

---

# ЭНЕРГОУСТАНОВКИ НА ОСНОВЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ВИДОВ ЭНЕРГИИ

УДК 621.311.21: 627.8

DOI: 10.17673/Vestnik.2016.02.24

**М.М. МУХАММАДИЕВ**

**Ш.И. КЛЫЧЕВ**

**К.С. ДЖУРАЕВ**

**Ф.Э. МАДАЛИЕВ**

**С. БЕКМУРОДОВ**

**УУЛУ А. АБДУАЗИЗ**

## ИССЛЕДОВАНИЕ СКОРОСТИ ПОТОКА ВОДЫ В ЗАТВОРАХ ГИДРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ И ИРРИГАЦИОННЫХ СООРУЖЕНИЙ

STUDY OF WATER FLOW RATE IN THE GATES OF HYDROPOWER AND IRRIGATION FACILITIES

*Приведены результаты расчетного и экспериментального исследований распределения скоростей воды в центральном вертикальном сечении потока в плоскости затвора. Представлена модель затвора, позволяющая исследовать скорости воды для обычного плоского затвора и затвора с направляющей закрылкой. Показано, что относительная координата сечения, характеризующая среднюю скорость потока воды, не зависит от высоты уровня воды и открытия затвора, а только от их отношения. Приводятся экспериментальные графические зависимости средней скорости воды в центральном вертикальном сечении затвора и координаты её положения. Эксперименты показали, что в потоке воды в затворах имеется вертикальная составляющая скорости. Полученные результаты позволяют разработать методы измерения расхода воды в затворах.*

**Ключевые слова:** затвор гидроэнергетического сооружения, поток воды, модель затвора, исследование скорости потока

*The results of the calculated and experimental studies of water velocity distribution in the central vertical cross-section of flow in the plane of the shutter are introduced. Shutter model allowing to investigate the water rate for conventional planar gate and the gate to the guide flap is presented. It is shown that the relative coordinate section characterizing the average water flow rate is not independent on the height of the water level and the shutter opens, but only on their ratio. Experimental graphical dependence of the average velocity of the water in the central vertical section shutter and coordinates of its position are introduced. Experiments showed that the water flow in the gates has a vertical speed component. The obtained results enable us to develop methods for measuring the water flow in the gate.*

**Keywords:** gate, water flow, model of gate, water flow study

Гидроэнергетические и ирригационные объекты выполняют значимую роль в обеспечении потребителей электроэнергией и водными ресурсами [1-5]. При их проектировании необходимо обоснованно выбрать основные параметры элементов водопроводящего тракта [6-9], а при последующей эксплуатации – наиболее рациональные и экономичные режимы работы [10-13].

Важной задачей в гидроэнергетике и ирригации является контроль и регулирование расхода

воды [14, 15]. Для регулирования расхода воды используются затворы, а для определения его величины обычно проводят измерения характерных параметров в сечениях канала. Известны различные способы измерения расхода воды в открытых каналах – гидропост и водослив (измерение уровня воды), вертушка воды (измерение максимальной скорости) [16-21]. Но так как регулирование расхода происходит на затворах ирригационных сооружений, то расход также целесообразно измерять на

затворе. Истечение воды в затворе существенно отличается от течения воды в канале, т.к. более неравномерным является распределение скоростей воды в вертикальном сечении потока воды в затворе.

Расчетная и экспериментальная оценки распределения скорости в центральном вертикальном сечении потока воды на модели затвора и определение на их основе средней скорости воды в этом сечении являются целью настоящей работы.

Общий вид модели затвора с измерителем скорости типа «трубки Пито» приведен на рис. 1. Исследования скорости воды на модели проводились для двух случаев: 1 – обычный плоский затвор; 2 – затвор с направляющей закрылкой для формирования течения воды. Трубка Пито крепилась на затворе и

имела возможность перемещения измерительной головки по вертикали.

