

УДК 626.824:627.152

**Н. П. Лавров**

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,  
Санкт-Петербург, Российская Федерация

**Г. С. Аджыгулова**

Кыргызско-Российский Славянский университет, Бишкек, Кыргызская Республика

**О. В. Атаманова**

Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю. А.,  
Саратов, Российская Федерация

**Т. А. Исабеков**

Департамент водного хозяйства и мелиорации Кыргызской Республики, Бишкек,  
Кыргызская Республика

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ВОДОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СООРУЖЕНИЙ ДЛЯ ИРРИГАЦИОННЫХ КАНАЛОВ-БЫСТРОТОКОВ С БУРНЫМ ТЕЧЕНИЕМ**

Целью исследований являлось установление конструктивных и гидравлических параметров усовершенствованных двухсторонних вододелителей для ирригационных каналов с бурным течением. Для достижения поставленной цели приведено описание новых конструкций вододелителей бурных потоков, изложен их принцип действия. Реализованы экспериментальные методы гидравлических исследований на физических моделях с последующей обработкой результатов эксперимента методами математической статистики. Установлено, что пропускная способность двухстороннего вододелителя для каналов с бурным течением (ВДКБТ) на 6,4–8,1 % больше, чем его прототипа за счет несимметричного расположения угла излома перегородки. Коэффициент расхода новой конструкции вододелителя имеет величину 0,335–0,45, среднее значение для практических расчетов рекомендуется принять равным 0,4. Установлено, что ВДКБТ обладает свойствами стабилизатора расхода воды при относительных открытиях затворов  $a/a_{\max} < 0,4$  и относительных расходах воды в канале старшего порядка  $Q/Q_{\max} > 0,4$ . Этот вододелитель обеспечивает достаточную равномерность распределения скоростей на выходе из-под боковых затворов, что позволяет исключить сбойность потока в отводящих каналах и размывы их грунтового русла. Другой предложенный двухсторонний вододелитель с ассиметричной решеткой (решетчатой плитой) представляет собой упрощенную конструкцию водораспределительного сооружения ВДКБТ. Методика гидравлического расчета двухстороннего вододелителя с ассиметричной решеткой частично включает элементы расчета предыдущей конструкции. Поисковые модельные исследования подтвердили работоспособность вододелителя с ассиметричной решеткой (решетчатой плитой).

Ключевые слова: сооружение, канал-быстроток, бурное течение, двухсторонний вододелитель, ассиметричная решетка, гидравлические исследования, пропускная и стабилизирующая способность.

**N. P. Lavrov**

Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Russian Federation

**G. S. Adzhygulova**

Kyrgyz-Russian Slavic University, Bishkek, Kyrgyz Republic

**O. V. Atamanova**

Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Saratov, Russian Federation

**T. A. Isabekov**

Water Management and Melioration Department of Kyrgyz Republik, Bishkek, Kyrgyz Republik

## **THE IMPROVING OF WATER DISTRIBUTION FACILITIES FOR CHUTES IRRIGATION CANALS WITH TURBULENT FLOW**

The aim of this study was to establish the structural and hydraulic parameters of improved bilateral water dividers for irrigation canals with turbulent flow. To achieve this goal the description of new designs of turbulent flow water dividers and their operating principles are presented. The experimental methods for hydraulic studies on physical models followed by further processing of experimental results by mathematical statistics methods are implemented. It has been found out that the carrying capacity of the bilateral water divider for canals with turbulent flow is 6.4–8.1 % more than its prototype due to asymmetric arrangement of a divider fracture angle. Discharge coefficient of a newly designed water divider has a value 0.335–0.45, the average value for practical purposes is recommended to be set to 0.4. It has been found out that water divider for canals with turbulent flow has water discharge and stabilizing capacity at relatively open gates  $a/a_{\max} < 0.4$  and the relative water discharge in the supply canal  $Q/Q_{\max} > 0.4$ . This water divider provides sufficient velocity distribution at the lateral gate outlet, which eliminates the flow failure in diversion canals and bed degradation. Another proposed bilateral water divider with the asymmetric grid (grid plate) is a simplified design of water distribution facilities of turbulent flow water dividers. The technique of hydraulic calculation of bilateral water divider with an asymmetrical grid partly incorporates the elements of the previous design calculation. Search modeling studies have confirmed the efficiency of water divider with an asymmetrical grid (grid plates).

Keywords: construction, chute-channel, turbulent flow, bilateral water divider, asymmetric grid, hydraulic research, discharge and stabilizing capacity.

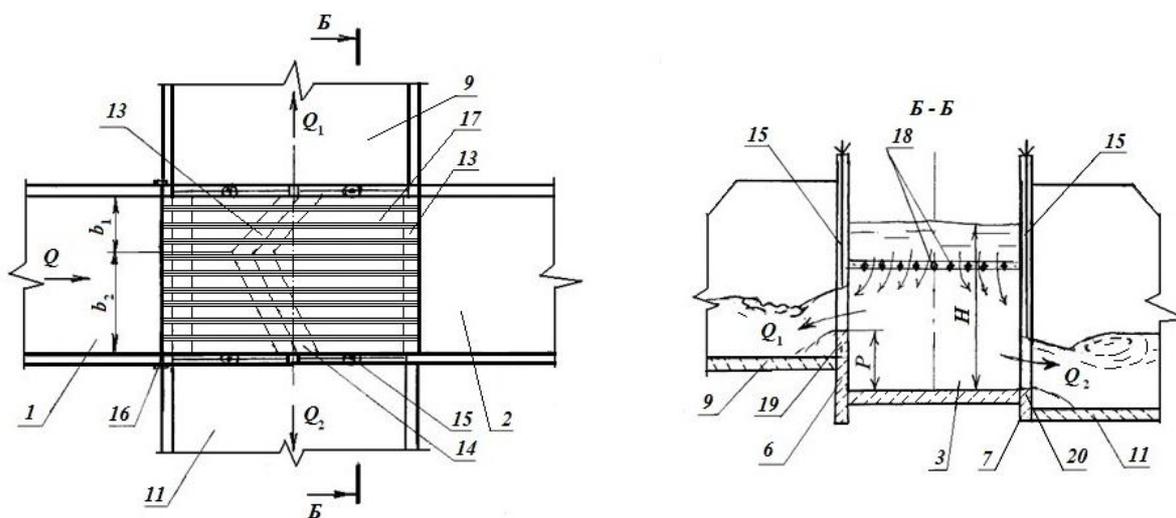
**Введение.** Водохозяйственное строительство в Кыргызской Республике на современном этапе его развития тесно связано с освоением земель в горно-предгорной зоне [1]. Более половины ирригационных каналов открытого типа в горно-предгорной зоне Кыргызстана имеют уклоны дна и скорости больше критических значений. Традиционные водораспределительные гидроузлы с размещенными перпендикулярно направлению потока затворами-регуляторами не применимы на каналах-быстротоках, так как скорости воды в быстротечных каналах достигают 10 м/с и более [1].

Опыт эксплуатации водораспределительных сооружений подтвердил, что наиболее оправданными на каналах-быстротоках являются вододелители траншейного типа, позволяющие осуществлять водоотбор без явного вмешательства в транзитный поток [2]. Однако за годы эксплуатации на каналах Киргизии и Казахстана были выявлены и недостатки су-

ществующих траншейных вододелителей. Основные из них: громоздкость сооружений, ограниченная область применения по скоростям и расходам, образование поверхностных возмущений, приводящих к выплескам из канала-быстротока, недостаточная точность водоподачи и др. [3]. Для минимизации перечисленных недостатков и совершенствования управления водораспределением на каналах-быстротоках были предложены новые двухсторонние конструкции вододелителей.

