

УДК: 627.837

АВТОРЕГУЛЯТОР УРОВНЯ ВОДЫ С ГИБКИМИ РАБОЧИМИ ОРГАНАМИ ДЛЯ ПЕРЕГОРАЖИВАЮЩИХ СООРУЖЕНИЙ НА КАНАЛАХ И ЕГО ПРОПУСКНАЯ СПОСОБНОСТЬ

М.-Г.А.Кадирова – к.т.н, доцент,

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

Аннотация

В статье исследования проводились на экспериментальной установке методом физического моделирования. В результате исследований модели в виде щита с фиксированными углами наклона к горизонту от 6 градусов до 40 градусов были построены графики зависимостей значений его коэффициентов расхода при отсутствии боковых истечений в зависимости от его угла наклона и отношения высоты открытия затвора к глубине воды перед ним. В результате исследований модели авторегулятора уровня воды получена формула для определения отношения расхода боковых истечений к общему расходу, идущему через его затвор в зависимости от отношения высоты открытия затвора к глубине воды перед ним. При этом разброс точек, полученных значений коэффициента расхода по отношению к линии, построенного графика составил + 4–5 процентов. Кроме того были проведены исследования точности регулирования задаваемой глубины воды (уровня воды) в верхнем бьефе авторегулятора уровня воды. Они показали, что эта ошибка составляет не более + 5 процентов. Авторегулятор уровня воды обеспечивает автоматическое регулирование уровня воды в канале перед перегораживающим сооружением, автоматический сброс излишков воды и промывку наносов для предотвращения их накопления и осадения перед перегораживающим сооружением.

Ключевые слова: гидравлический затвор, плоский напорный щит, регулятор уровня, прорезиненная мелиоративная ткань, боковые истечения.

КАНАЛДАГИ СУВ ТЎСИШ ИНШОТЛАРИ УЧУН ЭГИЛУВЧАН ОРГАНЛАРИ БИЛАН СУВ САТҲИ АВТОРОСТЛАГИЧ ВА УНИНГ СУВ ЎТКАЗИШ ҚУВВАТИ

М.-Г.А.Кадирова – т.ф.н, доцент,

«Тошкент ирригация ва қишлоқ хўжалигини механизациялаш муҳандислари институти» миллий тадқиқот университети

Аннотация

Мақолада тадқиқотлар физик моделлаштириш услуби бўйича экспериментал қурилмада бажарилди. Горизонтга нисбатан 6 градусдан 40 градусгача фиксацияланган бурчаклари билан ўрнатилган ясси шчит шаклидаги моделни тадқиқотлаш асосида ясси шчитни эгилиш бурчаги ва унинг очилиши баландлигини юқори бьефдаги сув чуқурлигига нисбати учун ён томондаги сув чиқишларни ҳисобга олмаган ҳолда сарф коэффициентлари функционал боғланиш эгри чизиқлари тузилган. Авторостлагич моделининг тадқиқотлаш натижасида унинг затвори очилиши баландлигини юқори бьефдаги сув чуқурлигига нисбатан ён томондаги сув чиқишларнинг затвордан умумий ўтилган сув сарфига нисбати ифодаси топишган. Бунда ушбу ифодаси бўйича тузилган чизиққа нисбатан тадқиқотлар бўйича топишган қийматларнинг хатоси + 4–5 фоизни кўрсатди. Бундан ташқари сув сатҳи авторостлагичнинг юқори бьефда белгиланган сув чуқурлигини ушлаб туриш тўғрисида хатосини аниқлаш тадқиқотлари ҳам бажарилди. Улар юқори бьефда белгиланган сув чуқурлигини ушлаб туриш хатоси + 5 фоиздан кўп эмаслигини кўрсатди. Ушбу авторостлагич сув тўсиш иншооти олдидаги каналда сув сатҳини автоматик равишда бошқаради, ортиқча сувлар ҳажмини пастки бьефга туширади ва иншоот олдидаги чўкиндилар йиғилмаслигига имконият яратди.

Таянч сўзлар: гидравлик, затвор, ясси босимли шчит, сув сатҳи ростлагич, эгилувчан резинаштирилган мелиоратив мато, ён томонли сув чиқишлари.

AUTOMATIC WATER LEVEL CONTROLLER WITH FLEXIBLE WORKING BODIES FOR BLOCKING STRUCTURES ON CANALS AND ITS CAPACITY

M.A.Kadirova – c.t.s., Associate Professor National Research University "Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers"

Abstract

The study was carried out on an experimental installation by the method of physical modeling. As a result of studies of the model in the form of a board with fixed angles of inclination to the horizon from 6 degrees to 40 degrees, graphs of the dependences of the values of its flow coefficients in the absence of lateral outflows were constructed depending on its angle of inclination and the height of the hole of the board divided by the depth of water in front of it. As a result of studies of the water level autoregulator model, a formula was obtained to determine the ratio of the flow rate of lateral outflows to the total flow passing through its flap, depending on the height of the flap opening divided by the depth of water in front of it. At the same time, the spread of the obtained points by the values of the flow coefficient in relation to the curves of the constructed graph was + 4...5 percent. In addition, studies were conducted on errors in the accuracy of regulation of a given water depth in front of the water level autoregulator. They showed that this error in the accuracy of regulation is no more than + 5. This automatic water level controller provides automatic regulation of the water level in the channel in front of the blocking structure, automatic discharge of excess water and washing of

deposits to prevent their accumulation and deposition in front of the partition structure.

Key words: hydraulic gate, flat pressure board, non-pressure and side parts, level regulator, rubberized meliorative fabric, side outflows.

Введение. Современные тенденции и масштабы развития гидротехники и мелиорации выдвигают проблему эффективного управления уровнем воды в оросительной системе, что может быть достигнуто только за счет автоматизации этого процесса. В настоящее время большое внимание уделяется вопросам бесперебойной работы, непрерывной модернизации ирригационных систем и других водохозяйственных и гидротехнических сооружений, разработке и внедрению современных инновационных и ресурсосберегающих технологий в водном хозяйстве, повышению эффективности эксплуатации сооружений на оросительных каналах, описанным в работах Я.Э.Пулатова [1], Т.С.Кошкарковой, Л.Н.Медведевой, А.А.Новикова, Л.А.Воеводиной [2], В.Н.Щедрина, С.М.Васильева, А.А.Чураева [3], А.А.Алдошкина [4], Э.М.Халифа, М.А.Элтавил, М.Э.Мелеха, М.М.Шараф [5], П.П.Гадж, В.Джотипракаш, В.В.Бхосекар [6].

Для поддержания требуемого уровня воды перед перегораживающим сооружением и подачи заданного постоянного расхода воды в отводы из канала для экономичного потребления воды потребителями проводится автоматизация перегораживающих сооружений, описанная в работах К.М.Мелихова, А.А.Пахомова, Н.А.Колобанова [7], В.Н.Щедрина, А.А.Чураева, В.М.Школьная, Л.В.Юченко [8], В.И.Ольгаренко, Н.С.Степанова, О.П.Кисарова, И.В.Ольгаренко [9], М.И.Бальзанникова [10], А.С.Овчинникова, Р.З.Киселёвой, К.М.Мелихова, А.А.Киселёва [11].

