

УДК 627.83

DOI: 10.36979/1694-500X-2024-24-4-148-152

## ОСОБЕННОСТИ ФИЗИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ СРЕДСТВ ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ АВТОМАТИЗАЦИИ ВОДОЗАБОРНЫХ СООРУЖЕНИЙ

*Н.У. Кайыпова, Г.И. Логинов*

*Аннотация.* Рассмотрены гидравлические характеристики потоков воды в бьефах гидротехнических сооружений и возможность испытания на лабораторных установках их физических моделей. Исследованы физические модели плотинных водозаборных гидроузлов и их элементов для обоснования рациональных параметров устройств и отдельных их узлов, управляющих гидравлическими процессами с возможностью автоматизации технологических процессов. Это необходимо при планировании водозабора из малых горных рек с целью сокращения капитальных вложений при строительстве и эксплуатации с повышением производительности и качества подачи воды, а также для обеспечения надежности водозабора. Правила моделирования физических моделей и применяемые законы подобия определяют: планирование эксперимента, требования к масштабам, формам и поверхностям модели, относительные значения измеряемых величин, методы обработки результатов исследований с пределами их применения.

*Ключевые слова:* гидротехнические сооружения; технологические процессы; законы подобия; физическое моделирование; вальцовый затвор.

---

## СУУ АЛУУЧУ КУРУЛМАЛАРДЫН ГИДРАВЛИКАЛЫК АВТОМАТТАШТЫРУУ КАРАЖАТТАРЫН ФИЗИКАЛЫК МОДЕЛДӨӨНҮН ӨЗГӨЧӨЛҮКТӨРҮ

*Н.У. Кайыпова, Г.И. Логинов*

*Аннотация.* Макалада гидротехникалык курулуштардын резервуарларындагы суу агымдарынын гидравликалык мүнөздөмөлөрү жана алардын физикалык моделдерин лабораториялык түзүлүштөрдө сынап көрүү мүмкүнчүлүгү каралат. Технологиялык процесстерди автоматташтыруу мүмкүнчүлүгү менен гидротехникалык процесстерди башкарган приборлордун жана алардын айрым бөлүктөрүнүн рационалдуу параметрлерин негиздөө үчүн плотиналардын суу алуучу системаларынын жана алардын элементтеринин физикалык моделдери изилденген. Бул суу менен камсыз кылуунун өндүрүмдүүлүгүн жана сапатын жогорулатуу, ошондой эле суу алуунун ишенимдүүлүгүн камсыз кылуу, курулуш жана эксплуатациялоо учурунда капиталдык салымдарды кыскартуу максатында чакан тоо дарыяларынан суу алууну пландаштырууда зарыл. Физикалык моделдерди моделдөө эрежелери жана колдонулган окшоштук мыйзамдары төмөнкүлөрдү аныктайт: экспериментти пландаштырууну, масштабдарга, формаларга жана модель беттерине талаптарды, ченелүүчү чоңдуктардын салыштырмалуу маанилерин, изилдөөлөрдүн натыйжаларын аларды колдонуу чектери менен иштетүү ыкмаларын.

*Түйүндүү сөздөр:* гидротехникалык курулуштар; технологиялык процесстер; окшоштук мыйзамдары; физикалык моделдөө; ролик жапкыч.

---

## FEATURES OF PHYSICAL MODELING OF HYDRAULIC AUTOMATION MEANS OF WATER INTERCEPTION STRUCTURES

*N.U. Kayypova, G.I. Loginov*

*Abstract.* This paper examines the hydraulic characteristics of water flows in the reservoirs of hydraulic structures and the possibility of testing their physical models in laboratory installations. The purpose of researching physical models of dam water intake systems and their elements is to substantiate the rational parameters of devices and individual units that control hydraulic processes with the possibility of automating technological processes. This is important when considering water intake from small mountain rivers in order to reduce capital investments during construction and

operation while increasing the productivity and quality of water supply, as well as to ensure the reliability of water intake. The rules for modeling physical models and the applicable laws of similarity determine: experimental planning, requirements for the scales, shapes and surfaces of the model, relative values of measured quantities, methods for processing research results with the limits of their application.

*Keywords:* hydraulic structures; technological processes; laws of similarity; physical modeling; roller valve.

Создание систем автоматического регулирования (САР) технологических процессов при водозаборе из горных рек – сложная научная и техническая задача. Теория автоматического регулирования изучает общие принципы построения, методы исследования статических и динамических свойств системы в целом, методы выбора параметров элементов системы на основе предъявляемых к ним требований качества.

