



ОЦЕНКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ОСУЩЕСТВЛЯЮЩИХСЯ В ПРОЦЕССЕ ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ГАШЕНИЕ ЭНЕРГИИ БОКОВОМ ВОДОЗАБОРЕ

Базаров Дилшод Раимович

Д.т.н., профессор, Национальный исследовательский университет
«Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации
сельского хозяйства»

Норкулов Бехзод Эшмирзаевич

PhD., доцент, Национальный исследовательский университет
«Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации
сельского хозяйства»

Курбанова Умида Уткировна

Старший преподаватель, Самаркандский государственный
архитектурно-строительный университет имени Мирзо Улугбека

Вохидов Ойбек Фарходжон угли

Ассистент, Национальный исследовательский университет
«Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации
сельского хозяйства»

Назарова Шохида Мурадбой кизи

Ассистент, Национальный исследовательский университет
«Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации
сельского хозяйства»

<https://www.doi.org/10.5281/zenodo.10141361>

ARTICLE INFO

Received: 08th November 2023

Accepted: 15th November 2023

Online: 16th November 2023

KEY WORDS

Гидротехническое
сооружение, боковой
водозабор, водосбросные
сооружения, нижний бьеф,
расход воды, уровень воды.

ABSTRACT

В работе приведены результаты экспериментальных исследований осуществляющихся в процессе проведения исследований гашение энергии боковым водозабором. В статье усовершенствован метод повышения эффективности гашения энергии потока при боковом водозаборе и новая методика расчета. Предложенный вариант расчета по методике, составленной с рядом допущений, продемонстрировал возможность использования такой конструкции колодца и гасителя с высокой степенью надежности работы. А также результаты, направленные на гашение энергии водного потока боковых водозаборных сооружениях и разработаны рекомендации по методике расчетов водобойного колодца с боковым отводом потока.

Введение. Строительство средней низконапорных гидроузлов осложняется трудностями размещения энергогасящих устройств, обусловленными сложностью горного рельефа местности. Гашение энергии потока воды потока при боковом водозаборе, предотвращение явления руслового процесса на гидротехнических



сооружение требует внедрения на практике эффективных гасителей энергии. В связи с этим, использование эффективных средств и устройств, снижающих избыточную кинетическую энергию водного потока средне и низконапорных гидроузлах имеет особое значение. В настоящее время недостаточно изучены проблемы применения различных комбинированных вариантов гашения энергии потока воды в боковых водозаборных сооружениях, решения вопросов разработки экспериментальной модели и применения их на практике для выбора наиболее совершенной конструкции[1-2]. В связи с этим возникает необходимость изучения и разработки в инженерной практике гидравлических процессов с применением конструктивных решений различных типов энергогасителей в самом сооружении с учетом того, что в водосбросных сооружениях энергия потока воды гасится на небольших расстояниях, предотвращая явления опрокидывания потока воды[3-5].

Экспериментальные исследования гидротехнических сооружений на моделях позволяют прогнозировать поведение будущего сооружения в натуре и при его проектировании найти оптимальные решения, отвечающие надежности и экономичности.

Метод исследования. В процессе исследований использованы методы экспериментальных и научных исследований. Разработка физических моделей на основе закономерностей, принятых в гидравлике и гидромеханике, а также усовершенствовать методов расчёта конструкции колодца и гасителя с высокой степенью надежности работы является методом исследования настоящей работы.

Результаты и обсуждения: Для того чтобы по данным лабораторных исследований прогнозировать с достаточной достоверностью соответствующие характеристики работы сооружения в натуре, надо выполнять законы подобия. Подобие гидравлических явлений - это один из разделов теории динамического подобия, в котором рассматривается движение жидкости под действием массовых или поверхностных сил при обязательном соблюдении геометрического подобия.

Для выполнения законов подобия, на основе которых проектируют модели и делают пересчет в натуре результатов опытов, необходимо, чтобы подобные явления описывались аналогичными дифференциальными уравнениями того же типа. Вместе с этим, должны быть соблюдены подобные условия однозначности, в состав которых входят геометрические размеры сооружения, граничные и начальные условия, физические свойства потока природы и модели.