Массовое использование затворов на перегораживающих сооружениях оросительных систем и их удаленное расположение от линий электропередач, с точки зрения экономической эффективности, показывает, что наиболее целесообразна их гидравлическая автоматизация, то есть оснащение их гидравлическими затворами - автоматами, гидравлическими авторегуляторами уровня, работающими полностью на возобновляемой гидравлической энергии водного потока. Они обеспечивают экономное использование воды, экономию электроэнергии, затрачиваемой на их эксплуатацию, а также снижение эксплуатационных затрат.

В известных работах Я.В.Бочкарёва, П.И.Коваленко, Э.Э.Маковского и других описаны лишь некоторые конструкции гидравлических затворов-автоматов, которые нашли применение на перегораживающих сооружениях оросительных каналов. Они изготовлены из традиционных металлических материалов. Их особенностью является наличие металлического затвора (плоского, сегментного, клапанного, секторного) определенной конструкции и необходимость возведения капитального сооружения. Это, конечно, дорого и препятствует их широкому внедрению в производство. Благодаря быстрому развитию химической промышленности в настоящее время появились гибкие прорезиненные ткани, как новый вид строительных материалов. Их свойства: малый вес, гибкость, способность менять форму при изменении нагрузки, высокая маневренность, показанные в работах Т.Томиама и И.Нисидзаки [12], Уэстон, Г.Чартуни, Л.Дал-

тон, Д.Форс, Дж.Тровиллион, К.Зумбулев, Р.Макмиллен [13], Новикова С.Г., Куценко В.Н. [14], создают большие перспективы для их использования в качестве гибких органов в гидравлических регуляторах уровня воды. Поэтому сегодня уже существуют комбинированные гибкие конструкции гидравлических затворов - автоматов, авторегуляторов. Эти конструкции освещены в известных работах О.Г.Затворницкого, Б.И.Сергеева и показаны в работах В.И.Логинова, С.М.Ртищева, В.Н.Козырева, М.В.Илеменова, Е.Д.Михайловой [15], М.-Г.А.Кадировой [16, 17, 18, 19].

Однако основным недостатком этих конструкций является их неудобное использование при реконструкции существующих перегораживающих сооружений и отсутствие возможности промывки участка канала от наносных отложений перед перегораживающим сооружением.

Постановка задачи. Массовое использование затворов на перегораживающих гидротехнических сооружениях оросительных систем естественным образом выдвигает интерес к поиску более простых конструкций таких гидравлических затворов - автоматов, конструкции которых обладают следующими достоинствами: отсутствием металлоемкости, легкостью, дешевизной, ремонтпригодностью, экологической чистотой, при необходимости, мобильностью, возможностью переноса их с места на место, которые можно использовать без больших затрат для реконструкции существующих перегораживающих сооружений.

Поэтому была поставлена задача разработки такого авторегулятора уровня воды с гибкими рабочими органами, который обладает этими достоинствами. Такая конструкция предлагается к рассмотрению.

Исходя из особенностей конструкций перегораживающих сооружений, с целью устранения недостатков ранее разработанных конструкций затворов-автоматов, гидравлических регуляторов уровня воды с гибкими рабочими органами, была поставлена задача разработать инновационную конструкцию гидравлического авторегулятора уровня с гибкими рабочими органами, обеспечивающего сдвиг наносов с целью предотвращения их накопления перед перегораживающим сооружением, обеспечить стабильную работу гидравлического авторегулятора уровня с гибкими рабочими органами, обосновать формы его элементов, разработать их параметры, размеры. Вывести не только его теоретическую формулу для определения пропускной способности с учетом боковых истечений, но и на основе экспериментальных исследований модели предлагаемой конструкции гидравлического авторегулятора уровня с гибкими рабочими органами предложить более простые формулы для определения его пропускной способности для использования их на практике.

Методы решения. На основе существующих конструкций водонаполненных секторных затворов на перегораживающих сооружениях каналов оросительной сети разработана инновационная конструкция гидравлического авторегулятора уровня воды с гибкими рабочими

органами, рис. 1. Конструкция гидравлического авторегулятора уровня воды с гибкими рабочими органами состоит из ёмкости водонаполняемого затвора и поплавкового регулятора уровня воды перед перегораживающим сооружением. Ёмкость водонаполняемого затвора в закрытом положении представляет собой в продольном сечении треугольную призму, одно из рёбер которой опущено вниз. При этом, напорная часть 2 ёмкости затвора, выполнена жесткой, а боковые и низовая безнапорная части выполнены из гибкой прорезиненной мелиоративной ткани.

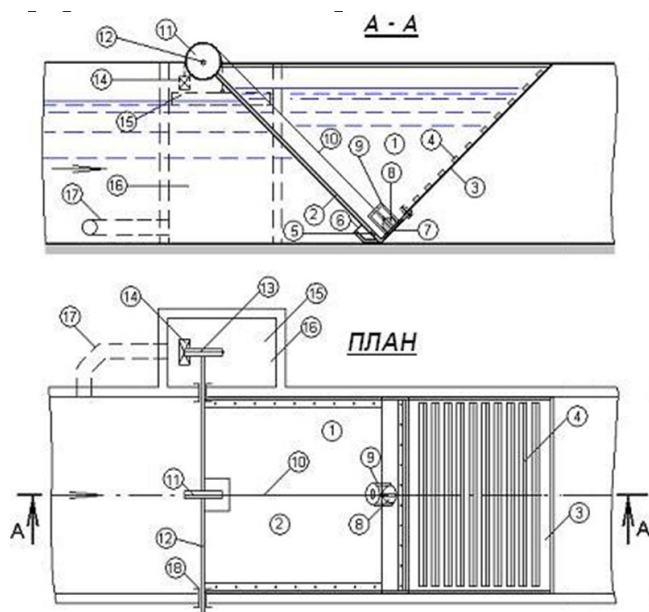


Рис. 1. Авторегулятор уровня воды с гибкими рабочими органами.

Для удешевления затвора напорную часть затвора 2 лучше выполнить в виде жесткой плоской рамы, покрытой гибкой прорезиненной мелиоративной тканью. В закрытом состоянии напорная часть затвора образует угол с горизонталью, 90 градусов. Для улучшения гидравлических условий истечения воды из-под затвора напорная часть 2 затвора снабжена жестким козырьком 6 в нижней части. Ёмкость затвора имеет входное отверстие 5, площадь которого в 4–6 раз меньше площади выходного отверстия 7.