Целью исследований являлось установление конструктивных и гидравлических параметров новых двухсторонних вододелителей для каналов-быстротоков с бурным течением.

**Материалы и методы.** Для обеспечения двухсторонней подачи воды потребителям на основании поисковых исследований была предложена новая конструкция вододелителя двухстороннего для каналов с бурным течением (ВДКБТ) [4]. Вододелитель ВДКБТ состоит из размещенного между подводящим 1 и транзитным 2 каналами-быстротоками колодца 3, имеющего вертикальную разделительную перегородку 4, форма которой в плане имеет излом 5 против течения (рисунок 1).



- 1 – подводящий канал; 2 – транзитный канал; 3 – колодец; 4 – разделительная перегородка; 5 – вершина угла излома перегородки; 6, 7 – боковые стенки колодца; 8, 9 – отводящие каналы; 10 – козырьки горизонтальные, 11 – Г-образный козырек; 12 – затвор плоский; 13 – шарниры для крепления решетки; 14 – решетка; 15 – продольные стержни; 16, 17 – порог

**Рисунок 1 – Схема ВДКБТ**

Перегородка 4 имеет отсекающий горизонтальный 10 и Г-образный 11 козырьки, которые крепятся соответственно на верхней кромке передней и середине задней стенках перегородки. В боковых стенках колодца на входе в отводящие каналы установлены плоские затворы 12. На рисунке 1 видно, что в верхней части колодца размещена решетка 14 с продольными ромбовидными стержнями 15, острие которых направлено кверху. Углы излома разделительной перегородки  $\beta_1$  и  $\beta_2$  (град.) функционально зависят от расстояний  $b_1$  и  $b_2$  (м), оси излома разделительной перегородки до боковых стенок вододелителя, а также от коэффициентов водоотбора в отводы:

$$\alpha_1 = Q_1 / Q \text{ и } \alpha_2 = Q_2 / Q,$$

где  $Q_1$  и  $Q_2$  – расходы воды в левом и правом отводящих каналах соответственно, м<sup>3</sup>/с;

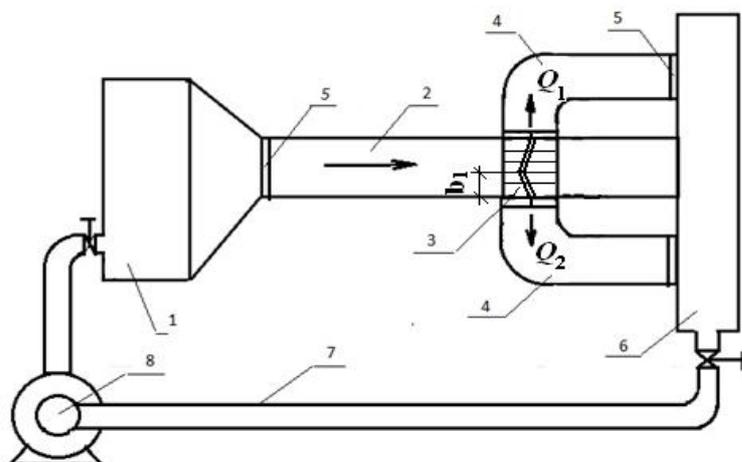
$Q$  – максимальный расход воды в подводящем канале, м<sup>3</sup>/с.

Расположение оси излома разделительной перегородки и высот порогов входных оголовков отводящих каналов в зависимости от величин отводимых расходов дает возможность уменьшить строительные размеры вододелителя, а также повысить пропускную способность транзитного канала-быстротока.

С целью разработки методики расчета ВДКБТ, а также для обоснования его рациональных параметров были проведены гидравлические исследования на физической модели. Лабораторная модель ВДКБТ была изготовлена из металла и дерева. Линейный масштаб моделирования по Фрудру, соответствующий размерам гидравлического лабораторного лотка (ГЛЛ), назначен 1:20. Этот выбранный масштаб крупнее минимально допустимого, обеспечивающего автомодельность по Рейнольдсу [5]. Исследования проводились в лаборатории гидротехнических сооружений Кыргызско-Российского Славянского университета (КРСУ).

Аттестованная лабораторная установка ГЛЛ представляет собой за-

кольцованную систему (рисунок 2). Расход левого отвода модели был принят больше, чем расход правого, то есть  $Q_1 > Q_2$ .



1 – успокоительный бак; 2 – ГЛЛ; 3 – модель ВДКБТ; 4 – отводящие каналы (лотки);  
5 – водослив мерный; 6 – водоприемная камера; 7 – трубопроводы; 8 – насос

**Рисунок 2 – Лабораторный лоток для проведения модельных исследований ВДКБТ (автор фото Г. С. Аджыгулова)**

В процессе гидравлических модельных исследований ВДКБТ [4] предполагалось, прежде всего, установить зависимость относительного действующего напора вододелителя от величины коэффициента водоотбора.

Лабораторные исследования выполнялись на модели ВДКБТ при заданном уклоне подводящего лотка, равном  $i = 0,01$ , обеспечивающем бурное течение в ГЛЛ. Величина расхода воды в верхнем бьефе вододелителя менялась пятикратно в диапазоне от 4,65 до 21,0 л/с. Для натуре это составляло от 8,3 до 37,6 м<sup>3</sup>/с. При каждом из заданных расходов  $Q$  устанавливалось одинаковое открытие всех четырех плоских затворов  $a$  (по два затвора в обе стороны) при величинах коэффициента водоотбора  $\alpha_v = Q_{\text{отв}} / Q = 0,2; 0,4 \dots 1,0$ .

Расходы воды на модели определялись мерными водосливами Томсона, а напоры – мерной иглой (шпитценмасштабом). Расходы истечения в отводящих лотках измерялись одновременно двумя мерными водосливами в двух мерных баках. Замеры скоростей в ГЛЛ и отводящих лотках, выполненные с помощью серийного измерителя скорости воды ИСВ-01,

представляющим собой микровертушку, объединенную со счетчиком оборотов, показали, что распределение скоростей на выходе из вододелителя в отводящие лотки относительно равномерное.