На первом этапе проведена расчетная оценка скоростей воды в вертикальном сечении потока воды в плоскости затвора (рис. 2). Как видно из рис. 2, в задаче приняты следующие параметры затвора и потока воды:

$V_D$  – скорость воды перед затвором, или динамический напор  $h_d$ ;

$h_y, S_B$  – уровень воды и площадь сечения воды перед затвором соответственно;

$h_z, S_z$  – высота открытия затвора и площадь сечения затвора соответственно;

$V_m$  – средняя скорость воды в вертикальном сечении.

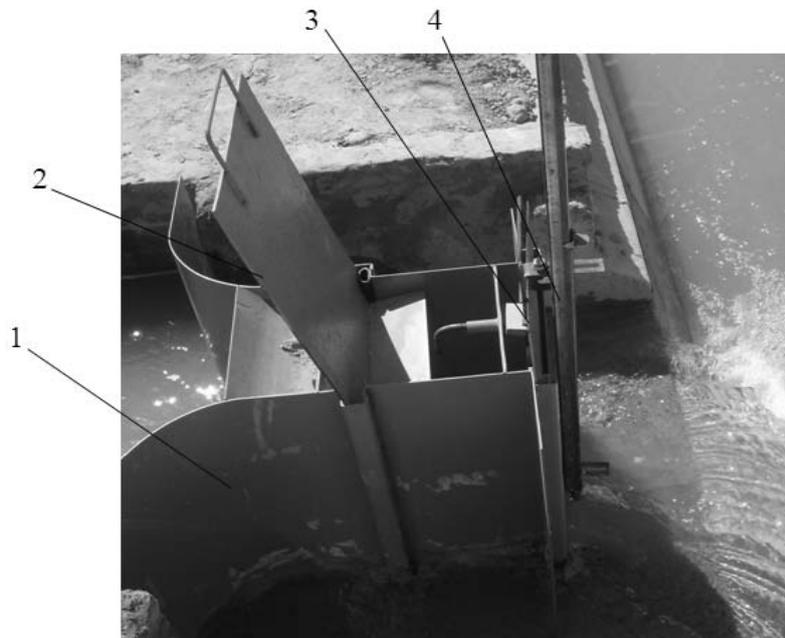


Рис. 1. Общий вид модели для исследований скоростей воды в сечении затвора: 1 – направляющие; 2 – плоский затвор с закрылкой; 3 – плоский затвор; 4 – трубка Пито с подвижной головкой

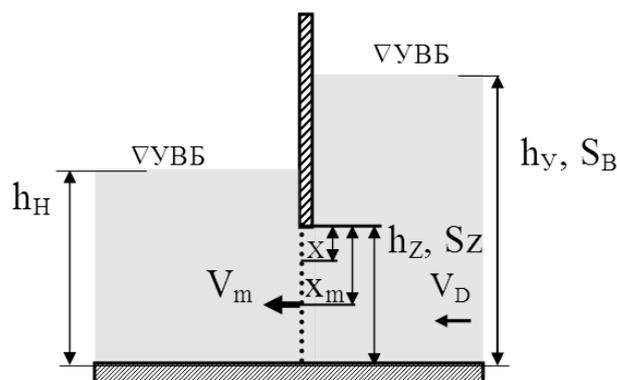


Рис. 2. Расчетная схема течения воды в вертикальном сечении затвора

Известно, что скорость воды в некоторой точке  $X$  сечения в выходной плоскости затвора определяется полным напором  $h$ , равным

$$h = (h_Y - h_Z) - (h_H - h_Z) + h_d + x, \quad (1)$$

где  $h_Y$  – статический напор;  $h_Z$  – открытие затвора;  $h_H$  – статический напор за затвором;  $h_d$  – динамический напор воды;  $x$  – координата сечения;  $x_m$  – координата сечения, в которой скорость воды равна средней скорости течения воды в вертикальном сечении.