Это обеспечивает условие для быстрого опорожнения ёмкости затвора, когда уровень воды перед перегораживающим сооружением поднимается выше установленного. Ёмкость затвора 1 заполняется через постоянно открытое впускное отверстие 5 и опорожняется через выпускное отверстие 7, оснащенное шаровым клапаном 8, который соединен посредством троса 10 с жестким блоком 11, установленным в середине оси вращения затвора 12. Перемещение клапана ограничено направляющими 9, которые позволяют ему перемещаться в направлении для закрытия и открытия выходного отверстия из ёмкости затвора авторегулятора уровня воды. На одном конце оси вращения затвора имеется блок 13, жестко соединенный с осью вращения затвора. С одной стороны этого блока на тросе подвешен поплавок 15, опущенный в поплавковую камеру, а с другой стороны к блоку подвешен противовес 14. Ёмкость поплавковой камеры, чтобы обеспечить в ней тот же уровень воды, что и в канале перед перегораживающим сооружением, сообщается трубой 17 с частью канала перед местом установки авторегулятора

уровня воды с гибкими рабочими органами перегораживающего сооружения. Регулирование уровня воды на участке канала перед перегораживающим сооружением осуществляется следующим образом. При отсутствии воды в канале затвор авторегулятора уровня воды находится в закрытом, опущенном состоянии под действием собственного веса, его поплавков также опущен, выпускное отверстие находится в закрытом состоянии, слив воды из ёмкости затвора не происходит. При появлении воды в канале, вода поступает в ёмкость затвора через входное отверстие ёмкости затвора, затвор опускается под действием собственного веса и веса воды в ёмкости затвора. Когда уровень воды в части канала перед перегораживающим сооружением поднимается выше установленного уровня, поплавок поднимается вместе с уровнем воды. Под действием веса противовеса ось затвора поворачивается вместе с ней, и соединенный с ней трос клапана частично наматывается на блок. В этом случае клапан поднимается, открывая выходное отверстие из ёмкости затвора авторегулятора. После этого ёмкость затвора начинает уменьшаться, вес затвора уменьшается. Напорная часть и, следовательно, весь затвор поднимаются, увеличивая истечение потока воды из-под затвора. В то же время, безнапорная и боковые части затвора авторегулятора, изготовленные из мягкой прорезиненной мелиоративной ткани, складываются, благодаря планкам, расположенным на внутренней стороне безнапорной части затвора авторегулятора, обеспечивая истечение воды из-под него. В результате уровень воды в канале перед перегораживающим сооружением снижается и поплавок опускается, клапан закрывает выходное отверстие, ёмкость затвора заполняется через постоянно открытое входное отверстие, его вес увеличивается, и затвор опускается, увеличивая уровень воды в канале перед перегораживающим сооружением.

Далее, уровень воды в канале перед перегораживающим сооружением поднимается выше заданного, и процесс повторяется до тех пор, пока в канале перед перегораживающим сооружением не будет установлен заданный уровень воды. Пропускная способность затвора предлагаемого авторегулятора уровня воды, представляющего собой жесткую плоскую напорную часть, образующую вместе с прорезиненной мелиоративной тканью ёмкость затвора авторегулятора, состоит из расхода воды, вытекающей из-под напорной части затвора и расхода воды, вытекающей через его боковые зазоры. Истечение воды из-под напорной части затвора предлагаемого авторегулятора уровня воды можно рассматривать как истечение из-под напорной части затвора, то есть наклонной плоской части затвора, образующей в закрытом состоянии максимальный угол $\theta_{\max} = 45^\circ$ с горизонталью. Во время работы затвора угол наклона напорной части затвора θ может варьировать от 45° до 0° .

Расход воды из-под напорной наклонной щитовой части затвора под углом θ к горизонту определяется по известной формуле, описанной в работе П.Г.Киселева, А.Д.Альтшуль, Н.Б.Данильченко, А.А.Каспарсон, Г.И.Кривченко, Н.Н.Пашкова, С.М.Слисского.

$$Q_1 = \mu \cdot a \cdot b_p \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot (H - \varepsilon \cdot a)} \quad (1)$$

где: Q_1 - расход водного потока из-под затвора авторегулятора уровня воды при отсутствии боковых истечений; H - глубина водного потока перед затвором авторегулятора уровня воды; b_p - ширина отверстия затвора

авторегулятора уровня воды; a – высота открытия затвора авторегулятора уровня воды; g – ускорение свободного падения; ε – коэффициент вертикального сжатия потока воды при истечении из-под затвора авторегулятора уровня воды, $\varepsilon = f(a/H, \theta)$.

Расход водного потока через боковые зазоры затвора авторегулятора может быть определен теоретически. Схема бокового зазора между напорной частью затвора и боковой стенкой перегородающего сооружения показана на рис. 2.

Где приняты следующие обозначения: H – глубина воды перед плоским напорным щитом затвора; r – высота центра поворота плоского напорного щита затвора относительно дна отверстия; R – радиус поворота плоского щита затвора; h – глубина воды на произвольном участке; a – значение высоты открытия плоского напорного щита затвора; a_h – открытие затвора на произвольном участке плоского напорного щита затвора.

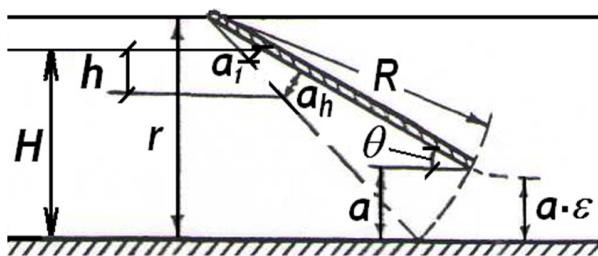


Рис. 2. Схема бокового зазора между напорной частью затвора и боковой стенкой отверстия.

Элементарный расход воды через боковой зазор между плоским напорным щитом затвора авторегулятора уровня воды и боковой стенкой отверстия перегородающего сооружения, исходя из расчетной схемы на рис. 2, может быть представлен в виде:

$$dQ_2 = u \cdot b_b \cdot d\omega \quad (2)$$

где: u – скорость течения воды через боковой зазор; ω – элементарная площадь бокового зазора, b_b – ширина бокового зазора. При подстановке в формулу (1) значения скорости u и элементарной площади бокового зазора ω из расчетной схемы на рис. 2, получится следующее выражение:

$$dQ_2 = d\omega \cdot b_b \cdot \varepsilon \cdot \phi \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h} \quad (3)$$

Из расчетной схемы на фигуре 2 получается формула для определения элементарной площади бокового зазора:

$$d\omega = \sqrt{2} / 2 \cdot \sin(\pi / 4 - \theta) / \sin \theta \cdot [(c+h)^2 - c^2] \cdot dh \quad (4)$$

где: c – постоянная величина, $c = r - H$.

При подстановке в формулу (3) значения $d\omega$ из формулы (4) получается следующее выражение

$$dQ_2 = \varepsilon \cdot \phi \cdot b_b \cdot \sqrt{2} \cdot g \cdot h \cdot \sqrt{2} / 2 \cdot \sin(\pi / 4 - \theta) / \sin \theta \cdot [(c+h)^2 - c^2] \cdot dh \quad (5)$$

При интегрировании правой и левой частей уравнения (5) получается:

$$\int_0^{Q_2} dQ_2 = \int_0^h \varepsilon \cdot \phi \cdot b_b \cdot \sqrt{g} \cdot \sin(\pi / 4 - \theta) / \sin \theta \cdot \sqrt{h} \cdot [(c+h)^2 - c^2] \cdot dh \quad (6)$$

В результате интегрирования выражения (6) общий расход воды через один боковой зазор затвора авторегулятора уровня воды равен:

$$Q_2 = 2 \cdot \varepsilon \cdot \phi \cdot b_b \cdot \sqrt{g} \cdot \sin(\pi / 4 - \theta) / \sin \theta \cdot H^{5/2} \cdot (2 \cdot c / 5 + H / 7) \quad (7)$$

Общий расход через затвор авторегулятора уровня воды будет при свободном истечении:

$$Q = Q_1 + 2 \cdot Q_2 \quad (8)$$

$$Q = \mu \cdot a \cdot b_p \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot (H - \varepsilon \cdot a)} + 4 \cdot \varepsilon \cdot \phi \cdot b_b \cdot \sqrt{g} \cdot \sin(\pi / 4 - \theta) / \sin \theta \cdot H^{5/2} \cdot (2 \cdot c / 5 + H / 7) \quad (9)$$

Чтобы доказать работоспособность авторегулятора уровня воды с гибкими рабочими органами и выяснить правильность теоретических формул для определения пропускной способности затвора предлагаемой конструкции авторегулятора уровня воды с гибкими рабочими органами проведены экспериментальные исследования. Экспериментальная установка показана на рис. 3.