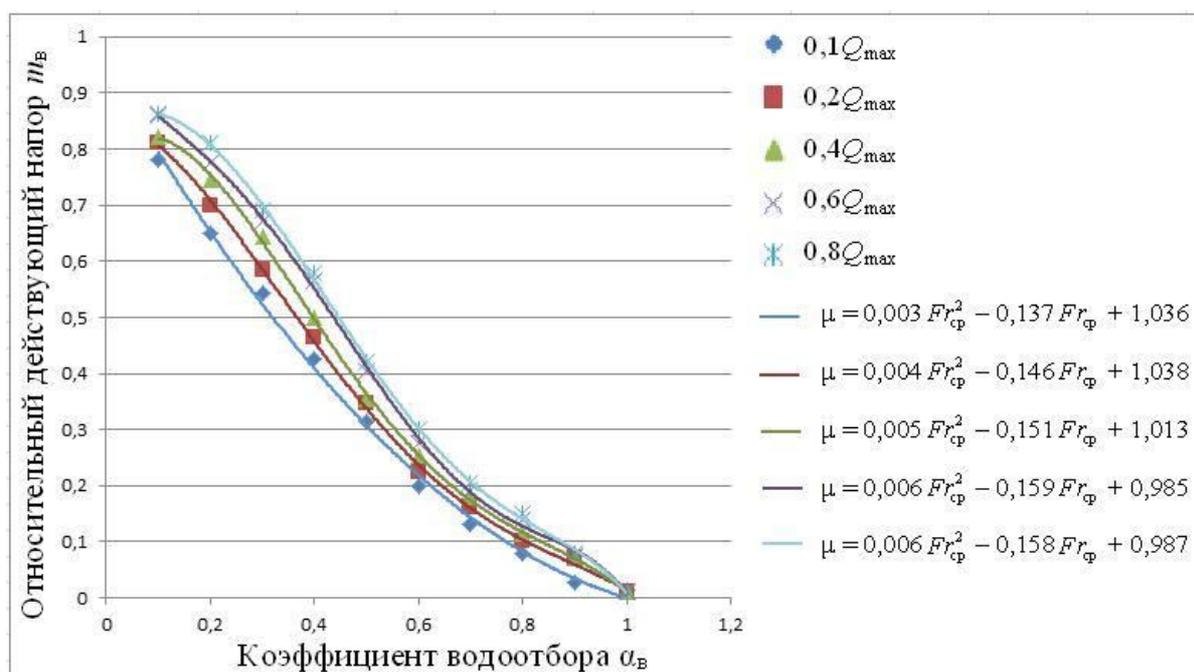
**Результаты и обсуждение.** Результаты эксперимента позволили установить зависимость относительного действующего напора  $m_B = H_K / H_H$  ( $H_H$  и  $H_K$  – уровни воды в ГЛЛ на входе и выходе в колодец донной траншеи, м) от коэффициента водоотбора:

$$\alpha_B = Q_{\text{отв}} / Q.$$

По экспериментальным точкам получены зависимости для относительного напора над траншеей:

$$m_B = f(\alpha_B, Q/Q_{\text{max}}),$$

где  $\alpha_B$  – коэффициент водоотбора (рисунок 3).



**Рисунок 3 – Зависимости  $m_B = f(\alpha_B, Q/Q_{\text{max}})$**

Для установления пропускной способности вододелителя, являющейся основным показателем его работы на каналах [6], были проведены гидравлические исследования зависимости коэффициента расхода  $\mu$  вододелителя от ряда параметров конструкции. При этом для расчета коэффи-

коэффициента расхода использовалась формула Е. А. Замарина [7]:

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

где  $p$  – доля площади отверстий в решетчатой плите,  $p = F_{\text{отв}} / F_{\text{общ}}$ ;

$F_{\text{отв}}$  – площадь отверстий, м<sup>2</sup>;

$F_{\text{общ}}$  – площадь плиты, м<sup>2</sup>;

$l_n$  – длина решетчатой плиты, м;

$b$  – ширина ГЛЛ, м;

$H_{\text{cp}}$  – средний напор над вододелителем,  $H_{\text{cp}} = (H_n + H_k) / 2$ , м.

Доля площади отверстий в решетчатой плите  $p$  составила 0,6.

При этом длина плиты на модели равна  $l_n = 0,475$  м, а ширина модели ВДКБТ равна ширине лотка  $b = 0,3$  м.

Исследованиями установлено, что коэффициенты расхода решетчатой плиты  $\mu$  изменялись в пределах от 0,15 до 0,47 в зависимости от значений параметра Фруда и открытий боковых затворов.

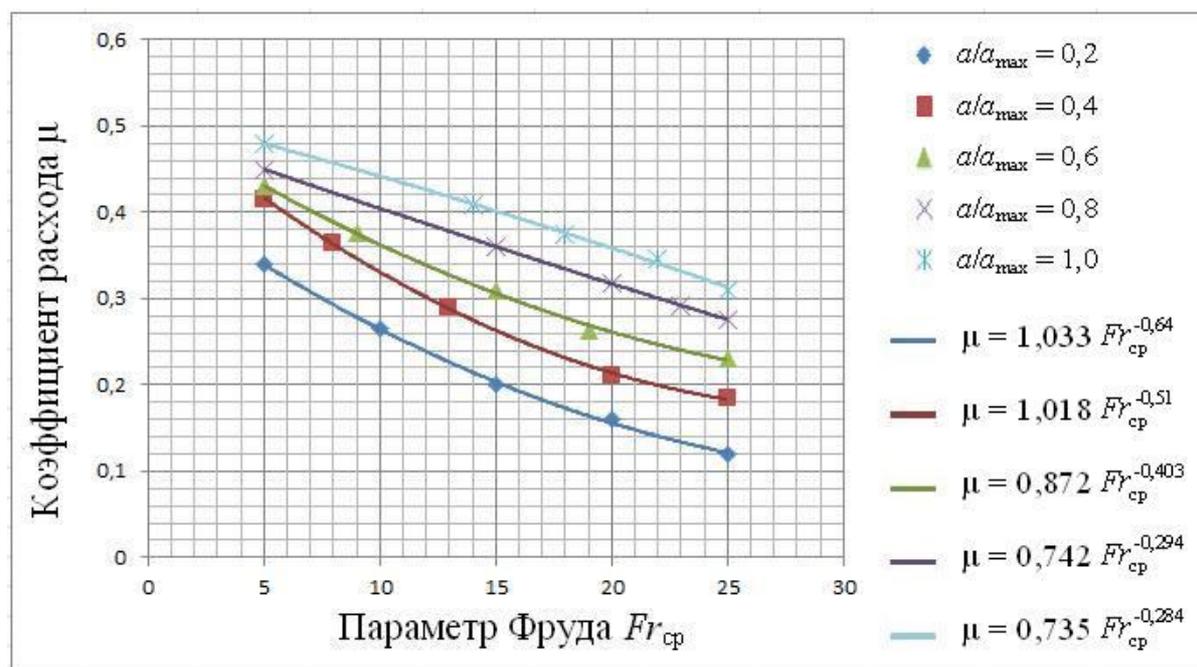
Параметр Фруда для среднего сечения плиты определялся расчетным путем:

$$Fr_{\text{cp}} = \alpha v_{\text{cp}}^2 / gh_{\text{cp}},$$

где  $v_{\text{cp}}$  – средняя скорость воды на вододелителе, м/с;

$h_{\text{cp}}$  – глубина, м.

Минимальные (по абсолютной величине) значения коэффициента расхода (от 0,14 до 0,335) имели место при малом открытии затворов, равном  $a = 0,01$  м. При максимальных открытиях  $a_{\text{max}} = 0,05$  м коэффициент расхода изменялся от 0,4 до 0,47. Экспериментальные данные коэффициентов расхода  $\mu$  в зависимости от  $Fr_{\text{cp}}$  представлены на графиках (рисунок 4).



**Рисунок 4 – Зависимость коэффициента расхода решетчатой плиты двухстороннего вододелителя от параметра Фруда  $\mu = f(Fr_{ср})$**

На основании анализа графиков, представленных на рисунке 4, можно заключить, что увеличение параметра Фруда  $Fr_{ср}$  приводит к уменьшению значений коэффициента расхода  $\mu$  вододелителя типа ВДКБТ. Причем это справедливо для любого открытия затворов. Аналогичная картина наблюдается и у других конструкций траншейных вододелителей, что подтверждает факт увеличения силы вертикальной составляющей давления при уменьшении скорости потока. Следовательно, с уменьшением скоростей транзитного потока удельный расход воды, поступающий в донную траншею вододелителя, увеличивается. При этом наблюдается эффект частичного гашения энергии высокоскоростного бурного потока [8].

Полученные формулы для коэффициентов расхода  $\mu$  в зависимости от параметра Фруда, приведенные на рисунке 4, рекомендуется использовать при расчете ВДКБТ на стадии его проектирования.