Анализ (1) показывает, что при заданном уровне воды в верхнем бьефе  $h_Y$  слагаемые  $h_H$  и  $h_d$  можно считать постоянными, т.е. они не влияют на распределение скоростей в сечении (имеем некоторую, приближенно постоянную добавку). Следовательно, часть напора  $h'$ , определяющая распределение скоростей в сечении, можно записать в виде

$$h' = h_Y - h_Z + x. \quad (2)$$

Связь между скоростью  $V$  в точке  $X$  и напором  $h'$ , имеет вид

$$h = \frac{V^2}{2g}. \quad (3)$$

В общем случае средняя скорость воды в сечении составляет

$$h = \left( \frac{1}{h_Z} \right) \int_0^{h_Z} V_X \cdot dx \approx \left( \frac{1}{N} \right) \sum_1^N V_X \cdot \Delta x, \quad (4)$$

где  $N$  – число разбиений сечения по вертикали на элементарные участки  $\Delta x$  ( $\Delta x = h_Z/N$ ), где скорости  $V_X$  определяются в центрах элементарных участков.

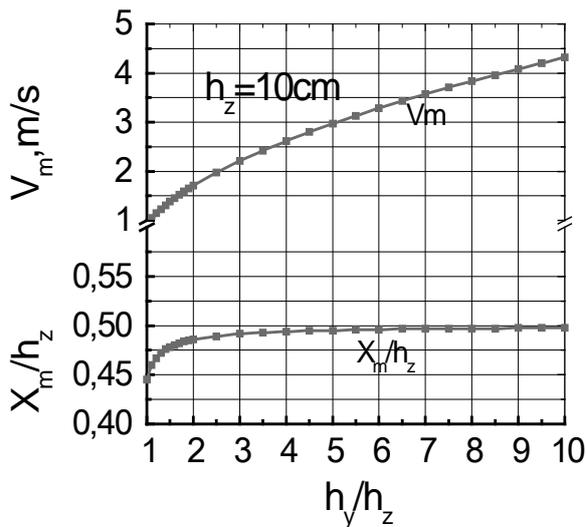


Рис. 3. Зависимость средней скорости воды в центральном вертикальном сечении затвора  $V_m$  и координата её положения  $X_m/h_Z$  от  $h_Y/h_Z$  при  $h_Z = 10$  см

На рис. 3 для случая свободного истечения воды через затвор ( $h_H = h_Z$ ) приведены средние скорости воды  $V_m$  в вертикальном сечении и соответствующие им координаты  $X_m$  для заданного открытия затвора  $h_Z$  и при различных уровнях воды  $h_Y$ . Для обобщения результатов расчета уровень воды перед затвором и координата  $X_m$ , соответствующая средней скорости, представлены в относительном виде в долях от  $h_Z$ .

Как видно из рис. 3, относительная координата  $X_m/h_Z$  изменяется в достаточно небольших пределах от 0,45 до 0,5, причем уже при  $h_Y/h_Z > 3$  она практически постоянна.

Расчеты для других значений открытия затвора  $h_Z$  показали, что если  $V_m$  существенно зависит от значений  $h_Y$  и  $h_Z$ , то относительная координата  $X_m/h_Z$ , характеризующая точку, в которой имеем среднюю скорость потока в вертикальном сечении, не зависит от  $h_Y$  и  $h_Z$ , а только от их отношения  $h_Y/h_Z$  (рис. 4).