Она состояла из лотка прямоугольного сечения с шириной дна 0,5 м, длиной 12 м и высотой 0,5–1 м. Максимальный расход воды, подаваемой в лоток, составлял 0,0561 м³/с. Лоток имел замкнутую систему подачи воды, которая снабжалась насосом. Моделирование исследуемых явлений осуществлялось по критериям гравитационного подобия Фруда, динамического подобия сил, критерия подобия динамических процессов при действии сил упругости (критерия Коши).

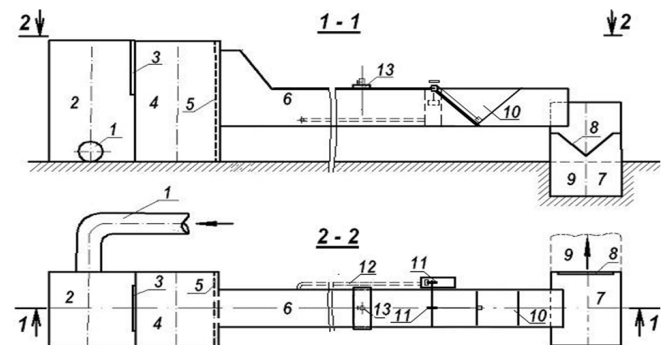


Рис. 3. Экспериментальная установка.

1 – труба, подводящая воду от насоса; 2 – успокоительный бак №1; 3 – мерный треугольный водослив с тонкой стенкой; 4 – успокоительный бак №2; 5 – гасители энергии водного потока в виде решетки; 6 – лоток; 7 – успокоительный бак №3; 8 – мерный треугольный водослив с тонкой стенкой Томсона; 9 – водосбросная траншея; 10 – исследуемая модель; 11 – поплавок; 12 – труба, сообщающая поплавок камеру регулятора уровня воды с участком лотка перед моделью; 13 – передвижная полка с установленной на ней шпигуномасштабом.

Эти критерии описаны, в известных работах П.Г.Киселева, А.Д.Альтшуль, Н.Б.Данильченко, А.А.Каспарсон, Г.И.Кривченко, Н.Н.Пашкова, С.М.Слисского и работах В.А.Прокофьева, Г.А.Судольского [20], А.И.Есина [21], М.И.Бальзаникова [22], Ю.Ким, Г.Чой, Х.Пак и С.Бён [23]. Исследования проводились методом физического моделирования, используя критерий геометрического подобия модели и натуре при числах Рейнольдса

$Re = 7145 - 56202 > Re_{kr} = 300$, что соответствует квадратичной области сопротивления для открытых русел и числах Фруда $Fr = 0,51 - 10,5$ при автомодельности рассматриваемых явлений.

Моделирование эластичного материала проводилось по максимальному погонному натяжению по известным рекомендациям А.П. Назарова. Масштаб моделей по отношению к натуре был принят 1:4.

Для исследования пропускной способности были использованы две модели, одна модель водонаполняемого затвора авторегулятора уровня воды с гибкими рабочими

ми органами для перегораживающего сооружения, показанная на рис. 1, другая модель, выполненная в виде напорного щита, показанная на рис. 4.

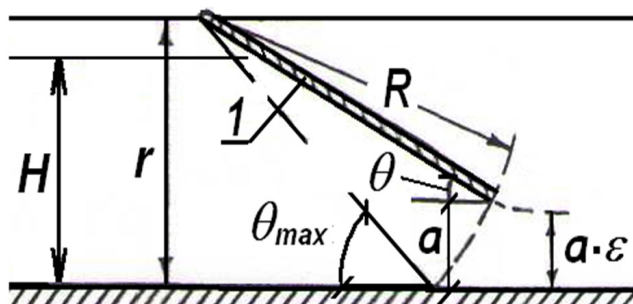


Рис. 4. Модель для исследования расхода воды из-под напорной плоской части затвора без учёта боковых истечений, выполненная в виде плоского щита. 1 – плоский щит.

Модель, показанная на рис. 4, была исследована для определения расхода воды при истечении из-под наклонного плоского щита при отсутствии боковых истечений. Эта модель состояла из напорной части затвора в виде плоского щита, имеющего ширину 0,5 м и длину, равную 0,71 м, устанавливаемого в лотке экспериментальной установки с фиксированными углами θ между линией установки плоского щита и горизонталью.

Исследования модели, показанной на рис. 4 проводились при фиксированных углах: $\theta = 6^\circ; 10^\circ; 15^\circ; 20^\circ; 25^\circ; 30^\circ; 35^\circ; 40^\circ$. Интервал изменения фиксированного угла был взят в диапазоне от $\theta = 4^\circ$ до $\theta = 5^\circ$, чтобы учесть разброс опытных точек при построении зависимости $\mu = f(a/H)$. Расход потока воды, проходящего через лоток, измерялся с помощью треугольного водослива с тонкой стенкой, уровень воды измерялся с помощью шпигельмасштабов, угол наклона плоского напорного щита жёстко фиксировался в боковых стенках лотка экспериментальной установки, на которой он был установлен, при фиксации угол измерялся транспортиром. Коэффициент расхода μ определялся из известной формулы (1) для истечения из отверстий. Коэффициент вертикального сжатия определялся как $\epsilon = f(a/H, \theta)$ по графику на рис. 5. Этот график построен по данным Н.Е. Жуковского, представленным в виде таблицы в известной работе П.Г. Киселева, А.Д. Алтшуля, Н.Б. Данильченко, А.А. Каспарсон, Г.И. Кривченко, Н.Н. Пашкова, С.М. Слискова.

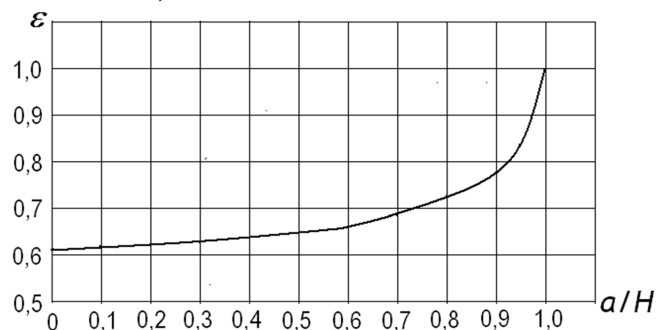


Рис. 5. График зависимости $\epsilon = f(a/H, \theta)$ для определения коэффициента вертикального сжатия ϵ при истечении воды из-под плоского напорного щита при фиксированном угле его наклона θ (при отсутствии боковых истечений). a – высота отверстия щита, H – напор над горизонтальной плоскостью, проходящей через отметку дна щита.

Анализ результатов и примеры. На основе математической обработки результатов исследований был построен график зависимости $\mu = f(a/H)$. При фиксированных углах открытия плоского щита: $\theta = 6^\circ; 10^\circ; 15^\circ; 20^\circ; 25^\circ; 30^\circ; 35^\circ; 40^\circ$ и отсутствии боковых истечений он представлен на рис. 6.