Экспериментальным путем выполнена также проверка пропускной способности боковых плоских затворов, которыми оборудованы выходные отверстия донной траншеи.

Расход истечения из-под затвора рассчитывается по гидравлической зависимости [9]:

$$Q = \mu_3 ab \sqrt{2g(H_0 - h_c)}, \quad (2)$$

где  $\mu_3$  – коэффициент расхода затвора;

$a$  – открытие затвора, м;

$H_0$  – напор с учетом подходной скорости, м;

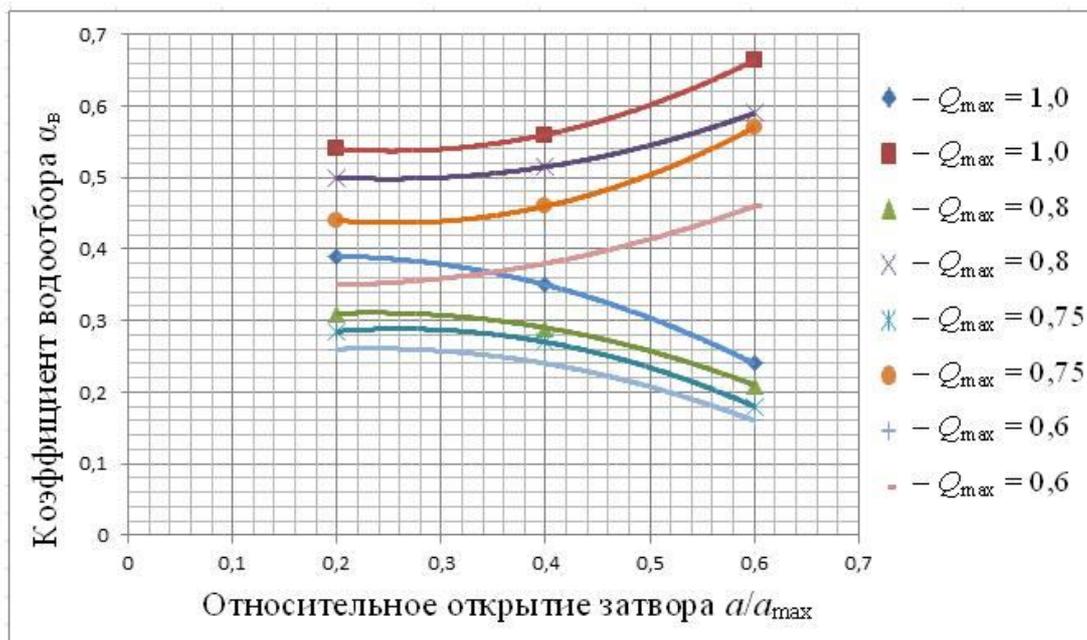
$h_c$  – глубина воды в сжатом сечении, м.

В ходе модельных исследований было выявлено, что коэффициент расхода бокового плоского затвора, установленного на входе в левый отводящий канал с большим расходом воды и малой высотой порога на входе, определенный по формуле (1), принимает значения  $\mu_{\text{щ}} = 0,56 \div 0,6$ . Коэффициент расхода правого бокового плоского затвора для отводящего канала с меньшим расходом и более высоким порогом на входе имеет величину  $\mu_{\text{щ}} = 0,48 \div 0,52$ . Коэффициент расхода правого затвора с более высоким порогом на входе оказался на 13–14 % меньше, чем коэффициент расхода левого бокового плоского затвора с низким входным порогом.

Экспериментально был определен также относительный расход водоотбора. Модельными исследованиями были установлены значения относительной величины отводимого расхода воды  $Q_{\text{отв}} / Q_{\text{max}}$ , а также значения коэффициентов водозабора: левого отвода  $\alpha_{\text{в1}} = Q_{\text{отв.1}} / Q$  и правого отвода  $\alpha_{\text{в2}} = Q_{\text{отв.2}} / Q$ . По результатам эксперимента построены графические зависимости  $\alpha_{\text{в}} = f(a/a_{\text{max}})$  (рисунок 5).

Экспериментально установлено, что при одном и том же открытии затворов, коэффициент водоотбора в правый и левый отводы разный, то есть при открытии  $a/a_{\text{max}} = 0,2$  коэффициент водозабора правого отводящего канала равен 0,26, а левого – соответственно 0,32 при  $Q/Q_{\text{max}} = 0,6$ . Это происходит потому, что вершина угла разделительной перегородки,

расположенной в колодце, смещена в сторону от центральной оси на величину  $b_1 = Q_1 \cdot B / (Q_1 + Q_2)$ , м. В результате сравнения суммарных расходов левого и правого отвода ВДКБТ с аналогичными расходами вододелителя типа ВКБТ при одинаковом открытии боковых затворов было определено, что пропускная способность модернизированного вододелителя на 6,4–8,1 % выше, чем у его прототипа.

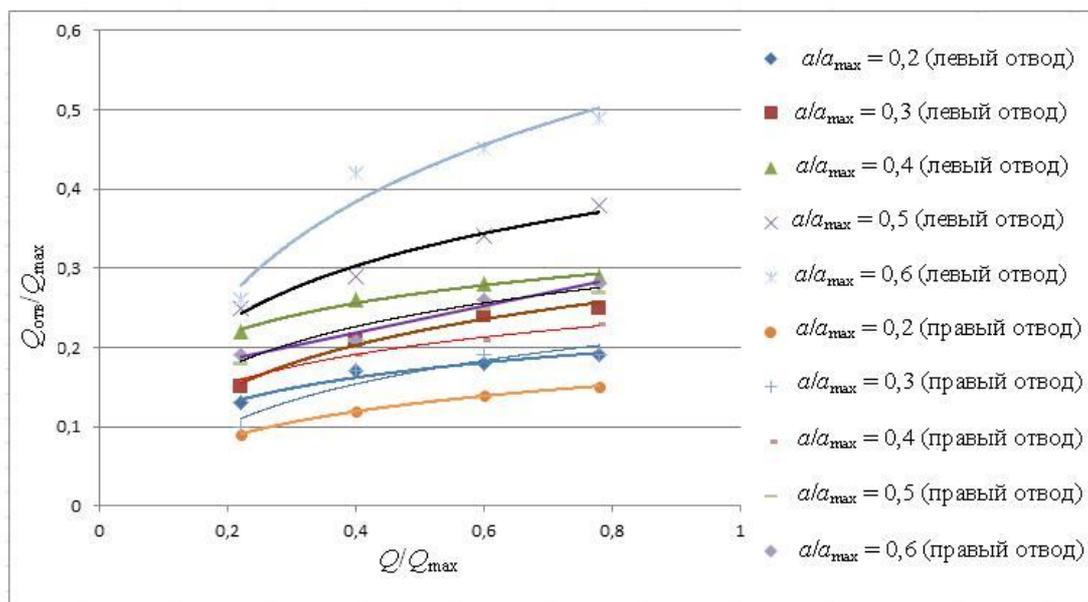


**Рисунок 5 – Зависимости коэффициента водоотбора  $\alpha_v$  от открытия затворов ВДКБТ и расхода ГЛЛ**

В исследованиях проверялось наличие стабилизирующих свойств усовершенствованной конструкции вододелителя. Принимались относительные открытия затворов:  $a/a_{max} = 0,2$  и  $a/a_{max} = 0,6$ . При этом расходы отводов варьировались  $Q_{отв} = 2,8 \div 12,5 \text{ м}^3/\text{с}$ , что в относительных единицах составляет  $Q_{отв}/Q_{max} = 0,132 \div 0,594$ . Полученные результаты зависимости  $Q_{отв}/Q_{max} = f(Q/Q_{max})$  представлены в графической форме (рисунок 6).