Для соблюдения подобия сил в натуре и на модели необходимо определить масштаб сил

$$m_F = \frac{F_H}{F_M} = \frac{m_H a_H}{m_M a_M} = \frac{\rho_H W_H L_H T_H^2}{\rho_M W_M L_M T_M^2} = \frac{\rho_H L_H^2 V_H^2}{\rho_M L_M^2 V_M^2} \quad (1)$$

где: F_H и F_M - сходственные силы в натуре и на модели; m_H и m_M - сходственные массы; a_H и a_M - ускорения в натуре и модели; ρ - плотность жидкости, W - ее объем; L - характерная длина; T - время; индексы - "н" и "м" - означают - "натура" и "модель".

В соответствии с формулой (1) имеем

$$\frac{V_H^2}{g_H L_H} = \frac{V_M^2}{g_M L_M} = Fr = idem \quad (2)$$

Таким образом, процессы, происходящие в сооружениях в этих условиях, определяются критерием Фруда Fr , представляющим собой отношение кинетической энергии потока в данном сечении к половине потенциальной энергии массы жидкости.

Для гидравлического моделирования нижних бьефов водовыпускных сооружений, в качестве основных сил тяжести приняты гравитационные силы, то есть сила тяжести. Это состояние характеризуется числом Фруда. Для достижения сходства чисел Фруда должно быть:

$$Fr_n \text{ и } Fr_m = idem \quad (3)$$

$$Fr_n = v^2 / gh_{cp}$$

(4)

Подобие чисел Рейнольдса и его закономерностей с экспериментальными исследованиями по изучению динамики потока воды в районе сопряжения бьефов водосбросных сооружений записываются следующим образом:

$$Re_n \text{ и } Re_m = idem$$

$$Re_m > Re_{гран}$$

При проведении экспериментальных исследований в учебно-научной лаборатории кафедры «Гидравлика и гидроинформатика» Национальном исследовательском университете Ташкентского института инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства было построено экспериментальное устройство.

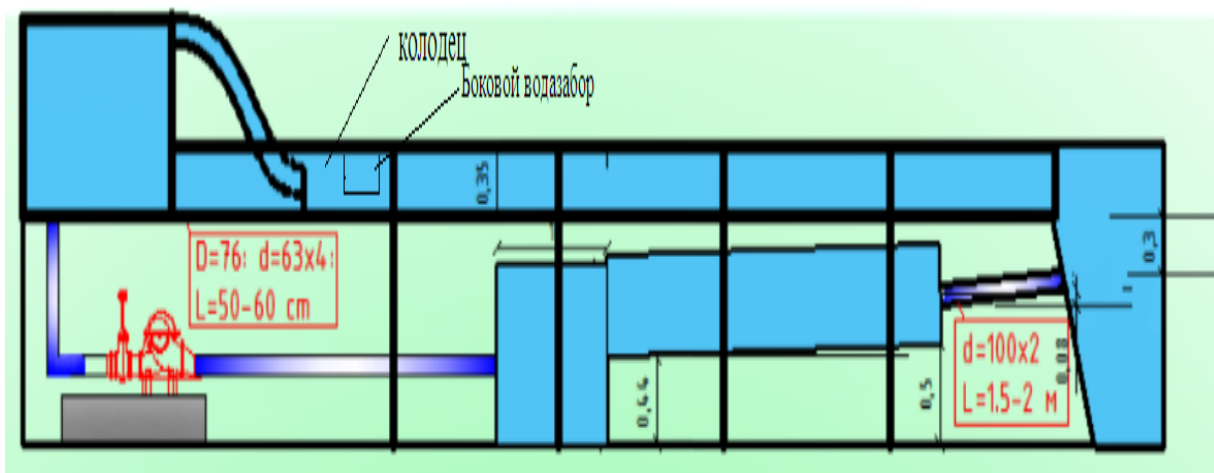


Рис. 1. Схема конструкции установки, на которой проводятся экспериментальные исследования

В верхней части гидротехнического сооружения для быстрой стабилизации уровня воды служит сооружение свободного сброса воды. Водоотводное сооружение также моделируется в виде замкнутого акведука, труба которого установлена в стационарном виде. Сточные воды для определенной серии опытов сбрасываются в основной бак через кустовой ороситель. В водной передаче реализована червячная передача, которая обеспечивает уровень воды в верхней части гидротехнического сооружения с точностью до 0,01 мм.