Из этого графика видно, что в диапазоне изменения $a/H = 0,2-0,75$ коэффициент расхода μ в зависимости от угла наклона плоского щита к горизонту изменяется в следующих пределах:

- при $\theta = 6^\circ$, $\mu = 0,923-0,920$;
- при $\theta = 10^\circ$, $\mu = 0,903-0,891$;
- при $\theta = 15^\circ$, $\mu = 0,864-0,868$;
- при $\theta = 20^\circ$, $\mu = 0,833-0,840$;
- при $\theta = 25^\circ$, $\mu = 0,811-0,817$;
- при $\theta = 30^\circ$, $\mu = 0,787-0,795$;
- при $\theta = 35^\circ$, $\mu = 0,763-0,780$;
- при $\theta = 40^\circ$, $\mu = 0,744-0,761$.

Коэффициент расхода водного потока μ при истечении из-под затвора авторегулятора уровня воды при отсутствии боковых истечений определялся из формулы (1), где:

ϵ – коэффициент вертикального сжатия потока воды, определялся при истечении из-под затвора авторегулятора уровня воды при отсутствии боковых истечений по графику на рис. 5.

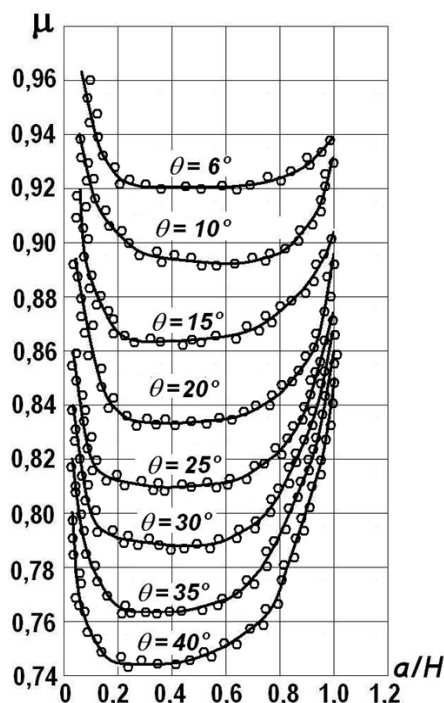


Рис. 6. Графики зависимости $\mu = f(\theta, a/H)$ при истечении из-под плоского напорного щита при фиксированном его угле наклона θ (при отсутствии боковых истечений). (Кружочками показаны данные, полученные в результате экспериментальных исследований.)

Исследуемая модель авторегулятора уровня воды гибкими рабочими органами показана на рис. 1. Она состояла из напорной части затвора в виде плоского щита, имела ширину 0,494 м и длину, равную 0,71 м, боковые зазоры затвора составляли 0,003 м с каждой стороны.

Диаметр входного отверстия в ёмкость затвора авторегулятора уровня воды был принят 0,025 м, а выходного отверстия 0,05 м. Диаметр шарового клапана был принят 0,06 м.

Ёмкость поплавковой камеры модели авторегулятора уровня воды с гибкими рабочими органами сообщалась с ёмкостью лотка на участке перед моделью затвора авторегулятора уровня воды трубой диаметром 0,04 м. Вход в эту трубу располагался на расстоянии 1,5 м в лотке до места расположения модели затвора авторегулятора уровня воды. Поплавок устройства для фиксации уровня воды был изготовлен из пенопласта. Поплавковая камера имела прямоугольную форму, её ширина составляла 0,08 м, а длина 0,10 м. Глубина поплавковой камеры была принята 0,5 м. Поплавок имел следующие размеры: ширину 0,075 м, длину 0,095 м и толщину 0,06 м. Основная часть всех экспериментов проводилась с последовательным увеличением расхода потока воды. Все параметры измерялись через 15–20 минут после изменения расхода воды или какого-нибудь другого параметра. В это время лоток был настроен на режим постоянного расхода потока воды.

Для определения расхода боковых истечений при исследовании затвора авторегулятора уровня воды с гибкими рабочими органами была изучена модель, показанная на рис. 1.

В исследованиях общий поток воды, проходящий через лоток, измерялся треугольным водосливом с тонкой стенкой Томсона, установленным в нижнем бьефе за моделью авторегулятора уровня воды в водосбросной траншее. При исследованиях через лоток пропускались расходы потока воды Q от 0,005 м³/с до 0,0561 м³/с, исходное состояние предполагалось, когда во время транзита отсутствовал расход воды. Расход воды Q , проходящий через затвор авторегулятора уровня воды, с учетом боковых истечений, определялся по треугольному водосливу с тонкой стенкой Томсона.

Расход боковых истечений через затвор авторегулятора уровня воды определялся как:

$$Q_2 = Q - Q_1 \quad (10)$$

где: Q – общий расход потока воды, проходящий по лотку, Q_1 – расход истечения из-под затвора авторегулятора уровня воды с гибкими рабочими органами, определяемый по формуле (1), где коэффициент расхода μ определялся по графику на рис. 6.

На основе данных проведенных исследований был построен график зависимости $Q_1 / (Q_1 + Q_2) = f(a/H)$ на рис. 7.

Путем математической обработки экспериментальных исследований методом конечных разностей при $0,1 < a/H < 0,85$ получены следующие зависимости истечения через затвор авторегулятора уровня воды с гибкими рабочими органами с учетом боковых истечений:

$$Q_1 / (Q_1 + Q_2) = 0,89 - 0,13 \cdot a / H \quad (11)$$

Из формулы (11) путем алгебраических преобразований получена формула

$$Q_2 = [(0,11 + 0,13 \cdot a / H) / (0,89 - 0,13 \cdot a / H)] \cdot Q_1 \quad (12)$$

где: Q_2 – расход боковых истечений затвора авторегулятора уровня воды с гибкими рабочими органами, Q_1 – расход истечения из-под затвора авторегулятора уровня воды с гибкими рабочими органами без учёта боковых истечений. Исходя из (12), общий расход через затвор авторегулятора уровня воды будет составлять

$$Q_1 + Q_2 = Q_1 / (0,89 - 0,13 \cdot a / H) \quad (13)$$

Точность измерений расходов воды, идущих через затвор авторегулятора уровня воды, определялась следую-

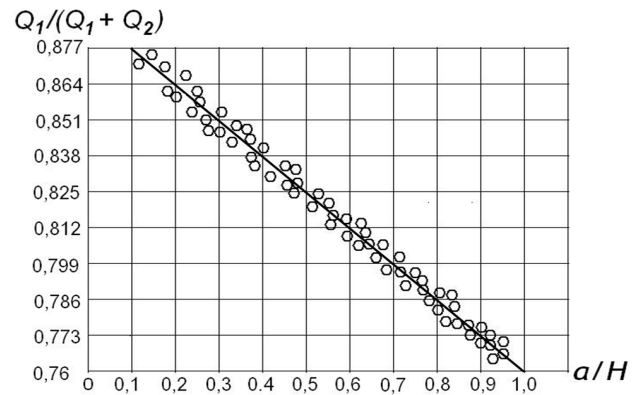


Рис. 7. График зависимости $Q_1 / (Q_1 + Q_2) = f(a/H)$. (Кружочками показаны данные, полученные в результате экспериментальных исследований)