Опыты показывают, что стабилизация отводимых расходов имеет место при относительном расходе ГЛЛ перед вододелителем большей величины  $Q/Q_{max} = 0,4$ . Открытия затворов на величину  $a/a_{max} < 0,4$  при  $Q/Q_{max} > 0,4$  приводит к изменению расхода на 5,1–7 % для правого

отвода и в пределах 8,6–12,4 % для левого отвода. Это свидетельствует о том, что при водозаборе небольших расходов воды ВДКБТ может обеспечивать относительное постоянство подачи воды в отводящие каналы при дискретной величине открытия боковых затворов.



**Рисунок 6 – Графики зависимости  $Q_{\text{отв}}/Q_{\text{max}} = f(Q/Q_{\text{max}})$**

По результатам замеров были построены эпюры распределения придонных скоростей потока в заданных створах и на заданных вертикалях при расходе воды в ГЛЛ, равном  $Q=0,63$  л/с, показаны на (рисунок 7). Анализ скоростной структуры потока в ГЛЛ и отводящих лотках показал достаточную равномерность распределения скоростей на входных участках обоих отводящих лотков.

Проведенные исследования ВДКБТ подали идею конструктивного упрощения данного вододелителя. Модернизированная конструкция двухстороннего вододелителя типа ВДКБТ-1 [10] имеет ассиметричную решетчатую плиту над водоприемным колодцем, в конце которой (по направлению потока) приварен горизонтальный отсекающий козырек (рисунок 8). Наличие ассиметричной решетки (решетчатой плиты) позволило выполнить разделительную перегородку симметрично относительно оси потока в канале, что заметно упрощает расчеты и изготовление конструкции.

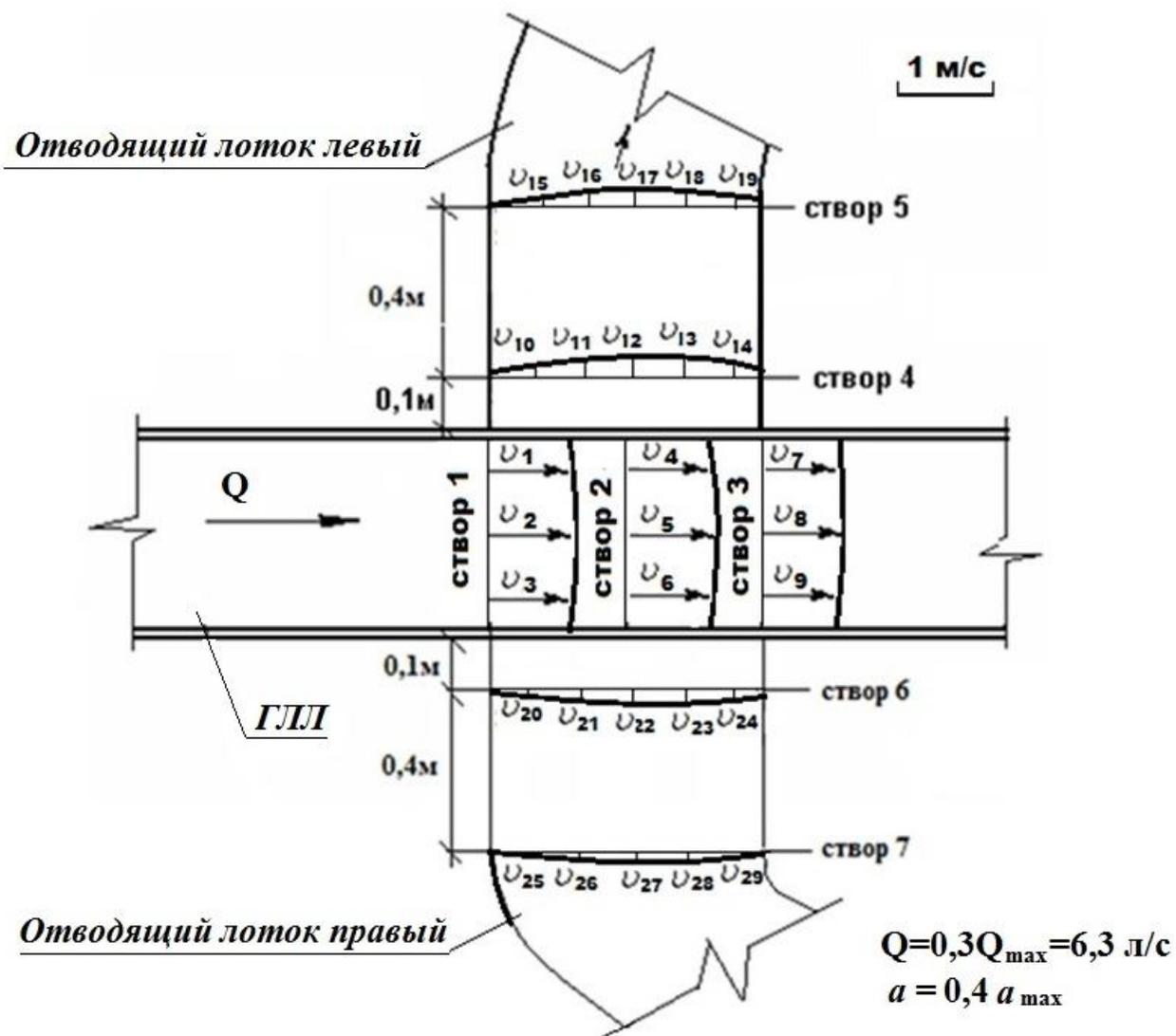
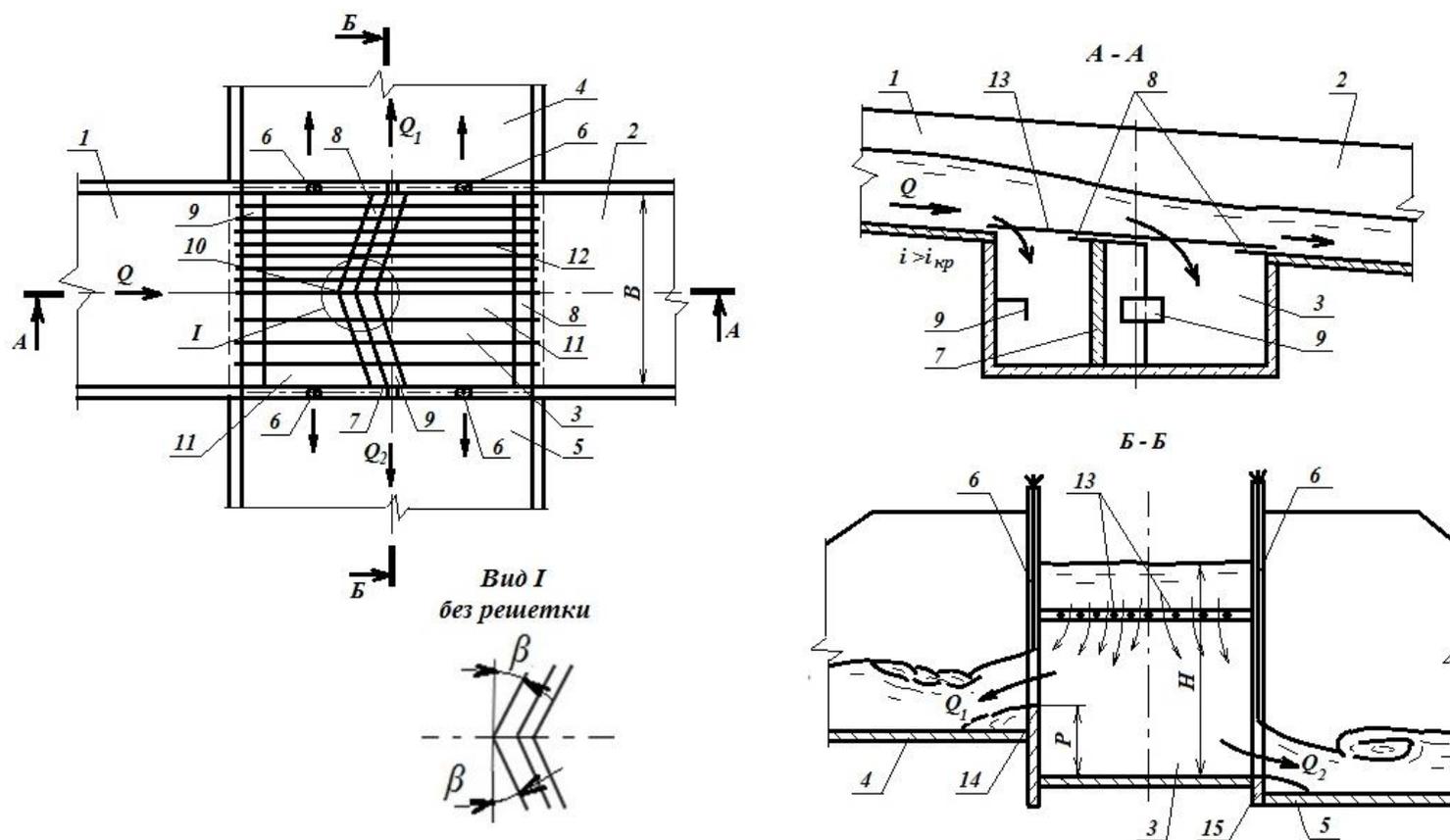


