

УДК: 627.837

## АВТОРЕГУЛЯТОР УРОВНЯ ВОДЫ ДЛЯ КАНАЛОВ ПАРАБОЛИЧЕСКОГО СЕЧЕНИЯ 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 рассматривается предлагаемая конструкция авторегулятора уровня воды с гибкими рабочими органами для каналов параболического сечения оросительной системы. В статье рассматривается Предлагаемая конструкция авторегулятора уровня воды с гибкими рабочими органами для каналов параболического сечения оросительной системы выполняется в виде затвора, представляющего собой ёмкость, образованную жёстким дном, напорной частью, выполненной из гибкой прорезиненной мелиоративной ткани, жёсткой водосливной каркасной частью безвакуумного профиля, обтянутой гибкой мелиоративной тканью и мягкими боковыми элементами, выполненными также из гибкой прорезиненной мелиоративной ткани, являющимися продолжением напорной и водосливной частей. Регулирование уровня верхнего бьефа осуществляется с помощью датчика уровня воды верхнего бьефа. Для определения пропускной способности затвора этой конструкции выведена теоретическая формула и проведены экспериментальные исследования по определению значений коэффициента расхода. Исследования проводились на экспериментальной установке методом физического моделирования. В результате математической обработки исследований построен график зависимости, который показал, что коэффициент расхода затвора в зависимости от отношения толщины переливающегося слоя воды к высоте затвора подчиняется параболической зависимости. При этом разброс точек, полученных значений коэффициента расхода + 4–5 процентов. Также были проведены исследования точности регулирования задаваемого уровня воды в верхнем бьефе авторегулятора уровня воды. Они показали, что точность регулирования уровня составляет + 1 см на модели, что составляет ошибку в точности регулирования уровня не более + 5 процентов. Авторегулятор уровня воды выполняет функцию перегородивающего сооружения, не требует больших затрат, может быть переносным и стационарным, он не металлоёмок, лёгок, транспортабелен, совмещает в себе функции стабилизации необходимого уровня воды в канале, сброса излишков воды, плавника и мусора, обеспечивает подачу требуемого расхода воды в поливные оросители.

**Ключевые слова:** гидравлический, гибкие органы, прорезиненная мелиоративная ткань, каркасная часть, безвакуумный профиль, водослив, контролёр уровня воды.

## ПАРАБОЛА КЕСИМЛИ КАНАЛЛАРИ УЧУН СУВ САТҲИ АВТОРОСТАГИЧ 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

Таклиф этилган парабола кесимли каналлари учун эгилувчан органлари билан ясалган сув сатҳи авторостлагич конструкцияси кўриб чиқилди. Авторостлагич затвори сув ўтказиш қувватини аниқлаш учун назарий формуласи ишлаб чиқилди ва ушбу формуладаги сарф коэффициентлар қийматларини аниқлаш учун экспериментал тадқиқотлар бажарилди. Тадқиқотлар экспериментал лотокда ўрнатилган авторостлагич моделида амалдаги авторостлагичга нисбатан физик моделлаштириш усули бўйича бажарилди. Тадқиқотлар натижаларини математик ишлов берилиши асосида авторостлагич затвори сарф коэффициенти қийматларининг парабола шаклидаги функционал боғланиш эгри чизиғи ифодаси топилди. Бунда тадқиқотлар бўйича аниқланган сарф коэффициентлар қийматлари нуқталари парабола шаклидаги топилган функционал боғланиш эгри чизиғига нисбатан + 4–5 фоиз айирмасини кўрсатди. Бундан ташқари, юқори бьефида белгиланган сув чуқурлигини авторостлагич ушлаб турган чуқурлиги билан айирмасини аниқлаш тадқиқотлари ҳам бажарилди, ушбу айирмаси + 1 см бўлишини кўрсатди, ушбу кўрсаткич юқори бьефа белгиланган сув чуқурлигини хатоси + 5 фоиздан кўп бўлмастлигини кўрсатди. Демак, авторостлагич автоматик сув тўсувчи иншоот функциясини бажаради. Авторостлагични яшашга катта маблағ талаб этилмайди, стационар ва мобиль, демак, керак бўлса каналнинг бир жойидан иккинчи жойига ўтказишга имкониятига эга. У енгил, металлга бой эмас, авторостлагич олдида сув сатҳини бошқариш ва сув юзида оқиб келадиган жисмлар, оқизиклар, каналдаги ортикча сувларни тушириш ва каналдан суғориш тармоқларга керакли сув сарфини ўтказиш вазифасини бажаради.