Рис. 2. Модель водобойного колодца с прямоосным отводом потока



Рис. 3. Модель водобойного колодца с боковым отводом потока

Объем потребления приблизительно регулируется кранами на подающих насосах. Таким образом, масштаб моделирования принимался равным 1:60, а принятые выше критерии подобия были достигнуты для реального объекта и модельного устройства.

При установке и изготовлении экспериментального устройства была достигнута точность $\pm 0,1$ мм. В строительных работах использовалась штанга с точностью до 0,05 мм.

Отметки высоты делаются с помощью стального линейного уровня с миллиметровой шкалой и отсчетом до 0,1 мм. получено в точности. Размеры донной чаши и движущегося в ней потока воды при переходе от модели к реальному объекту масштабные коэффициенты принимались на основании приведенной таблицы следующим образом:

1. При пересчете скорости: $M_v = M_L^{1/2} = \sqrt{60} = 7,75$;
2. Чтобы пересчитать время: $M_T = M_L^{1/2} = \sqrt{60} = 7,75$;
3. Для пересчета расход воды: $M_Q = (M_L)^{5/2} = \sqrt{(60)^5} = 27885,5 \frac{l}{сек}$;
4. То есть расход 1 л/сек в экспериментальной установке соответствует расходу 27 886 м³/сек в реальном объекте. Следовательно, чтобы представить расход 250 м³/сек на входе в водоотведение, в экспериментальном устройстве должен быть расход 8,9 л/сек.

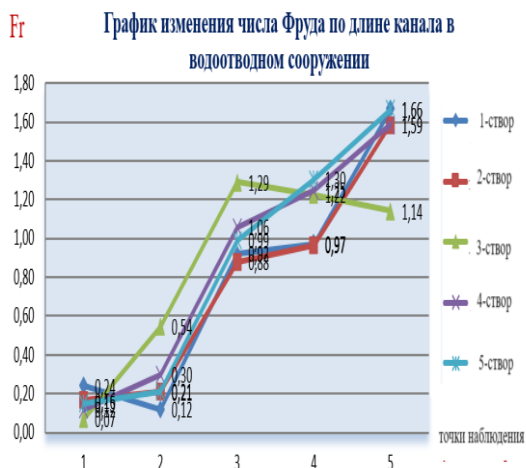
Для Напора

$$M_p = M_L = 60$$

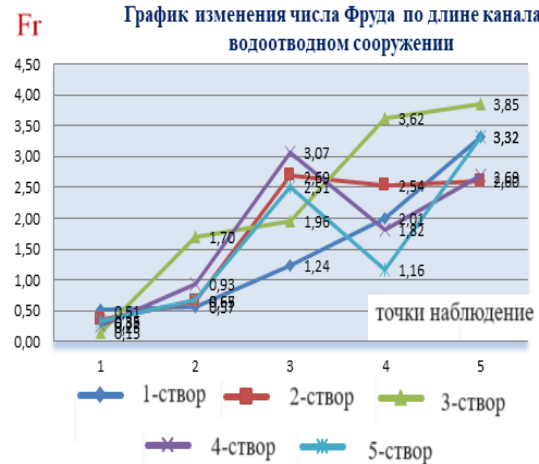
Гидравлические параметры входного канала съемной насосной станции в модели считаются многопараметрическими величинами, которые напрямую зависят от точности измерительных работ и измерительных приборов.

В первом варианте определялись число Фруда и кинетические параметры возникновения гидравлических скачков в случае отсутствия энергогасителей в водосбросном сооружении в зависимости от скорости движения потока по дну канала.