Рисунок 7 – Эпюры распределения местных скоростей потока в ГЛЛ и отводящих лотках модели ВДКБТ



1 – подводящий канал; 2 – транзитный канал; 3 – колодец; 4, 5 – отводящие каналы; 6 – плоские затворы; 7 – разделительная перегородка; 8 – отсекающие козырьки; 9 – Г-образные козырьки; 10 – вершина угла излома перегородки; 11 – камеры; 12 – ассиметричная решетка; 13 – решетчатая плита; 14, 15 – порог

**Рисунок 8 – Схема двухстороннего вододеливателя типа ВДКБТ-1 с ассиметричной решеткой (решетчатой плитой)**

Для проверки работоспособности предложенных вододелителей авторами были разработаны и изготовлены модели вододелителя ВДКБТ-1 с асимметричной решеткой (рисунок 9 а) и асимметричной решетчатой плитой (рисунок 9 б).



а

б

а – с асимметричной решеткой с разным зазором между прутьями решетки;  
б – с асимметричной решетчатой плитой с продольными отверстиями одинаковой ширины, но с разной шириной пластин (прутьев) решетки

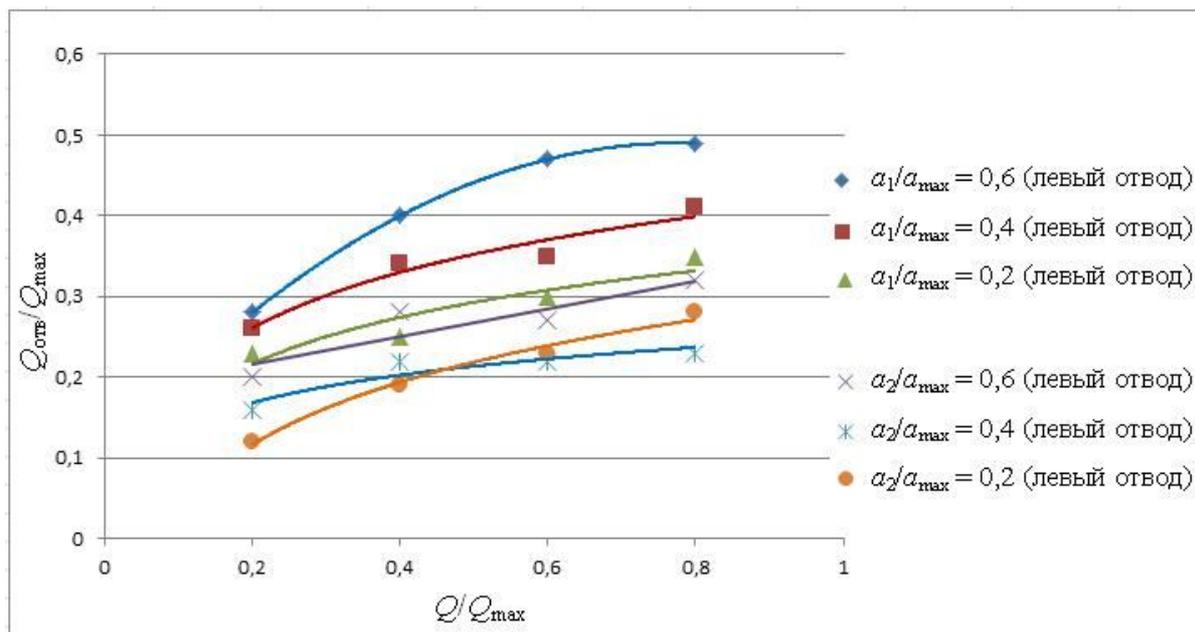
**Рисунок 9 – Модели вододелителя ВДКБТ-1  
(автор фото Г. С. Аджыгулова)**

Лабораторными исследованиями модели ВДКБТ-1 с асимметричной решеткой были установлены зависимости относительных отводимых расходов  $Q_{\text{отв}}/Q_{\text{max}}$  от расхода воды в транзитном канале  $Q/Q_{\text{max}}$  (рисунок 10).

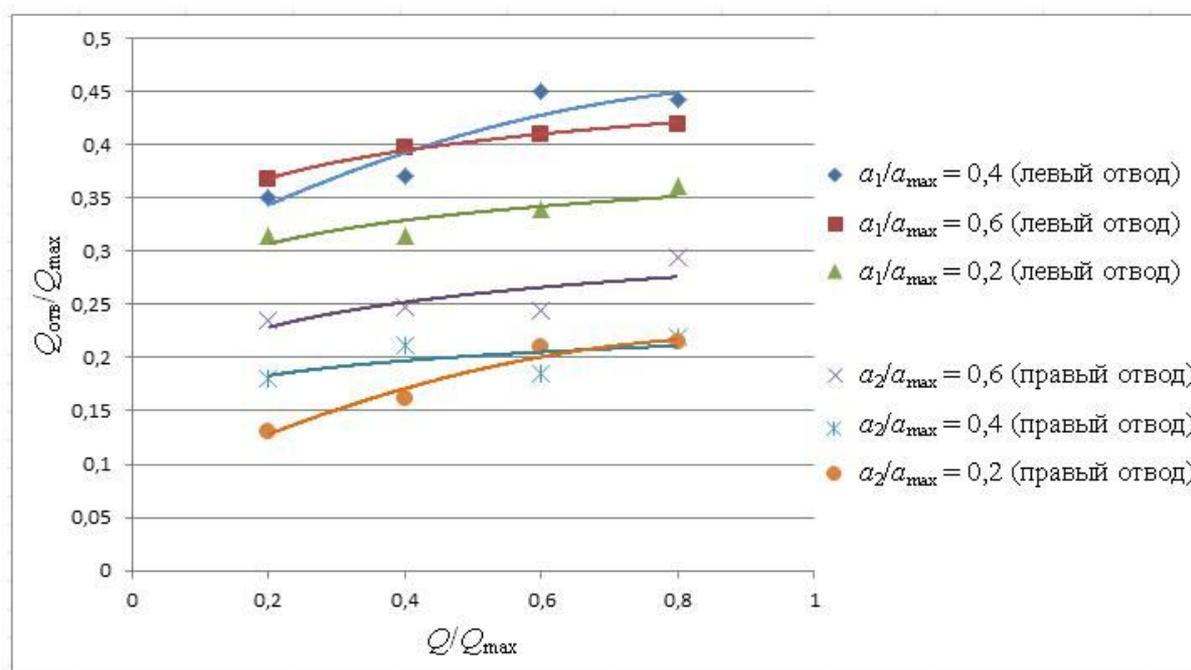
Аналогичные гидравлические исследования были проведены и для модификации ВДКБТ-1 с асимметричной решетчатой плитой. По результатам замеров были построены зависимости  $Q_{\text{отв}}/Q_{\text{max}} = Q/Q_{\text{max}}$  (рисунок 11).