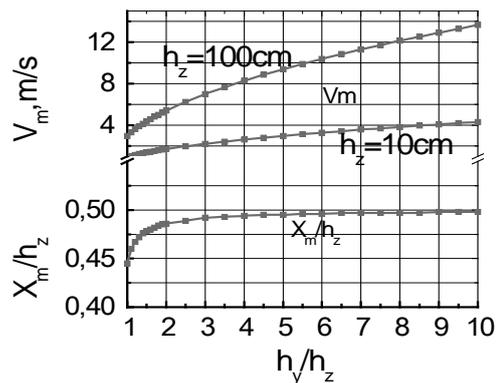


Рис. 4. Средняя скорость воды в сечении  $V_m$  и координата её положения  $X_m/h_Z$  в зависимости от отношения  $h_Y/h_Z$  при различных  $h_Z$

Таким образом, для незатопленного истечения воды через затвор и при малой динамической составляющей скорости воды перед затвором для определения средней скорости потока воды в сечении затвора достаточно измерять только два параметра –  $h_Y$  и  $h_Z$ . Зная отношение  $h_Y/h_Z$  из графиков, определяем  $X_m/h_Z$  и, таким образом,  $X_m$ . Подставляя  $X_m$  в (2), находим  $h$  и из (3) определяем среднюю скорость воды в сечении  $V_m$ .

Исходя из вышеизложенного сделан вывод о возможности использования такого подхода (при соответствующей калибровке конкретного затвора с заданным отношением ширины затвора к его открытию) для определения средней скорости потока воды через затвор и, следовательно, определения расхода воды.

Скорость воды в сечении можно измерять трубкой Пито. Результаты таких измерений трубкой Пито, с входной трубкой, расположенной перпендикулярно плоскости затвора в его центральном сечении, приведены на рис. 5 (кривая  $h$ ) и показан расчетный статический напор ( $h_c$ ). Превышение  $h$  над  $h_c$  на некоторой части кривых объясняется наличием динамической составляющей потока, а случаи  $h < h_c$  наличием вертикальной составляющей скорости воды в сечении затвора, иными словами, объясняется тем, что вектор полной скорости в сечении направлен не по горизонтали и трубка Пито измеряет не полные скорости, а их горизонтальные составляющие, включающие и динамическую составляющую. Кроме этого, следует отметить, что угол наклона полного вектора скорости изменяется по сечению с наибольшего наклона у затвора и практически нулевого наклона у дна.

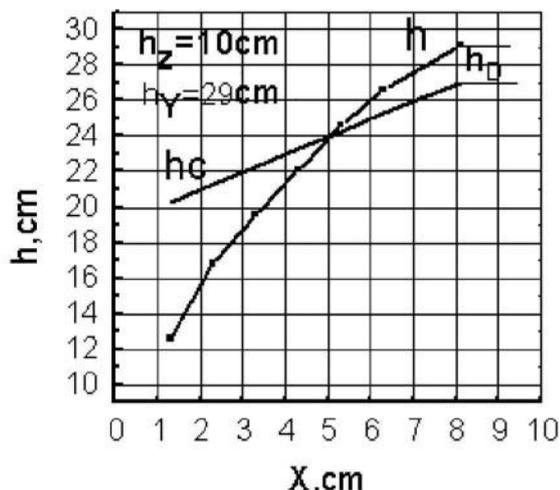


Рис. 5. Экспериментально полученные напоры  $h$  и расчетные статические напоры  $h_c$  в центральном сечении затвора

Таким образом, исследования показали, что картина истечения воды из затвора имеет более сложный характер, однако в первом приближении (при отсутствии или малости динамической составляющей скорости по вертикали) можно считать, что средняя скорость в сечении определяется статическим напором. Можно также предположить, что рассмотренное распределение скоростей в центральном сечении будет иметь место и для других сечений на большей части потока.

**Вывод.** Для практического использования предложенного способа достаточно будет исследовать коэффициенты расхода, которые, очевидно, будут зависеть от отношения ширины затвора и его открытия.

**БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Использование водной энергии / под ред. Ю.С. Васильева. М.: Энергоатомиздат, 1995. 608 с.
2. Елистратов В.В. Использование возобновляемых источников энергии – путь к устойчивому развитию и энергоэффективности // Научно-технические ведомости СПбГПУ. 2012. № 3–1 (154). С. 77–83.
3. Мухаммадиев М.М., Уришев Б.У. Гидроэнергетические установки: учебник. Ташкент: Fan va texnologiya, 2013.
4. Свитала Ф., Евдокимов С.В., Галицкова Ю.М. Особенности конструкций гидротехнических сооружений и агрегатных зданий первых гидроэлектростанций // Промышленное и гражданское строительство. 2014. № 12. С. 87–90.
5. Свитала Ф., Галицкова Ю.М. Использование гидравлических энергоагрегатов с наклонной осью для малых ГЭС // Научное обозрение. 2014. №10 (2). С. 450–456.
6. Васильев Ю.С., Кубышкин Л.И. О технологии проектирования объектов гидроэнергетики // Гидротехническое строительство. 2014. № 7. С. 2–8.
7. Иванов В.М., Бахтина И.А., Иванова Т.Ю., Ильных С.В. Электроснабжение и энергосбережение с использованием возобновляемых источников энергии // Вестник СГАСУ. Градостроительство и архитектура. 2015. № 2 (19). С. 88–93.
8. Бальзаников М.И. Обоснование установленной мощности ГЭС энергетического гидроузла // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2014. № 8. С. 32–40.
9. Бальзаников М.И., Селиверстов В.А. Особенности выбора основных параметров конструкции водовыпускного сооружения секционного типа крупной насосной станции // Промышленное и гражданское строительство. 2010. № 8. С. 17–19.
10. Васильев Ю.С., Жакова Т.С., Саморуков И.С. Автоматизированное управление в гидроэнергетике. СПб., 2009.
11. Уришев Б.У., Мухаммадиев М.М., Носиров Ф., Жураев С.Р. Снижение заиливания аванкамеры мелиоративных насосных станций // Вестник СГАСУ. Градостроительство и архитектура. 2013. № 4(12). С. 49–53.
12. Ганкин М.З. Комплексная автоматизация и АСУТП водохозяйственных систем. М.: Агропромиздат, 1991.
13. Бальзаников М.И., Юров В.М., Михасек А.А. Особенности совместного регулирования речного стока комплексными гидроузлами // Научное обозрение. 2015. № 3. С. 101–108.
14. Мухаммадиев М.М., Уришев Б.У. Устройство для измерения распределения расхода воды // АС SU 1789864. 1993. Бюл. № 3.
15. Try insertion flowmeters for low-cost, «hot-tap installations». Ginesi D. «Power», 1987, 131, № 3, pp. 69–72.
16. Мухаммадиев М.М., Таиматов Х.К. Гидроэнергетические изыскания: учебник. Ташкент: IQTISOD-MOLIYA, 2011.
17. Бальзаников М.И., Иванов М.В. Гидротурбина для мини-ГЭС // Вестник МГСУ. 2013 № 12. С. 139–147.
18. Альтшуль А.Д. Гидравлические сопротивления. М.: Недра, 1982. 224 с.
19. Гирзидов А.Д. Техническая механика жидкости и газа: учеб. для вузов. СПб.: СПбГТУ, 1999.

20. Лятхер В.М., Прудовский А.М. Гидравлическое моделирование. М.: Энергоатомиздат, 1984.

21. Иванов В.М., Иванова Т.Ю., Стоян И.А., Пчелинцев С.Г. Осевая гидротурбина новой конструкции и стенд для моделирования проточных частей гидротурбин // Вестник Северо-Кавказского федерального университета. 2011. № 4. С. 102–106.