В первом варианте определялись число Фруда и кинетические параметры возникновения гидравлических скачков в случае отсутствия энергогасителей в водосбросном сооружении в зависимости от скорости движения потока по дну канала



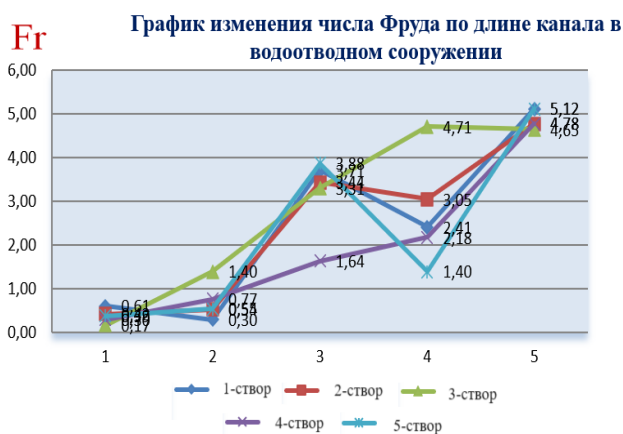
а) $Q_m = 3,9$ л/с



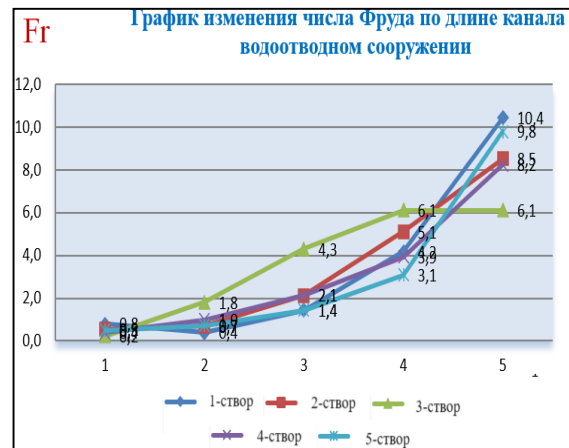
б) $Q_m = 10,07$ л/с

Рис 4. График изменения числа Фруда по длине канала в водовыпускном сооружении

Расход воды в водовыпускном сооружении при $Q_m = 3,9$ л/с гасители энергии в напорном сечении отсутствуют. Значение первого определенного числа Фруда равно $Fr = 0,07 \div 1,66$, а при его нахождении в диапазоне $Fr = 1 \div 1,7$ происходило явление волнообразного гидравлического скачка (Рис 4, а). Расход воды $Q_m = 10,07$ л/с, энергогасители в водовыпускной части отсутствуют. Значение третьего определяемого числа Фруда равно $Fr = 0,09 \div 2,27$, и при его нахождении в диапазоне $Fr = 1,7 \div 2,5$ происходит медленный гидравлический скачок. При гидравлическом прыжке на свободной поверхности в поле появляются небольшие завихрения (Рис 4, б).



а) $Q_m = 14,39$ л/с

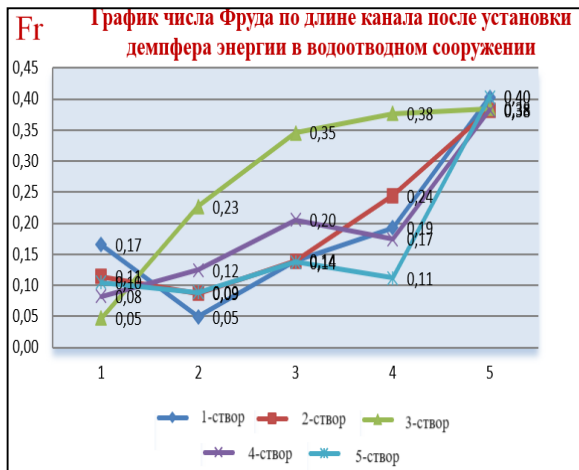


б) $Q_m = 18,6$ л/с

Рис 3. График изменения числа Фруда по длине канала в водовыпускном сооружении

$Q_m = 14,39$ л/с, энергогасители в водовыпускной части отсутствуют. Значение шестого определяемого числа Фруда равно $Fr = 0,3 \div 5,12$, а постоянный гидравлический скачок возникал при значениях в диапазоне $Fr = 4,5 \div 9$ (Рис 5, а). Расход воды движущейся в водосбросном сооружении струи составляет $Q_m = 18,6$ л/с при отсутствии энергогасителей в водосбросной части. Первое значение определяемого числа Фруда равно $Fr = 0,5 \div 10,4$, а при $Fr = 9$ больше происходит полностью реализованный гидравлический скачок (Рис 5, б).

