4 до 0,47.

Полученные по результатам эксперимента значения коэффициента расхода  $\mu$  в зависимости от  $Fr_{cp}$  приведены в табл.2 и на графиках (рис. 5). Полученные в результате модельных исследований формулы для коэффициентов расхода  $\mu$  в зависимости от числа Фруда, представленные на рис. 5, рекомендуются для расчета вододелителя при проектировании.

Таблица 2

Результаты расчета коэффициента расхода  $\mu$  ВДКБТ от параметра Фруда  $Fr_{cp}$

$a/a_{max}=0,2$		$a/a_{max}=0,4$		$a/a_{max}=0,6$		$a/a_{max}=0,8$		$a/a_{max}=1,0$	
$Fr_{cp}$	$\mu$								
5	0,335	5	0,42	5	0,435	5	0,45	5	0,47
10	0,26	8	0,36	9	0,38	15	0,36	14	0,41
15	0,18	13	0,31	15	0,33	20	0,32	18	0,37
20	0,15	20	0,23	19	0,29	23	0,29	22	0,34
25	0,12	25	0,18	25	0,23	25	0,27	25	0,31

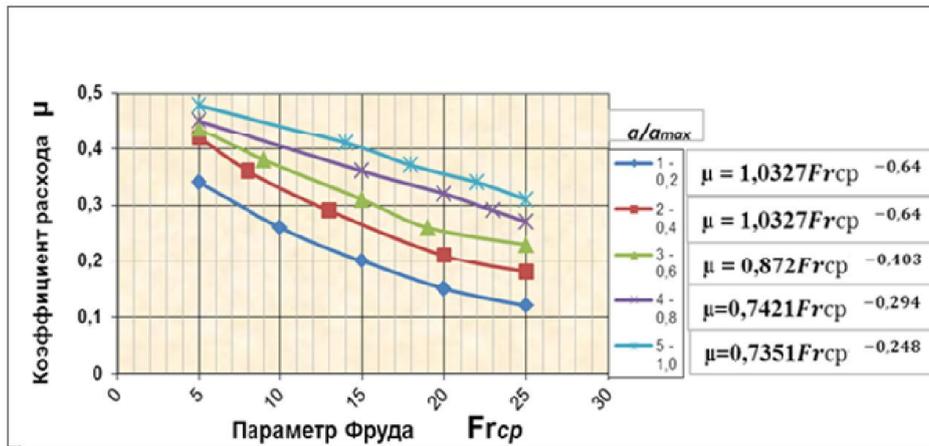


Рис. 5. Зависимость коэффициента расхода двухстороннего вододелителя от параметра Фруда.

Анализ графических зависимостей на рис. 5 показывает, что коэффициент расхода  $\mu$  вододелителя уменьшается с увеличением параметра  $Fr_{cp}$  при каждом открытии. Это явление наблюдается и у других вододелителей траншейного типа и свидетельствует об увеличении силы вертикальной составляющей давления с уменьшением скоростей потока. Таким образом, при меньших скоростях потока и параметре  $Fr$ , удельный расход воды, поступающий в траншею вододелителя, больше.

Экспериментально была проверена пропускная способность затворов, установленных на выходе их донной траншеи. Расход истечения из-под затворов определялся по известной формуле [2]:

$$Q = \mu_s ab \sqrt{2g(H_0 - h_c)} = \mu_s ab \sqrt{2g\bar{H}}, \quad (2)$$

где  $\mu_s$  – коэффициент расхода затвора;  $H_0$  – напор с учетом скорости подхода;  $h_c$  – сжатая глубина за плоским затвором;  $\bar{H}$  – осредненный действующий напор, равный по результатам измерений  $\bar{H} = \frac{H_n + H_k}{2} + \frac{\alpha v_0^2}{2g}$ .

По результатам модельных исследований коэффициент расхода истечения из-под плоского затвора, определенный из формулы (2) имеет значения  $\mu_{из} = 0,56 \dots 0,6$ , для отводящего канала с большим расходом. Коэффициент расхода истечения из-под плоского затвора для отводящего канала порог входного оголовка, которого расположен выше  $\mu_{из} = 0,48 \dots 0,52$ . Таким образом, коэффициент расхода истечения из-под плоского затвора для отводящего канала, порог входного оголовка которого расположен выше, на 13-14 % меньше, чем коэффициент расхода отводящего канала с большим расходом.