щим образом: определялся расход воды Q по формуле (1) с учётом коэффициента расхода μ , определённого по графику на рис. 6, полученного в результате математической обработки результатов экспериментальных исследований и фактический расход воды, идущий через лоток экспериментальной установки, Q_1 . Затем определялась ошибка в точности по определению расхода воды ΔQ по следующей формуле

$$\Delta Q = (Q_1 - Q) \cdot 100\% / Q_1 \quad (14)$$

Эта ошибка показала, что точность определения расхода воды находится в допустимых пределах + 4–5 процентов

Для того, чтобы определить точность регулирования уровня (глубины) воды в верхнем бьефе авторегулятора уровня воды задавались несколько значений необходимых уровней (глубин) воды в верхнем бьефе, соответствующих глубине воды от дна лотка до верхней точки погружения поплавка в поплавковой камере h_z , равных а) 0,35 м, б) 0,25 м, в) 0,15 м. После этого пропускались расходы воды по лотку экспериментальной установки в диапазоне от 0,005 м³/с до 0,0561 м³/с. При каждом задаваемом расходе измерялась фактическая глубина воды, устанавливаемая в лотке h_f перед авторегулятором уровня воды с помощью шпитценмасштаба и определялась ошибка в точности регулирования уровня воды по формуле

$$\Delta h_z = (h_z - h_f) \cdot 100\% / h_z \quad (15)$$

Исходя из математической обработки результатов исследований точности регулирования уровня (глубины) воды в верхнем бьефе модели авторегулятора уровня воды с гибкими рабочими органами построены графики зависимости, рис. 8, которые показали ошибку в точности регулирования задаваемого уровня воды в верхнем бьефе авторегулятора уровня воды не более + 5%.

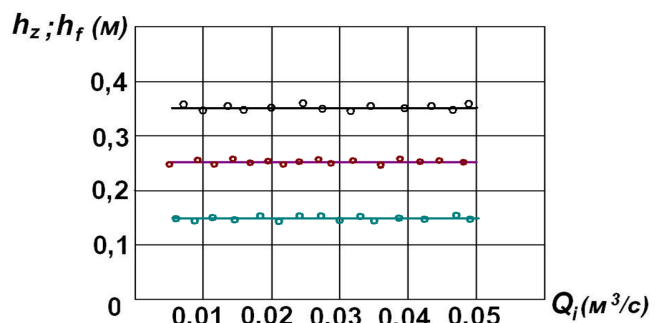


Рис. 8. Графики зависимостей $Q_1 = f(h_z)$.

На рис. 8 линиями показаны значения задаваемой глубины воды в верхнем бьефе авторегулятора уровня воды а) чёрного цвета при $h_z = 0,35$ м, б) красного цвета при $h_z = 0,25$ м и в) голубого цвета при $h_z = 0,15$ м; кружочками показаны фактические глубины воды h_p , устанавливаемые в лотке перед авторегулятором уровня воды в период экспериментальных исследований, а) чёрного цвета при $h_z = 0,35$ м, б) красного цвета при $h_z = 0,25$ м и в) голубого цвета при $h_z = 0,15$ м.

Выводы.

Исходя из недостатков ранее разработанных конструкций автоматических затворов-автоматов, гидравлических регуляторов уровня воды с гибкими рабочими органами, в работе представлена инновационная конструкция авторегулятора уровня воды с гибкими рабочими органами для перегораживающих сооружений каналов оросительной сети, в том числе для оснащения существующих перегораживающих сооружений, поскольку она не требует больших затрат при реконструкции.

Экспериментальные исследования показали:

1) При прохождении потока воды из-под затвора авторегулятора уровня воды с гибкими рабочими органами при отсутствии боковых истечений расход потока воды имеет тенденцию к увеличению с уменьшением угла между напорной частью затвора авторегулятора уровня воды горизонтальной плоскостью, что объясняется увеличением высоты водопропускного отверстия и коэффициента вертикального сжатия ϵ .

2) С увеличением отношения $a/H = 0,1-0,85$, когда расход воды проходит с истечением из-под затвора авторе-

гулятора уровня воды, коэффициент расхода μ увеличивается $\mu = 0,806-0,899$.

3) При $0,1 \leq a/H \leq 0,85$ отношение расхода потока воды, идущего из-под затвора авторегулятора уровня воды к общему расходу потока воды, с учётом боковых истечений подчиняется линейной зависимости (11), а расход боковых истечений можно определять по формуле (12).

- В работе выведена теоретическая формула для определения расхода потока воды, проходящего через боковые зазоры предлагаемого затвора авторегулятора уровня воды с гибкими рабочими органами (7) и дана формула для определения общего расхода потока воды, проходящего через затвор авторегулятора уровня воды с гибкими рабочими органами с учётом боковых истечений (9), которая согласуется с данными экспериментальных исследований, показанных в работе с точностью в пределах $+5-6$ процентов.

- Предлагаемая конструкция авторегулятора уровня воды с гибкими рабочими органами работает полностью на энергии движущегося потока воды, не требует электроэнергии, имеет допустимую точность регулирования уровня воды, в пределах $+5\%$, экономически выгодна, имеет низкую стоимость, в $5-7$ раз ниже традиционных металлических конструкций затворов-автоматов, не загрязняет окружающую среду, проста в эксплуатации, не требует больших трудозатрат при монтаже и эксплуатации, может изготавливаться и ремонтироваться эксплуатирующими организациями, ремонтпригодна, рекомендуется в качестве автоматического затвора-автомата на перегораживающих сооружениях каналов оросительной системы.

№	Литература	References
1	Пулотов Я. Э. Водосберегающие технологии орошения и эффективность использования воды в сельском хозяйстве // Журнал «Экология и строительство». – Душанбе, 2017. – № 4. – С. 21–26.	Pulatov Ya.E. 2017. <i>Vodosberegayushchie tekhnologii orosheniya i effektivnost' ispol'zovaniya vody v sel'skom khozyaystve</i> [Water-saving irrigation technologies and efficiency of water use in agriculture] // Ecology and Construction Magazine. Dushanbe, № 4, pp. 21-26. (In Russian).
2	Koshkarova T.S., Medvedeva L.N., Novikov A.A., Voyevodina L.A., 2020. Organization of water accounting and water saving of irrigation water based on world experience in the conditions of changing climate. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 14 Oct., vol. 577, iss. 1, article number: 012013, DOI: 10.1088/1755-1315/577/1/012013.	Koshkarova T.S., Medvedeva L.N., Novikov A.A., Voyevodina L.A., 2020. Organization of water accounting and water saving of irrigation water based on world experience in the conditions of changing climate. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 14 Oct., vol. 577, iss. 1, article number: 012013, DOI: 10.1088/1755-1315/577/1/012013.
3	Щедрин В.Н., Васильев С.М., Чураев А.А. Комплексный подход к оценке поколений оросительных систем на основе средств имитационного моделирования сложных систем // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – Нижневолжск, 2013. – № 4(32). – С. 189–193.	Shchedrin V.N., Vasiliev S.M., Churaev A.A., 2013. <i>Kompleksnyy podkhod k otsenke pokoleniy orositel'nykh sistem na osnove sredstv imitatsionnogo modelirovaniya slozhnykh sistem</i> [An integrated approach to the assessment of generations of irrigation systems based on simulation tools of complex systems] // Proceedings of the Nizhnevolzhsky agrouniversitetskiy complex: Science and higher professional education. Nizhnevolzhsk, 2013 №. 4(32), pp. 189-193. (In Russian).
4	Алдошкин А. А. Концепции необходимости разработки инновационных технологий строительства оросительных систем // Вестник мелиоративной науки. – Москва, 2020. – № 2. – С. 58–65.	Aldoshkin A.A., 2020. <i>Kontseptsii neobkhodimosti razrabotki innovatsionnykh tekhnologiy stroitel'stva orositel'nykh sistem</i> [Concepts of the need to develop innovative technologies for the construction of irrigation systems] // Bulletin of Meliorative Science. Moscow, 2020. №. 2, pp. 58-65. (In Russian).