Об авторах:

**МУХАММАДИЕВ Мурадулла Мухаммадиевич**  
доктор технических наук, профессор,  
заведующий кафедрой гидравлики и гидроэнергетики  
Ташкентский государственный технический университет  
100095, Республика Узбекистан,  
г. Ташкент, ул. Университетская, 2  
E-mail: Muxammadiev\_m@rambler.ru

**КЛЫЧЕВ Шавкат Исакович**  
доктор технических наук,  
профессор кафедры гидравлики и гидроэнергетики  
Ташкентский государственный технический университет  
100095, Республика Узбекистан,  
г. Ташкент, ул. Университетская, 2  
E-mail: KlichevSh@list.ru

**ДЖУРАЕВ Курбон Салихджанович**  
старший преподаватель кафедры гидравлики  
и гидроэнергетики  
Ташкентский государственный технический университет  
100095, Республика Узбекистан,  
г. Ташкент, ул. Университетская, 2  
E-mail: DjQS83@rambler.ru

**МАДАЛИЕВ Фарходжон Эркинович**  
магистрант кафедры гидравлики и гидроэнергетики  
Ташкентский государственный технический университет  
100095, Республика Узбекистан,  
г. Ташкент, ул. Университетская, 2  
E-mail: MadaliyevFE@mail.ru

**БЕКМУРОДОВ Султон**  
магистрант кафедры гидравлики и гидроэнергетики  
Ташкентский государственный технический университет  
100095, Республика Узбекистан,  
г. Ташкент, ул. Университетская, 2  
E-mail: MadaliyevFE@mail.ru

**Абдуазиз уулу Абдурауф**  
магистрант кафедры гидравлики и гидроэнергетики  
Ташкентский государственный технический университет  
100095, Республика Узбекистан,  
г. Ташкент, ул. Университетская, 2  
E-mail: MadaliyevFE@mail.ru

**MUKHAMMADIEV Muradulla M.**  
Doctor in Engineering Science, Professor, Head of the  
Department of Hydraulics and Hydropower  
Tashkent State Technical University  
100095, Republic of Uzbekistan, Tashkent, Universitetskaya st., 2  
E-mail: Muxammadiev\_m@rambler.ru

**KLYCHEV Shavkat I.**  
Doctor in Engineering Science, Professor of the Department of  
Hydraulics and Hydropower  
Tashkent State Technical University  
100095, republic of Uzbekistan, Tashkent, Universitetskaya st., 2  
E-mail: KlichevSh@list.ru

**DZURAEV Kurbon S.**  
Senior Lecturer of the Department of Hydraulics and  
Hydropower  
Tashkent State Technical University  
100095, Republic of Uzbekistan, Tashkent, Universitetskaya st., 2  
E-mail: DjQS83@rambler.ru

**MADALIEV Farkhodzhon E.**  
Master student of the Department of Hydraulics and  
Hydropower  
Tashkent State Technical University  
100095, Republic of Uzbekistan, Tashkent, Universitetskaya st., 2  
E-mail: MadaliyevFE@mail.ru

**BEKMURODOV Sulton**  
Master student of the Department of Hydraulics and  
Hydropower  
Tashkent State Technical University  
100095, Republic of Uzbekistan, Tashkent, Universitetskaya st., 2  
E-mail: MadaliyevFE@mail.ru

**Abduaziz Uulu A.**  
Master student of the Department of Hydraulics and  
Hydropower  
Tashkent State Technical University  
100095, Republic of Uzbekistan, Tashkent, Universitetskaya st., 2  
E-mail: MadaliyevFE@mail.ru

Для цитирования: Мухаммадиев М.М., Клычев Ш.И., Джураев К.С., Мадалиев Ф.Э., Бекмуродов С., Абдуазиз уулу А. Исследование скорости потока воды в затворах гидроэнергетических и ирригационных сооружений // Вестник СГАСУ. Градостроительство и архитектура. 2016. №2(23). С. 135-139. DOI: 10.17673/Vestnik.2016.02.24.

For citation: Mukhammadiev M.M., Klychev Sh.I., Dzhuraev K.S., Madaliev F.E., Bekmurodov S., Abduaziz A. Study of water flow rate in the gates of hydropower and irrigation facilities // Vestnik SGASU. Town Planning and Architecture. 2016. №2(23). Pp. 135-139. DOI: 10.17673/Vestnik.2016.02.24.