В результате экспериментов установлено, что по своей форме зависимости  $Q_{\text{отв}}/Q_{\text{max}} = Q/Q_{\text{max}}$  нового ВДКБТ-1 с асимметричной решеткой аналогичны подобным зависимостям для ВДКБТ. Прослеживаются также

стабилизирующие свойства данной конструкции при открытиях затворов  $a/a_{\max} < 0,4$  и расходах  $Q/Q_{\max} > 0,45$ .



**Рисунок 10 – Графики зависимости  $Q_{\text{отв}}/Q_{\text{max}} = f(Q/Q_{\text{max}})$  при работе модели вододеливателя с ассиметричной решеткой**



**Рисунок 11 – Графики зависимости  $Q_{\text{отв}}/Q_{\text{max}} = f(Q/Q_{\text{max}})$  для модели вододеливателя ВДКБТ-1 с ассиметричной решетчатой плитой**

При расчете предложенного вододеливателя с ассиметричной решеткой необходимо учитывать пропорцию водodelения между отводами пу-

тем устройства разной ширины просвета между прутьями поверхностной решетки над левой и правой перегородками. При этом использовалась формула Е. А. Замарина вида [7, 11]:

$$Q_{\text{гал}} = K_{\text{зас}} \rho \cdot \mu \cdot L_{\text{реш}} \epsilon_{\text{реш}} \sqrt{2g h_{\text{ср}}}, \quad (3)$$

где  $K_{\text{зас}}$  – коэффициент засоренности решетки, для предварительных расчетов,  $K_{\text{зас}} = 0,8$ ;

$\rho$  – коэффициент просветов решетки,  $\rho = s/(s + d)$ ;

$s$  – зазор между стержнями решетки диаметром  $d$ , м;

$\mu$  – коэффициент расхода решетчатой плиты, определяется экспериментально;

$L_{\text{реш}}$  – длина решетки, м;

$\epsilon_{\text{реш}}$  – ширина просвета между прутьями поверхностной решетки, м;

$h_{\text{ср}}$  – средняя глубина на решетке галереи, м;

$$h_{\text{ср}} = 0,405 \cdot (h_1 + h_2);$$

$h_1$  и  $h_2$  – глубина переливающегося потока в начале и в конце решетки, м.

Размеры водоприемной траншеи и боковых затворов ВДКБТ-1 определяются таким же образом, как для ВДКБТ, то есть при неподтопленном истечении через ассиметричную решетку и из-под боковых затворов.

### **Выводы**

1 В результате лабораторных исследований установлено, что пропускная способность усовершенствованного ВДКБТ на 6,4–8,1 % больше, чем его прототипа – двухстороннего вододелителя ВКБТ за счет несимметричного расположения угла излома перегородки. Коэффициент расхода новой конструкции ВДКБТ имеет величину  $\mu = 0,335 \div 0,45$ , среднее значение можно принять равным  $\mu_{\text{ср}} = 0,4$ .

2 Подтверждена работоспособность ВДКБТ в различных гидравли-

ческих режимах, а также доказано, что вододелитель обладает свойствами стабилизатора расхода воды при относительных открытиях затворов  $a/a_{\max} < 0,4$  и расходах воды в канале старшего порядка  $Q/Q_{\max} > 0,4$ .

3 Достаточная равномерность распределения скоростей на выходе из-под боковых затворов ВДКБТ обеспечивает отсутствие сбойности потока в отводящих каналах и размыва их грунтового русла.

4 Методика гидравлического расчета модернизированного ВДКБТ-1 с ассиметричной решеткой частично включает элементы расчета ВДКБТ. При этом новые элементы вододелителя должны рассчитываться с учетом их конструктивных особенностей.

### Список использованных источников

1 Лавров, Н. П. Совершенствование технологического обоснования способа и схемы управления водораспределением на каналах-быстротоках с бурным течением / Н. П. Лавров, Т. А. Исабеков // Вестник Кыргызско-Российского Славянского университета. – Бишкек, 2012. – Т. 12. – № 6. – С. 24–29.

2 Лавров, Н. П. Экспериментальные исследования усовершенствованной конструкции вододелителя для каналов со сверхбурным течением / Н. П. Лавров, О. В. Атаманова, Г. С. Аджыгулова, К. К. Бейшекеев // Вестник Кыргызско-Российского славянского университета / КРСУ, 2008. – Т. 8. – № 9. – С. 91–95.

3 Атаманова, О. В. Обоснование параметров козырька-отсекателя вододелителя для каналов с бурным течением / О. В. Атаманова, Т. А. Исабеков // Вестник Кыргызско-Российского Славянского университета. – Бишкек, 2005. – Т. 5. – № 7. – С. 132–135.

4 Пат. № 1514 КР МКИ Е 02 В 13/00. Вододелитель двусторонний для каналов с бурным течением / Н. П. Лавров, О. В. Атаманова, Т. А. Исабеков; заявитель и патентообладатель Кыргызско-Российский Славянский университет. – № 20110115.1; заявл. 22.11.11; опубл. 31.12.12, Бюл. № 12, КР, 2012. – 4 с.: ил.

5 Боровков, В. С. Локальное подобие течения и распределение скоростей в турбулентных потоках / В. С. Боровков, В. Н. Байков, М. А. Волинов, Д. В. Писарев // Инженерно-строительный журнал. – 2012. – № 6(32). – С. 12–19.

6 Chaudhry, M. H. Open-Channel Flow. 2nd edition / M. H. Chaudhry. – Springer, 2007. – 528 p.

7 Логинов, Г. И. Гидравлические процессы при водозаборе из малых горных рек / Г. И. Логинов. – Бишкек: Изд-во КРСУ, 2014. – 196 с.

8 Zenz, G. The great significance of dam safety in Austria / G. Zenz, P. Oberhuber, H. Czerny // Geomechanics and tunneling, 2012. – Vol. 5. – Issue 5. – P. 631–637.

9 Mark, A. Hydraulic Design Manual – Open Channel Hydraulics and Sediment Transport [Электронный ресурс] / A. Mark, P. E. Marek // Santa Clara Valley Water District, 2009. – Режим доступа: <http://valleywater.org/Services/HydraulicDesignManual.aspx>.