5	Халифа, Э.М., Эльтавил, М.А., Мелеха, М.Э., и Шараф, М.М. (2009). Совершенствование управления орошенными водами с использованием разработанных оросительных каналов // Журнал «Почвоведения и сельскохозяйственной инженерии». – Москва, 34(6). – С. 7481–7503.	Khalifa, E. M., Eltawil, M. A., Meleha, M. E., & Sharaf, M. M. (2009). <i>Sovershenstvovanie upravleniya oroshennymi vodami s ispol'zovaniem razrabotannykh orositel'nykh kanalov</i> [Enhancing the irrigation water management using developed irrigation canals] // Journal of Soil Sciences and Agricultural Engineering, 34(6), 7481–7503. https://doi.org/10.21608/jssae.2009.103878
6	Gadge, P. P., Jothiprakash, V., & Bhosekar, V. V. (2019). Hydraulic design considerations for orifice spillways. // ISH Journal of Hydraulic Engineering, 25(1), Pp 12–18. https://doi.org/10.1080/09715010.2018.1423579	Gadge, P. P., Jothiprakash, V., & Bhosekar, V. V. (2019). Hydraulic design considerations for orifice spillways. // ISH Journal of Hydraulic Engineering, 25(1), Pp12–18. https://doi.org/10.1080/09715010.2018.1423579
7	Мелихов К.М., Пахомов А.А., Колобанова Н.А. Возможность автоматизации подачи заданного расхода воды на открытых оросительных системах // Международный научно-исследовательский журнал. – Москва, 2016. – № 10(52). – С. 161–163.	Melikhov K.M., Pakhomov A.A., Kolobanova N.A., 2016. <i>Vozmozhnost' avtomatizatsii podachi zadannogo raskhoda vody na otkrytykh orositel'nykh sistemakh</i> [The possibility of automating the supply of a given water flow rate on open irrigation systems] // International Scientific Research Journal. Moscow, 2016. № 10(52), pp. 161–163. (In Russian).
8	В.Н.Щедрин, А.А.Чураев, В.М.Школьная, Л.В. Юченко. Моделирование динамического управления водораспределением на каналах открытой оросительной сети // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. – Москва, 2015. – № 4(20). С. 1–20. URL: http://www.rosniipm-sm.ru/articlen=819 (дата обращения: 01.11.2021).	Shchedrin V.N., Churaev A.A., Shkolnaya V.M., Yuchenko L.V., 2015. <i>Modelirovanie dinamicheskogo upravleniya vodoraspredeleniem na kanalakh otkrytoy orositel'noy seti</i> [Simulation of dynamic management of water distribution at canals of open irrigation network]. // Ecology and Construction Magazine. Tajikistan Scientific Journal of the Russian Research Institute of Land Reclamation Problems [Electronic resource]. Moscow, 2015. №4(20), pp. 1–20, available: http://www.rosniipmsm.ru/articlen 819 [accessed 01.11.2021]. (In Russian).
9	В.И.Ольгаренко, Н.С.Степанова, О.П.Кисаров, И.В. Ольгаренко. Математическое моделирование и исследование течений в Миусской оросительной системе на имитационной модели // Известия ЮФУ. – Москва, 2012. – № 6(131). – С. 52–56.	Olgarenko V.I., Stepanova N.S., Kisarov O.P., Olgarenko I.V. <i>Matematicheskoe modelirovanie iissledovanie techeniy v Miusskoy orositel'noy sisteme na imitatsionnoy modeli</i> [Mathematical modeling and investigation of flows in the Mius irrigation system on a simulation model]// Bull. YuFU. Moscow, 2012. №6(131), pp. 52–56. (In Russian).
10	Бальзанников М.И. Основные методы совершенствования конструкции шлюзов гидротехнических сооружений // Известия высших учебных заведений. – Москва: Строительство, 2018. – № 12. – С. 94–108.	Balzannikov M.I. <i>Osnovnye metody sovershenstvovaniya konstrukcij zatvorov gidrotekhnicheskikh sooruzhenij</i> [The main methods of improving the design of locks of hydraulic structures]// News of Higher Educational Institutions. Construction, № 12, pp. 94–108, 2018.
11	Овчинников А.С., Киселёва Р.З., Мелихов К.М., Киселёв А.А. Автоматические регуляторы для оснащения гидротехнических сооружений при орошении риса // Журнал «Известия Нижневолжского Агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование». – Нижневолжск, 2022. – № 1 (65). –С. 342–351. DOI: 10.32786/2071-9485-2022-01-33	Ovchinnikov A.S., Kiseleva R.Z., Melikhov K.M., Kiselev A.A. <i>Avtomaticheskie regulatory dlya osnashcheniya gidrotekhnicheskikh sooruzheniy pri oroshenii risa</i> [Automatic regulators for equipment of hydrotechnical structures for rice irrigation] // Journal "Izvestiya Nizhnevolzhskogo Agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vysshee professional'noe obrazovanie". Nizhnevolzhsk, 2022, №. 1 (65), pp. 342–351. DOI: 10.32786/2071-9485-2022-01-33 (in Russian)
12	Tomiyama, T., & Nishizaki, I. (2020). Applicability of fiber reinforced plastics to hydraulic gates. In Composites in Civil Engineering, CICE 2006, pp. 453–456. International Institute for FRP in Construction (IIFC).	Tomiyama, T., & Nishizaki, I. (2020). Applicability of fiber reinforced plastics to hydraulic gates. In Composites in Civil Engineering, CICE 2006, pp. 453–456. International Institute for FRP in Construction (IIFC).