К объектам автоматизации на гидросистемах относят: управляемые гидротехнические сооружения, водоводы, гидромеханические установки, выполняющие технологические процессы по регулированию уровня воды в бьефах, управляющие сбросом расходов воды на водовыпусках, давлением в трубопроводе и т. д. [1].

Физическое моделирование гидротехнических сооружений отличается от натуральных тем, что исследование проводится на специальных установках, в которых в миниатюре воссоздаются естественные условия при физическом подобии происходящих процессов [2]. При этом особенно важно, что имеется возможность быстрого изменения условий воссоздаваемых процессов без согласования со службой эксплуатации.

Ранее нами была разработана конструкция вальцового затвора автомата уровней верхнего бьефа для устройства в промывном тракте водозаборного сооружения, которая может использовать излишки объемов воды для промывки наносов. Для реализации теоретических предпосылок были проведены лабораторные исследования этой конструкции.

Исследования проводили в два этапа:

- изготовление и испытания объекта с учетом условий механического подобия;
- создание сходных режимов моделирования с режимами эксплуатации натуральных объектов – водозаборных сооружений, устраиваемых на горных реках.

Моделирование выполнялось по критерию гравитационного подобия с выполнением условия  $Fr = idem$ , требующего равенства соотношения действующих сил и одинаковую их направленность в натуре и на модели, т. е. критерий Фруда. Масштаб моделей был выбран исходя из необходимости соблюдения условий подобия гидравлических явлений, вытекающих из законов подобия [3]. Для обеспечения требуемой точности исследований учитывали параметры водопропускных отверстий, перекрываемых исследуемыми затворами, а также возможности лаборатории кафедры ГТС и ВР КPCY.

В процессе лабораторных исследований были изучены рациональные параметры средств гидравлической автоматизации для водозабора из горных рек, определены показательные значения расчетного напора и глубины строительной высоты, компановочные размеры.

Исследовано влияние отношения  $B/h$  (ширина к глубине) в зависимости от значения коэффициентов расхода при прохождении потока воды под затворами, а также способность формы обеспечивать большие скорости в придонной части и обеспечивать сброс большего количества наносов. Также рассмотрено влияние изменения числа  $Fr$  на изменение некоторых гидравлических характеристик: потерь напора, коэффициентов расходов и пропускной способности в целом [4].

Максимально возможный масштаб модели определяли в зависимости от величин расчетных расходов сбрасываемого через промывной тракт  $Q_{\max.нат}$ , геометрических параметров лабораторной установки и возможной величины подаваемого расхода воды  $Q_{\max.мод}$ . Предварительно масштаб модели определяли с учетом масштаба моделирования расходов воды по формуле [5]:

$$M'_L = 2,5 \sqrt{\frac{Q_{\max \text{ нат.}}}{Q_{\max \text{ мод.}}}}, \quad (1)$$

где  $M'_L$  – примерный линейный масштаб модели;  $Q_{\max \text{ нат.}}$  – рекомендованный максимальный расчетный расход, сбрасываемый через промывной тракт. Для сооружений IV класса капитальности расчетная величина расхода реки равна расходу  $Q_{5\%}$ , из этого доля, приходящаяся на промывной тракт, составляет 10 %.

С учетом условий и законов подобия гидравлического режима моделируемых потоков в ходе лабораторных исследований был принят минимально допустимый масштаб модели, который и определялся по Рейнольдсу для турбулентных потоков по зависимости [5]:

$$\text{Re}_{кр} < \frac{V_M R_M}{\nu_M} = \frac{1}{\nu_H} \cdot V_H R_H \lambda^{3/2}, \quad (2)$$

Наименьший масштаб модели при равенстве  $\nu_M = \nu_H$  определяли по формуле И.И. Леви [5]:

$$\lambda_{\min} = \text{Re}_{кр} \sqrt[3]{V_H^2 R_H^2}, \quad (3)$$

где  $V_M$  и  $V_H$  – скорость потока на модели и в натуре соответственно;  $R_M$  и  $R_H$  – гидравлический радиус исследуемого модельного и натурального потока;  $\lambda = M'_L$  – геометрический масштаб модели;  $\nu_M$  и  $\nu_H$  – кинематический коэффициент вязкости воды на модели и в натуральных условиях соответственно;  $\text{Re}_{кр}$  – критическое число Рейнольдса определяли в зависимости от вида изучаемых процессов. При изучении процесса неподтопленного истечения через водосливы с тонкой стенкой  $\text{Re}_{кр} = 3000 \div 5000$ , при исследовании прямоугольных отверстий –  $\text{Re}_{кр} = 200000$ .