На втором варианте по результатам наших экспериментальных исследований установлено, что при вытекании из водосброса с большой скоростью поток в водосбросе в основном соединяется с потоком в нижней части в режиме движения у дна русла. Было замечено, что число Фруда увеличивается с увеличением потребления воды. Мы проводили исследования с различными гасителями энергии потока, были установлены прямоугольные, треугольные, круглые и в форме полумесяца энергогасители, и результаты сравнивались.



а) $Q_m = 3,9$ л/с



б) $Q_m = 10,07$ л/с

Рис 8. График изменения числа Фруда по длине канала в водовыпускном сооружении.

Расход воды потока в водовыпускном сооружении $Q_m = 3,9$ л/с, ситуация после установки гасителей энергий в водосбросной части. Значение первого определенного числа Фруда равнялось $Fr = 0,05 \div 0,4$ (Рис 6, а). Расход воды струей, движущейся в водовыпускном сооружении, $Q_m = 10,07$ л/с, при наличии в водовыпускной части гасителей энергии. Значение третьего определяемого числа Фруда равнялось $Fr = 0,17 \div 0,98$ (Рис 6, б).

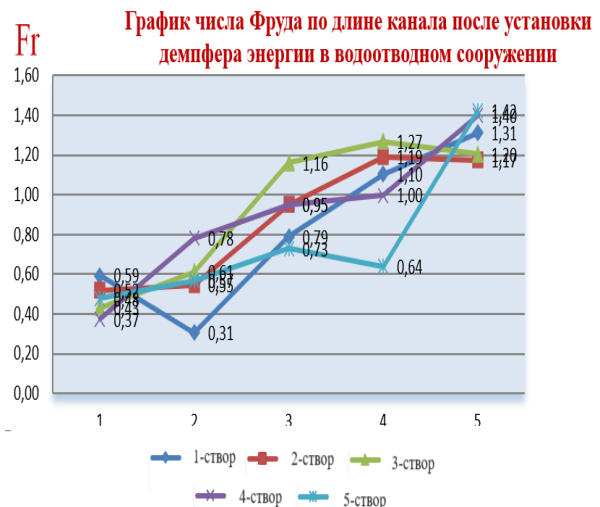
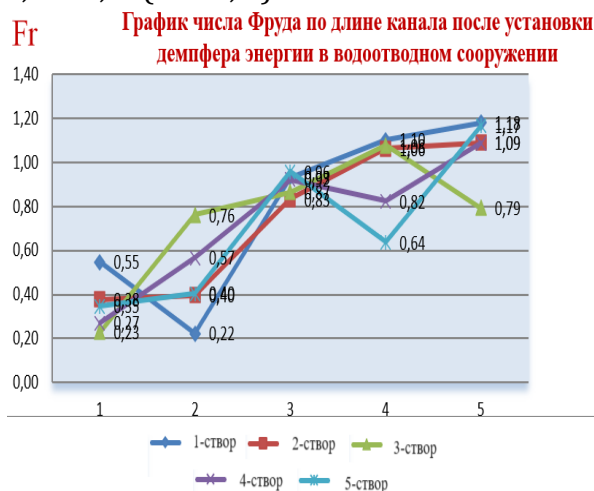


Рис 7. График изменения числа Фруда по длине канала в водовыпускном сооружении



Расход воды в водовыпускном сооружении составляет $Q_m = 14,39$ л/с при наличии в водосбросной части гасителей энергии. Значение шестого определяемого числа Фруда было определено равным $Fr = 0,27 \div 1,17$ (Рис 7,а) Случай наличия гасителей энергии потока в водовыпускном створе при расходе воды потока, движущегося в водовыпускном сооружении, $Q_m = 18,16$ л/с. Установлено, что значение девятого определяемого числа Фруда равно $Fr = 0,38 \div 1,42$ (Рис 7,б).