13	Уэстон Д., Чартуни Г., Далтон Л., Форс Д., Тро- виллион Дж., Зумбулев К., Макмиллен Р. (2021). Использование композитного материала для сек- торных и вертикальных подъемных ворот. Во Все- мирном конгрессе по экологическим и водным ресурсам 2021г. Планирование устойчивого буду- щего в пресноводных районах Америки - Избран- ные документы Всемирного конгресса по экологи- ческим и водным ресурсам 2021 г. С. 116–121. Американское общество инженеров-строителей (ASCE).	Loginov V.I., Rtishchev S.M., Kozyrev V.N., Ilemenov M.V., Mikhaylova E.D. <i>Ispol'zovanie kompozitnogo materiala dlya sektornykh i vertikal'nykh pod'emnykh vorot</i> [Development and application of pre-erected hydraulic structures based on mobile water-filling dams to protect infrastructure in emergency situations associated with dangerous hydrological phenomena. // Journal of Hydraulic engineering construction. The Ministry of Energy of the Russian Federation PJSC "RusHydro". No. 2. 2020, pp. 14-20. (in Russian)
14	Новиков С.Г., Куценко В.Н. Использование мобиль- ных гибких защитных гидротехнических соору- жений из композитных материалов для снижения последствий ущерба от водных катастроф // Журнал «Провинциальные научные записки». – Курск, 2019. – № 1 (9). – С. 114-117. ЧОУ ВО Региональный открытый социальный институт. Курск.	Novikov S.G., Kutsenko V.N. <i>Ispol'zovanie mobil'nykh gibkikh zashchitnykh gidrotekhnicheskikh sooruzheniy iz kompozitnykh materialov dlya snizheniya posledstviy ushcherba ot vodnykh katastrof</i> [Innovative mobile flexible protective hydrotechnical structures from composite materials]. // The journal "Provinsialnye zapiski". Kursk, 2019, No. 1 (9), pp. 114-117. CHOU VO Regionalnyy otkrytyy sotsialnyy institute. Kursk. (In Russian)
15	Логинов В.И., Ртищев С.М., Козырев В.Н., Илемен- ов М.В., Михайлова Е.Д. Разработка и примене- ние быстровозводимых гидротехнических соору- жений на основе водоналивных мобильных дамб для защиты инфраструктуры при чрезвычайных ситуациях, связанных с опасными гидрологиче- скими явлениями // Журнал "Гидротехническое строительство". – Москва, 2020. – № 2. – С. 14-20.	Loginov V.I., Rtishchev S.M., Kozyrev V.N., Ilemenov M.V., Mikhaylova E.D. <i>Razrabotka i primenenie bystrovovodimykh gidrotekhnicheskikh sooruzheniy na osnove vodonalivnykh mobil'nykh damb dlya zashchity infrastruktury pri chrezvychaynykh situatsiyakh, svyazannykh s opasnymi gidrologicheskimi yavleniyami</i> [Development and application of pre-erected hydraulic structures based on mobile water-filling dams to protect infrastructure in emergency situations associated with dangerous hydrological phenomena] // Journal of Hydraulic engineering construction. Moscow. 2020, No. 2. pp. 14-20. (in Russian)
16	Hydraulic automatic regulator of level with flexible working bodies. To cite this article: Mukaddas- GaukharKadirova . Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers, E3S Web of Conferences 264, 03039 (2021) CONMECHYDRO – 2021.https://doi.org/10.1051/e3sconf/202126403039	Hydraulic automatic regulator of level with flexible working bodies. To cite this article: Mukaddas-GaukharKadirova . Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers, E3S Web of Conferences 264, 03039 (2021) CONMECHYDRO – 2021.https://doi.org/10.1051/e3sconf/202126403039
17	The shutter-automatic machine throughput of the washing device of the water level automatic regulator. To cite this article: Mukaddas-GaukharKadirova Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers, E3S Web of Conferences 264, 03065 (2021) CONMECHYDRO – 2021 https://doi. org/10.1051/202126403065	The shutter-automatic machine throughput of the washing device of the water level automatic regulator. To cite this article: Mukaddas-GaukharKadirova Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers, E3S Web of Conferences 264, 03065 (2021) CONMECHYDRO – 2021 https:// doi.org/10.1051/e3sconf/202126403065
18	Кадилова М.-Г.А. Авторегулятор уровня воды для лотковых каналов параболического сечения. // Журнал "Гидротехника". № 2/2022 (Июнь-Август) / Проект Медиагруппы "Порт Ньюс". ISSN 2227- 8400. Наука и техника, с. 26-31. www.hydroteh.ru// doi:10.55326/22278400_2022_2_26 – С. 50-54.	Kadirova M.-G.A. <i>Avtoregulyator urovnya vody dlya lotkovykh kanalov parabolicheskogo secheniya</i> [Autoregulator of water level for tray channels of parabolic section] //The journal "Hydraulic Engineering". No. 2/2022 (June-August) / Project of The Media Group "Port News". ISSN 2227-8400. Science and Technology, pp. 26-31. www.hydroteh. ru//doi: 10.55326/22278400_2022_2_26

19	Кадилова М.-Г. А. Конструкция мобильной плотины для создания резерва и автоматического регулирования уровня воды на малых реках и водотоках в чрезвычайных ситуациях. Материалы секции № 1 XXXII Международной научно-практической конференции. Предупреждение, Спасение. Помощь. Химки. Издательство: Академия гражданской защиты Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий имени генерал-лейтенанта Д.И. Михайлика (Химки), 2022, с. 49-53. Идентификационный номер: 48575635.	Kadirova M.-G. A. <i>Konstrukciya mobil'noy plotiny dlya sozdaniya rezerva i avtomaticheskogo regulirovaniya urovnya vody na malykh rekakh i vodotokakh v chrezvychajnykh situatsiyakh</i> Construction of a mobile dam to create a backup and automatic regulation of the water level on small rivers and watercourses in emergency situations. Proceedings of section No. 1 of the XXXII International Scientific and Practical Conference. Prevention. Salvation. Help. Khimki. Publishing house: Academy of Civil Protection of the Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters named after Lieutenant General D.I. Mikhailik (Khimki), 2022, pp: 49-53. ID: 48575635. (In Russian)
20	Прокофьев В.А., Судольский Г.А. Гибридное моделирование гидродинамики водосбросных сооружений ГЭС // Журнал «Гидротехническое строительство». – Москва, 2021. – № 8. – С. 60-66.	Prokofev V.A., Sudolskii G.A. <i>Gibridnoe modelirovanie gidrodinamiki vodosbrosnykh sooruzheniy GES</i> [Hybrid modeling of hydrodynamics of spillway structures of hydroelectric power plants]. // Journal. Hydraulic engineering construction. Moscow, 2021, No. 8, pp. 60-66.
21	Есин А.И. Математическое моделирование работы водосбросного сооружения по схеме истечения из-под шита // Журнал “Природообустройство”. – Москва, 2011. – № 5. – С. 83-86.	Esin A.I. <i>Matematicheskoe modelirovanie raboty vodosbrosnogo sooruzheniya po skheme istecheniya iz-pod shchita</i> [Mathematical simulation of operation of spillway works according to the scheme of water outflow from under the gate] // The journal “Prirodoobustroystvo”. Moscow. 2011, No. 5, pp. 83-86. (In Russian)
22	Михаил Бальзанников. Исследования конструкций затворов в гидротехнике. Серия конференций IOP 2019 года: Материаловедение и инженерия XXVIII Семинар R-P-S 2019 IOP Conf. Серия: Материаловедение и инженерия 661 (2019) 012056 Издательство IOP doi:10.1088/1757-899X/661/1/012056 – С. 50-54.	Mikhail Balzannikov. <i>Issledovaniya konstrukcij zatvorov v gidrotekhnike</i> [Studies of Structures of Gates in Hydraulic Engineering]. 2019 IOP Conference Series: Materials Science and Engineering XXVIII R-P-S Seminar 2019 IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 661 (2019) 012056 IOP Publishing doi:10.1088/1757-899X/661/1/012056
23	Ким Ю., Чой Г., Пак Х. и Бён С. (2015). Гидравлический прыжок и рассеивание энергии со шлюзовым затвором // Журнал “Вода”. – Швейцария, 7 (9), 5115–5133. https://doi.org/10.3390/w7095115	Kim, Y., Choi, G., Park, H., & Byeon, S. (2015). <i>Gidravlicheskiy pryzhok i rasseivanie energii so shlyuzovym zatvorom</i> [Hydraulic jump and energy dissipation with sluice gate] // Journal “Water”. Switzerland, 7(9), 5115–5133. https://doi.org/10.3390/w7095115