Исходя из минимального масштаба моделирования и физических возможностей экспериментальных установок, в первую очередь – величины максимального расхода воды на модели – были приняты следующие линейные (геометрические) масштабы моделирования:  $M = 1:10$ ,  $M = 1:20$  и  $M = 1:25$  [4, 5].

Лабораторные исследования проводили на модельной установке, имеющей размеры  $30 \times 33 \times 700$  см, в лаборатории кафедры ГТС и ВР КРСУ (рисунок 1).

Гидравлический лоток использовали для исследования разработанной конструкция вальцового затвора в виде цилиндрической трубы, рекомендованной для применения на низконапорных водозаборных сооружениях с устройством затвора в промывном тракте [5, 6].

Конструкция вальцового затвора представляет собой цилиндрическую балку, состоящую из обшивки (оболочки) из листовой стали толщиной 10–16 мм, диаметр – 20 см (2 м), длина пластины  $L_{\text{пл}} = 63$  см (6,3 м), ширина затвора 13 см (1,3 м), который перекрывает отверстия промывного тракта, шириной 10 см (1 м). При этом расчетная глубина тракта  $h_p = 16$  см (1,6 м), максимальная глубина  $h_{\max} = 19$  см (1,9 м). На рисунке 2 приведены основные параметры вальцового затвора.

В соответствии с поставленными целями и задачами исследовалась пропускная способность физической модели вальцового затвора в несколько этапов. Также исследовалась возможность устройства вальцовых конструкций затворов для использования в качестве затворов-автоматов промывных трактов водозаборных сооружений [5, 6].

Этапы исследования:

- Произведен замер глубины  $h_0$  в верхнем бьефе.

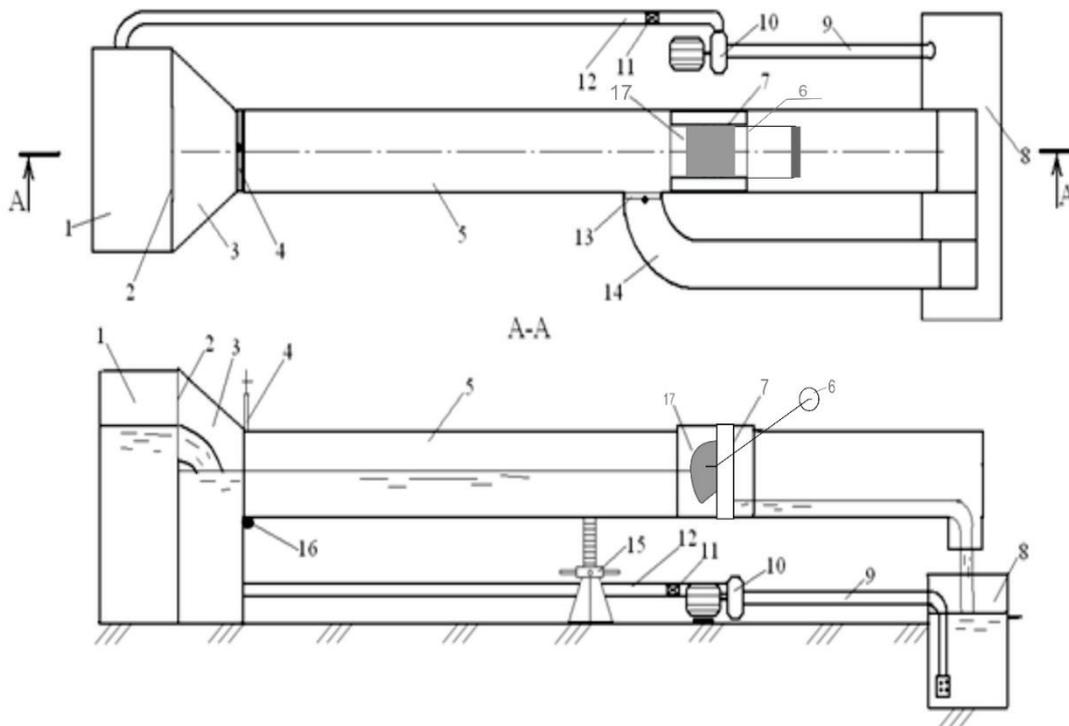


Рисунок 1 – Схема гидравлического лотка лаборатории ГТС КPCY: 1 – напорный бак; 2 – водослив Томсона; 3 – бак гасителя; 4 – затвор бака гасителя; 5 – гидравлический лоток; 6 – противовес затвора; 7 – модель вальцового затвора; 8 – бак отстойник; 9 – всасывающий трубопровод; 10 – насосная установка; 11 – задвижка; 12 – напорный трубопровод; 13 – затвор сбросного лотка; 14 – сбросной лоток; 15 – винтовой подъемник; 16 – шарнир. 17 – модель водоприемника [4]