Экспериментально исследовался также относительный расход водоотбора. По результатам модельных исследований определялись значения  $Q_{овб} / Q_{max}$ , а также их изменение в зависимости от коэффициента водоотбора  $\alpha_{в1} = Q_{овб1} / Q$ ,  $\alpha_{в2} = Q_{овб2} / Q$  и относительного расхода водоотбора  $Q_{овб} / Q_{max}$ .

Максимальный расход  $Q_{max}$  в ГЛЛ на модели составлял 21,0 л/с, а максимальное открытие боковых затворов  $a_{max} = 0,05$  м. Расходы отводов изменялись: левый –  $Q_{овб} = 11,3 \div 13,65 \text{ м}^3/\text{с}$ , правый –  $Q_{овб} = 4,2 \div 8,4 \text{ м}^3/\text{с}$ .

Полученные экспериментально графические зависимости  $\alpha_{в} = f(a/a_{max})$  представлены на рис. 6.

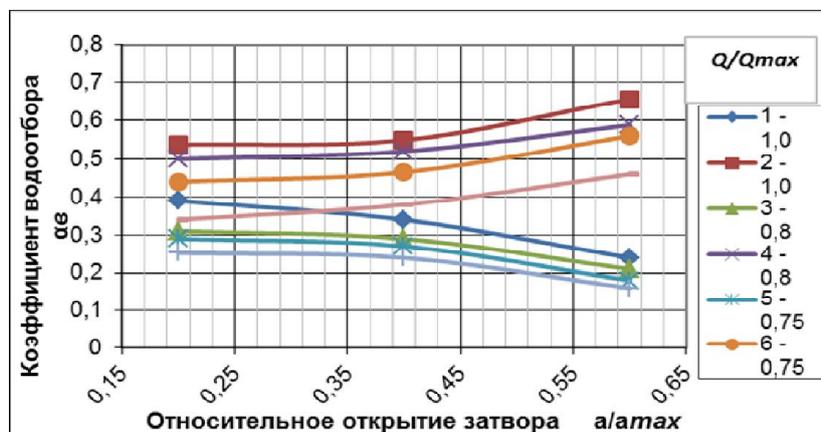


Рис. 6. Изменение коэффициента водоотбора  $\alpha_{в}$  с изменением открытия затворов вододелителя и расхода старшего канала.

Экспериментально установлено, что при одном и том же открытии затворов, коэффициент водоотбора в правый и левый отводы разный, т.е. при открытии  $a/a_{max}=0,2$  коэффициент водоотбора правого отводящего канала равен 0,26, а левого соответственно – 0,32 при  $Q/Q_{max}=0,6$ . Это происходит потому, что вершина угла разделительной перегородки, расположенной в колодце, смещена в сторону от центральной оси, на величину

$$b_1 = \frac{Q_1}{Q_1 + Q_2} B.$$

В процессе лабораторных исследований ВДКБТ представлялось важным проверить наличие стабилизирующих свойств усовершенствованной конструкции вододелителя. Для этого на модели необходимо было проследить изменение отводимого расхода  $Q_{отв}/Q_{max}$  в зависимости от изменения относительного расхода  $Q/Q_{max}$  воды в ГЛЛ.

Результаты замеров  $Q_{отв}/Q_{max} = Q/Q_{max}$  представлены в табл. 3 и в виде графиков на рис. 7. В процессе эксперимента открытия боковых затворов изменялись от  $a=0,01$  м до  $a=0,03$  м, что соответствует открытиям  $a/a_{max}=0,2$  и  $a/a_{max}=0,6$ . Это позволило обеспечить величины относительных расходов отвода  $Q_{отв}=2,8 \div 12,5$  м<sup>3</sup>/с, что в относительных единицах  $Q_{отв}/Q_{max}$  от 0,132 до 0,594.