На третьем варианте мы провели эксперимент по гашению энергии в водобойном колодце. Водобойного колодца выполнена из оцинкованного железа толщиной 0,55 мм с цинковым слоем толщиной покрытия 100 мкм, нанесенным посредством окунания в ванну. Расход на модели определялся по формуле расхода водослива Чиполетти $Q = 4.43 \cdot H^5 / 2$.

Относительная предельная ошибка при определении глубины в диапазоне от 13 см до 22,80 см будет:

$$\delta_h = \frac{\Delta h}{h} \cdot 100\% = \frac{10.3 \div 15.3}{130 \div 280} 100 = (7.9 \dots 5.5)\%$$

Среднеквадратичное отклонение по правилу "трех сигм" составляет:

$$\delta_x = \frac{\delta_h}{3} = \frac{7.9 \div 5.5}{3} = (2.6 \dots 1.8)\%$$

В процессе экспериментов измерялись осредненные местные скорости потока с помощью трубки Пито диаметром 3,0 мм. Ранее трубка Пито была тарирована в коноидальном диффузоре. Сопоставляя точность измерения расхода по водосливу $\delta_Q = 1\%$ с точностью вычисления расхода по замерам скорости видно, что последняя полностью определяется точностью измерения скорости потока. Постановка эксперимента заключается в решении одной из двух задач. Первую задачу называют экспериментальной. Она заключается в отыскании условий процесса, параметра. Вторую задачу называют интерполяционной. Она состоит в построении интерполяционной формулы для предсказаний значений изучаемого параметра, зависящего от ряда факторов.

В третьем варианте, изучаемом водобойном колодце поток, поступающий из туннеля в водобойный колодец в виде донной затопленной струи, из-за более быстрого торможения по бокам и в верхней части расщеплялся на систему самостоятельных струй.

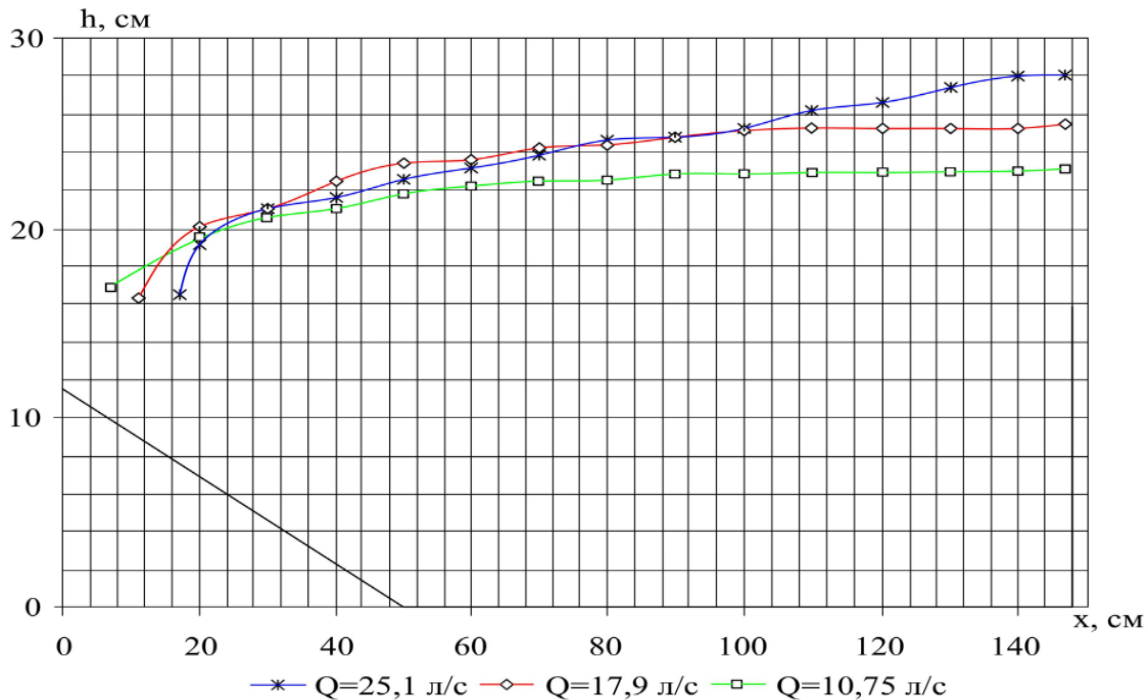


Рис.8 Кривые свободной поверхности водобойного колодца с прямоосным отводом потока

Наши исследования по изучению движения потока через боковой вырез проводились при горизонтальном дне водобойного колодца. Изучение характера движения потока в водобойном колодце проводилось путем замеров глубин воды в продольном и поперечном сечениях водобойного колодца (у правого и левого бортов колодца по ходу течения и по оси колодца).