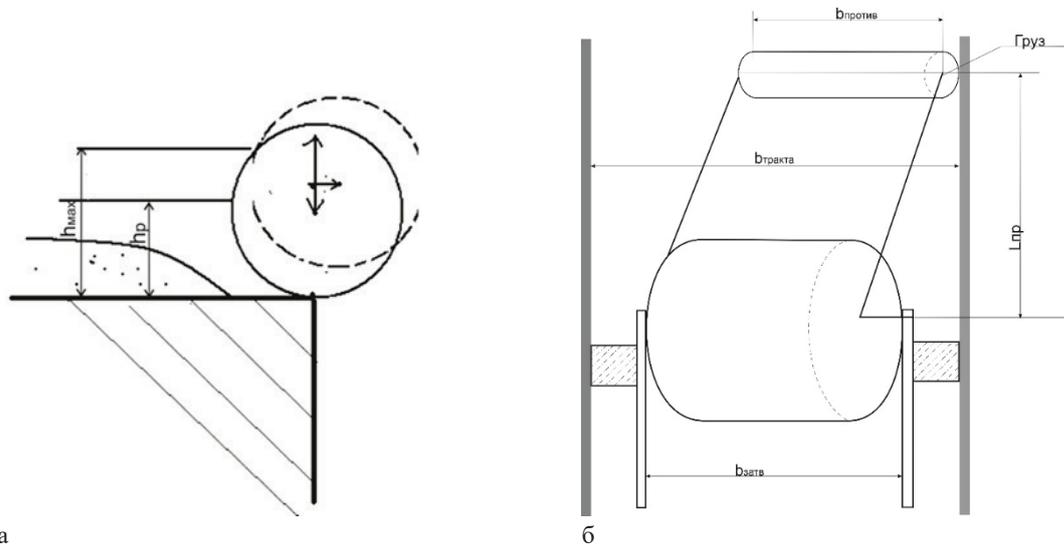


Рисунок 2 – Основные параметры вальцового затвора

- Осуществлялось постепенное увеличение пропуска воды до максимального открытия затвора.
- Определены: угол открытия затвора  $\alpha_i$ , глубина в верхнем бьефе  $h_{б.в}$  и расход воды  $Q_i$ , который проходил через эту глубину.
- Далее изменяли расстояние от оси противовеса до затвора  $\alpha_i$ , и опыт проводили заново до максимального открытия затвора  $\alpha_i$ .

**Заключение.** Приведены основы методики лабораторных исследований средств гидравлической автоматизации при водозаборе из горных рек и ирригационных систем для определения рациональных параметров сооружений и последовательности проведения экспериментов.

Поступила: 18.03.24; рецензирована: 01.04.24; принята: 03.04.24.

#### *Литература*

1. Лавров Н.П. Введение в профессию «Гидротехническое строительство». Курс лекций: учебное пособие / Н.П. Лавров, О.В. Атаманова. Бишкек: Изд-во КРСУ, 2012. 187 с.
2. Омуралиева У.С. Исследование и расчет сегментных клапанных авторегуляторов уровня и расхода воды для сооружений оросительных систем предгорной зоны: дис. ... канд. техн. наук / У.С. Омуралиева. Бишкек, 1998.
3. Моделирование систем / М.А. Беляев. М., 2021. URL: <http://simulation.su/uploads/files/default/2012-belyaeva-lekcii-part1.pdf>.
4. Логинов Г.И. Русловые и гидравлические процессы при водозаборе из горных рек в гидротехнические и ирригационные системы: дис. ... канд. техн. наук / Г.И. Логинов. Бишкек, 2014.
5. Определение параметров регулятора уровня воды нижнего бьефа непрямого действия конструкции Бочкарева. Задания и методические указания к выполнению расчетно-графической работы для студентов очного обучения по направлению подготовки 20.03.02 «Природообустройство и водопользование» / Сост. М.П. Горбачева. Саратов: ФГОУ ВО «Саратовский ГАУ им. Н.И. Вавилова», 2016. 14 с.
6. Логинов Г.И. Проблемы автоматизации технологических процессов при водозаборе из горных рек / Г.И. Логинов, Н.У. Кайыпова // Вестник КРСУ. 2022. Т. 22. № 12. С. 126–130.