Результаты  $Q_{отв}/Q_{max}=f(Q/Q_{max})$

Таблица 3

Отводы	Левый				Правый				
	$Q/Q_{max}$	0,22	0,4	0,6	0,78	0,22	0,4	0,6	0,78
<i>a/a<sub>max</sub>=0,2</i>									
$Q_{отв}/Q_{max}$		0,13				0,09			
			0,17				0,12		
				0,18				0,14	
					0,19				0,15
<i>a/a<sub>max</sub>=0,3</i>									
$Q_{отв}/Q_{max}$		0,15				0,1			
			0,21				0,17		
				0,24				0,19	
					0,25				0,19
<i>a/a<sub>max</sub>=0,4</i>									
$Q_{отв}/Q_{max}$		0,22				0,16			
			0,26				0,19		
				0,28				0,21	
					0,29				0,23
<i>a/a<sub>max</sub>=0,5</i>									
$Q_{отв}/Q_{max}$		0,26				0,18			
			0,29				0,21		
				0,34				0,25	
					0,38				0,27
<i>a/a<sub>max</sub>=0,6</i>									
$Q_{отв}/Q_{max}$		0,26				0,19			
			0,42				0,21		
				0,45				0,26	
					0,49				0,28

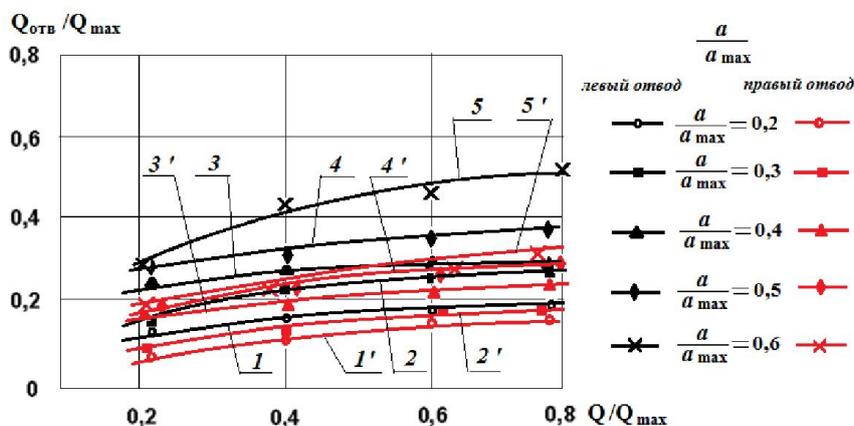


Рис. 7. Зависимость относительного расхода водоотбора  $Q_{отв}/Q_{max}$  от относительного расхода водоподачи по быстротоку  $Q/Q_{max}$ .

По графику на рис. 7, видно, что при открытиях затворов  $a/a_{\max}=0,2; 0,3; 0,4$  (линии 1, 1, 2, 2', 3, 3' на рис. 7), отводимый расход воды изменяется на незначительную величину при изменении расхода воды в ГЛЛ. Особенно это свойство проявляется при  $Q/Q_{\max}>0,35$ . Для открытий затворов  $a/a_{\max}< 0,4$  при  $Q/Q_{\max}>0,4$  величина отводимого расхода воды изменяется в пределах 5,1–7% для правого отвода и в пределах 8,6 – 12,4% для левого отвода. Это говорит о том, что при водоподаче небольших расходов воды ВДКБТ может обеспечивать относительное постоянство подачи воды в отводящие каналы.

Проведенные исследования позволяют сделать следующие **выводы**:

1. Вододелитель двухсторонний для каналов с бурным течением обеспечивает требуемую водоподачу с заданной точностью одновременно в каналы, расположенные по обе стороны сооружения.

2. Полученные зависимости: относительного действующего напора над решеткой  $m_v$  от коэффициента водоотбора  $\alpha_v$  (рис.4); коэффициента расхода  $\mu$  (рис.5); изменения коэффициента водоотбора  $\alpha_v$  от открытия затворов вододелителя и расхода старшего канала (рис.6) вошли в методику инженерного расчета ВДКБТ.

3. Установлена стабилизирующая способность ВДКБТ при открытиях затворов  $a/a_{\max}< 0,4$  и транзитных расходах  $Q/Q_{\max}>0,4$ ; при этом величина отводимого расхода воды изменяется в пределах 5,1–7%, т.е. вододелитель является стабилизатором расхода воды отвода.

#### Литература:

1. Патент № 1514 КР МКИ Е 02 В 13/00. Вододелитель двухсторонний для каналов с бурным течением [Текст] / Н.П. Лавров, О.В. Атаманова, Т.А. Исабеков. Оpubл. в Б.И. № 12, КР, 2012. – 6 с.
2. Справочник по гидравлическим расчетам [Текст] / Под ред. П.Г. Киселева. – М.: Энергия, 1974. –312 с.

Рецензент: д.т.н., профессор Маткеримов Т.Ы.

---