Эксперименты показали, что картина движения потока в водобойном колодце с выпуском воды через боковую стенку полностью соответствует классическому водобойному колодцу.

Гашение энергии, входящего в колодец потока, начинается уже в зоне примыкания водосбросного туннеля к колодцу, где формируется валец с горизонтальной ось вращения, аналогичный вальцу в традиционном водобойном колодце с прямоосным отводом потока[4,6].

Экспериментальными исследованиями установлено, что в пределах выреза в боковой стене в поперечном сечении колодца глубина свободной поверхности вдоль правого борта, непосредственно в зоне выреза, минимальна, а у левого борта имеет максимальные значения. У торцевой стенки колодца формировался бурун, который образовывался восходящей транзитной струей прыжка, что определяло повышение уровня воды до величины, равной энергии потока

$$E=h'' + \frac{av_t^2}{2g} \tag{5}$$

где V_t - скорость транзитной струи.

У верхней части бокового водослива в поперечном сечении у торцевой стенки в водобойном колодце происходит повышение уровня воды, поверхность воды на этом участке образует кривую спада.



При подходе к боковому водосливу в поперечном сечении водобойного колодца было резкое понижение горизонта воды, что вызывало перераспределение струй в колодце.

Вследствие понижения уровня часть потока устремляется к гребню бокового водослива, в результате чего происходит разделение потока в водобойном колодце на два направления. Часть потока переливается через гребень бокового водослива, другая продолжает двигаться и достигает максимальной глубины у торцевой стены.

Результаты исследований позволили определить геометрические параметры гидравлического прыжка ($h_2, l_{пр}$) и сопоставить с результатами исследований традиционного водобойного колодца с прямоосным отводом потока. Прыжок при конструкции с боковым водозабором обладает более крутым повышением уровня свободной поверхности в начале прыжка. В пределах от начала прыжка до начала водослива уровень воды в разработанной конструкции зависит от длины выреза в боковой стене [99;с-255,]. При малой длине выреза $B/l_{пр} \leq 0,5$ энергии части потока в пределах высоты гидравлического прыжка, расположенного выше выреза, не хватает для выхода потока. В связи с этим глубины в водобойном колодце повышаются до тех пор, пока энергия потока не обеспечит выход воды в русло через прорезь в боковой стенке как через водослив с широким порогом. В этом диапазоне длины выреза глубина в водобойном колодце выше по сравнению с глубиной в прямоосном колодце. При относительной длине выреза $0,5 \leq B/l_{пр} \leq 0,6$ в пределах водослива средняя глубина в колодце совпадает со средней глубиной для обычного непрямоугольного колодца, и при $B/l_{пр} \geq 0,6$ становится меньше на 5-10%.

Эксперименты показали, что глубина воды по длине гребня бокового водозабора распределяется неравномерно. Общая форма кривой свободной поверхности потока на гребне бокового выреза при разных расходах через него соответствует положению гидравлического прыжка в колодце. Кривая свободной поверхности воды по длине гребня и бокового водослива с увеличением расхода становится круче, т.е. разница в отметках поверхности воды в начале и в конце гребня увеличивается.

В конце водобойного колодца с боковым выпуском воды глубина потока формируется не только величиной второй сопряженной глубины и напором необходимым для выпуска потока, но и восстановлением энергии транзитной части потока. На графике рисунке 9 показаны максимальные глубины в водобойном колодце в долях от второй сопряженной глубины h'' для прямоосного колодца в зависимости от относительной длины выреза $b/l_{пр}$.