10 Пат. на полезную модель № 190 КР МКИ Е 02 В 13/00. Двухсторонний вододелитель для каналов с бурным течением / Н. П. Лавров, Т. А. Исабеков, Г. С. Аджыгулова, О. В. Атаманова; заявитель и патентообладатель Кыргызско-Российский Славян-

ский университет. – № 20150008.2; заявл. 25.06.14; опубл. 31.07.15, Бюл. № 7, КР, 2015. – 7 с.: ил.

11 Лавров, Н. П. Новая конструкция вододеливателя двухстороннего для каналов-быстротоков горно-предгорной зоны / Н. П. Лавров, О. В. Атаманова, Г. С. Аджыгулова, Т. А. Исабеков // Вестник РГАТУ имени П. А. Костычева / ФГБОУ ВПО «РГАТУ им. П. А. Костычева, 2015. – № 3(27). – С. 72–75.

## References

1 Lavrov N.P., Isabekov T.A. 2012. *Sovershenstvovanie tekhnologicheskogo obosnovaniya sposoba i skhemy upravleniya vodoraspredeleniem na kanalakh-bystratokakh s burnym techeniem* [Improvement of technological justification of method and scheme of water distribution at chutes canals with turbulent flow]. *Vestnik Kyrgyzsko-Rossiiskogo Slavyanskogo Universiteta* [Bullet. of the Kyrgyz-Russian Slavic University]. Bishkek, vol. 12, no. 6, pp. 24-29. (In Russian).

2 Lavrov N.P., Atamanova O.V., Adzhygulova G.S., Beishekeev K.K. 2008. *Ekspperimentalnye issledovaniya usovershenstvovannoy konstruktsii vododelitelya dlya kanalov so sverkhburnym techeniem* [Experimental studies of improved design for the water divider for canals with overturbulent flow]. *Vestnik Kyrgyzsko-Rossiiskogo Slavyanskogo Universiteta* [Bullet. of the Kyrgyz-Russian Slavic University]. Bishkek, vol. 8, no. 9, pp. 91-95. (In Russian).

3 Atamanova O.V., Isabekov T.A. 2005. *Obosnovanie parametrov kozyrka-otsekatelya vododelitelya dlya kanalov s burnym techeniem* [Background of parameters of water divider cover shutoff for canals with turbulent flow]. *Vestnik Kyrgyzsko-Rossiiskogo Slavyanskogo Universiteta* [Bullet. of the Kyrgyz-Russian Slavic University]. Bishkek, vol. 5, no. 7, pp. 132-135. (In Russian).

4 Lavrov N.P., Atamanova O.V., Isabekov T.A. 2012. *Vododelitel dvustoronniy dlya kanalov s burnym techeniem* [Bilateral water divider for canals with turbulent flow]. Patent RF, no. 1514 KR E 02 MKI E 13/00. (In Russian).

5 Borovkov V.S., Baikov V.S., Volynov M.A., Pisarev D.V. 2012. *Lokalnoe podobie techeniya i raspredelenie skorostey v turbulentnykh potokakh* [Local similarity of flow and velocity distribution in turbulent flows]. *Inzhenerno-stroitelnyi zhurnal* [Civil Engineering Journal]. no. 6(32), pp. 12-19. (In Russian).

6 Chaudhry M. H. 2007. *Open-Channel Flow*. 2<sup>nd</sup> edition. Springer Publ., 528 p. (In English).

7 Loginov G.I. 2014. *Gidravlicheskie protsessy pri vodozabore iz malykh gornykh rek* [Hydraulic Processes at the Water Intake from Small Mountain Rivers]. Bishkek: KRSU Publ., 196 p. (In Russian).

8 Zenz G., Obernhuber P., Czerny H. 2012. The great significance of dam safety in Austria. *Geomechanics and tunneling*, vol. 5, is. 5, pp. 631-637. (In English).

9 Mark A., Marek P. E. 2009. *Hydraulic Design Manual – Open Channel Hydraulics and Sediment Transport* // Santa Clara Valley Water District (assess: <http://valleywater.org/Services/HydraulicDesignManual.aspx>).

10 Lavrov N.P., Issabekov T.A., Adzhygulova G.S., Atamanova O.V. 2015. *Dvystoronniy vododelitel dlya kanalov s burnym techeniem* [Reversible water divider for canals with turbulent flow]. Pat. KR, no. 190 KP MKI E 02 B 13/00. (In Russian).

11 Lavrov N.P., Atamanova O.V., Adzhygulova G.S., Isabekov T.A. 2015. *Novaya konstruktsiya vododelitelya dvustoronnego dlya kanalov bystratokov gorno-predgornoy zony* [New design of water separator of bilateral chutes canals, mountain-submontane zone]. *Vestnik RGAU imeni P.A. Kostycheva* [Bull. of RGAU named Kostychev], no. 3(27), pp. 72-75. (In Russian).

---

**Лавров Николай Петрович**

Ученая степень: доктор технических наук

Ученое звание: профессор

Должность: профессор

Место работы: федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»

Адрес организации: ул. Политехническая, 29, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация, 195251

E-mail: n.lavrov@ice.spbstu.ru

**Lavrov Nikolai Petrovich**

Degree: Doctor of Technical Sciences

Title: Professor

Position: Professor

Affiliation: Peter the Great Saint Petersburg Politechnic University

Affiliation address: st. Polytechnicheskaya, 29, St. Petersburg, Russian Federation, 195251

E-mail: n.lavrov@ice.spbstu.ru

**Аджыгулова Гульмира Сагыналиевна**

Ученая степень: кандидат технических наук

Ученое звание: доцент

Должность: докторант

Место работы: государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования Кыргызско-Российский Славянский университет

Адрес организации: ул. Киевская, 44, г. Бишкек, Кыргызская Республика, 720000

E-mail: Gulmira\_999@mail.ru

**Adjygulova Gulmira Sagynaliyevna**

Degree: Candidate of Technical Sciences

Title: Associate Professor

Position: Doctoral Candidate

Affiliation: State Educational Institution of Higher Professional Education Kyrgyz-Russian Slavic University

Affiliation address: st. Kiev, 44, Bishkek, Kyrgyz Republik, 720000

E-mail: Gulmira\_999@mail.ru

**Атаманова Ольга Викторовна**

Ученая степень: доктор технических наук

Ученое звание: профессор

Должность: профессор

Место работы: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю. А.»

Адрес организации: ул. Политехническая, 77, г. Саратов, Саратовская область, Российская Федерация, 410054

E-mail: O\_V\_Atamanova@mail.ru

**Atamanova Olga Victorovna**

Degree: Doctor of Technical Sciences

Title: Professor

Position: Professor

Affiliation: Federal State Budget Educational Institution of Higher Education “Yuri Gagarin State Technical University of Saratov”

Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации, № 2(22), 2016 г., [192–211]

Affiliation address: st. Polytechnic, 77, Saratov, Saratov region, Russian Federation, 410054

E-mail: O\_V\_Atamanova@mail.ru

**Исабеков Тилек Асанакунович**

Ученая степень: доктор технических наук

Ученое звание: доцент

Должность: первый заместитель генерального директора

Место работы: департамент водного хозяйства и мелиорации Кыргызской Республики

Адрес организации: ул. Токтоналиева, 4а, г. Бишкек, Кыргызская Республика, 720055

E-mail: Tilek66@gmail.com

**Isabekov Tilek Asanakunovich**

Degree: Doctor of Technical Sciences

Title: Associate Professor

Position: Vice-Director

Affiliation: Water Management and Melioration Department of Kyrgyz Republik

Affiliation address: st. Toktonaliev, 4a, Bishkek, Kyrgyz Republik, 720055

E-mail: Tilek66@gmail.com