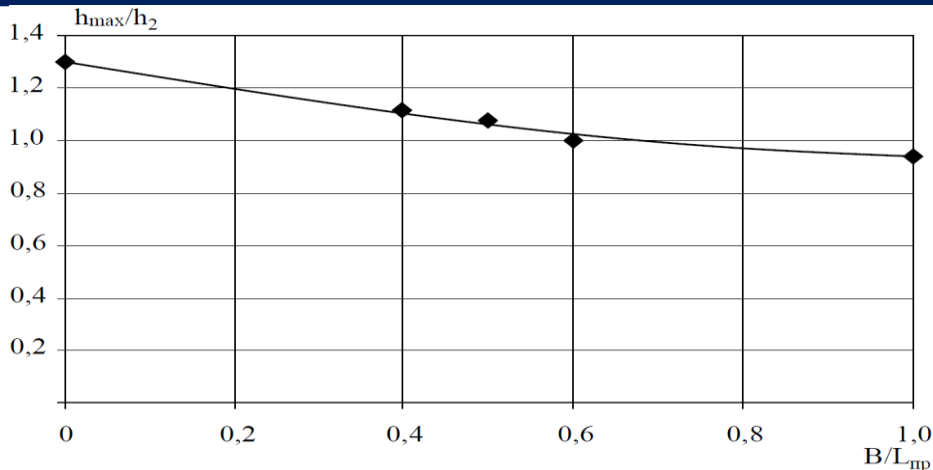


Рис. 9 График изменения максимальных глубин в водобойном колодце в долях от второй сопряженной глубины h'' для колодца.

Выводы и рекомендации. В результате проведенного анализа существующих методов расчета боковых водосливов и экспериментальных исследований водобойного колодца с боковым выпуском воды могут быть сделаны следующие выводы:

1. По экспериментальным данным ясно, что поток из бокового водослива выходит не ортогонально;
2. При расчете сопряжения потоков в нижнем бьефе при пропуске катастрофического паводка принимается пиковый расчётный расход, учитывающий трансформацию паводка водохранилищем.
3. В зависимости от уклона водовода водосбросного сооружения поток в концевом сечении имеет глубину h_b с которой поступает во входное сечение водобойного колодца.

Для оценки эффективности были подсчитаны потери энергии как разница энергии в сжатом сечении и у торцевой стенки относительно дна водобойного колодца. В качестве энергии у торцевой стенки принималась глубина с учетом восстановления кинетической энергии. Снижение эффективности гашения энергии вальцом частично компенсируется потерями на удар транзитной струи о торцевую стенку и наличием поворота струи на 90° в боковой вырез.

References:

1. Базаров Д.Р., Норқулов Б.М., Шодиев Б.Н., Улжаев Ф.Б., Кубанова У.У., “Сув ташлаш иншоотини гидравлик хисоблаш” Ирригация ва мелиорация № 1(15). 2019. 32-37 б.
2. Базаров Д.Р., Хидиров С.К., Рузимухамедова Д. Анализ существующих методов расчета крепления нижних бьефов гидротехнических сооружений на устойчивость и прочность// «Архитектура, курилиш, дизайн” 1, 2012г. Изд. ТАСИ, Ташкент, 2012. – с. 43-47.
3. Базаров и др. Результаты численных исследований сопряжения бьефов водопропускных сооружений средненапорных водохранилищ. INTERNATIONAL ACADEMY JOURNAL Web of Scholar 1(19), Vol.1, January 2018, Warsaw, Poland, 00-773 Website: с. 32-37;



4. Бакштанин А.М. Теоретическое обоснование работы водобойного колодца с боковым отвода потока //Вестник. Природобустройство №5 2008 год– с. 57-65.
5. Норқулов Б.М., Хидиров С.К., Рахманов Ж.Д., Курбанова У.У., Эшонкулов З. “Сув ўтказиш иншоотлари пастки бьефидаги оқим ҳаракати гидравлик режимлари” “Меъморчилик ва қурилиши муаммолари” № 4-сон СамДАҚИ 2018. – 86-92 б.
6. Сивак М.Ю. Влияние гасителей энергии на сопряжение бьефов за водопропускными сооружениями с конусными затворами. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.07- Гидротехническое строительство, Москва, 2004. 169 с.