**Таянч сўзлар:** гидравлик, эгилувчан элементлар, резиналаштирилган мелиоратив мато, ромли қисм, вакуумсиз профил, сув туширгич, сув сатҳини бошқарувчи асбоб.

## AUTOREGULATORY OF WATER LEVEL FOR CHANNELS OF PARABOLIC SECTION AND ITS CAPACITY

М.-Г.А.Кадирова – C.t.s., Associate Professor National Research University "Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers"

## Abstract

The proposed design of the water level autoregulator with flexible working bodies for the channels of the parabolic section of the irrigation system. Regulation of the water level in the upstream is carried out by means of a water level regulator in the upstream. To determine the flow capacity of the gate of this design, a theoretical formula was derived and experimental studies were carried out, as a result of which the values of the flow coefficients included in this formula were obtained. The study was carried out on an experimental installation by the method of physical modeling of the model and nature. As a result of mathematical processing of the gate model studies, a dependence graph was constructed, which showed that the gate flow rate, depending on the ratio of the thickness of the water layer flowing through the gate to the gate height, obeys a parabolic dependence. At the same time, the spread of points, the obtained values of the flow coefficient and relative to the values of the parabolic dependence was +4...5 percent. In addition, studies were conducted on the accuracy of regulating a given water level in front of the water level autoregulator. They showed that the accuracy of level control is +1 cm on the model, which is no more than +5 percent of the specified water depth in the upper reaches. This automatic water level regulator performs the function of a partition structure, does not require large costs, can be portable and stationary, it is not metal-intensive, lightweight, transportable, combines the functions of stabilizing the required water level in the channel, dumping excess water, fin and debris, provides the necessary flow of water into irrigation channels.

**Введение.** Современные масштабы развития гидротехники и мелиорации выдвигают проблему эффективного управления уровнем воды на оросительной системе, что можно обеспечить, лишь автоматизировав этот процесс. В настоящее время большое внимание уделяется вопросам бесперебойной работы, постоянной модернизации систем ирригации и других водохозяйственных и гидротехнических сооружений, развитию и внедрению современных инновационных и ресурсосберегающих технологий в водохозяйственный сектор, повышению эффективности эксплуатации сооружений на каналах оросительных систем, описанных в работах Я.Э.Пулатова [1], Т.С.Кошкаровой, 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.Эльгавил, М.Э.Мелеха, М.М.Шараф [5], П.П.Гадж, В.Джогипракаш и В.В.Бхосекар [6].

Для поддержания необходимого уровня воды в верхнем бьефе перегораживающих сооружений и подачи заданного постоянного расхода воды в отводы для экономного расходования воды потребителям проводится автоматизация перегораживающих сооружений на каналах, 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.Бальзаникова [10].

Исходя из особенностей существующих перегораживающих сооружений, массовости применения затворов на перегораживающих сооружениях ирригационных систем и удаленном расположении их от линий электропередач, среди них с точки зрения экономической эффективности наиболее целесообразна гидравлическая автоматизация их, то есть оснащение их гидравлическими затворами-автоматами, гидравлическими авторегуляторами уровня, работающими полностью на возобновляемой гидравлической энергии водного потока. Они обеспечивают экономное расходование воды, экономию электроэнергии, затрачиваемой на их работу, а также снижение затрат на эксплуатацию.

В настоящее время на перегораживающих сооружениях оросительных каналов нашли применение только некоторые конструкции гидравлических затворов-автоматов, описанные в известных работах Я.В.Бочкарёва, П.И.Коваленко, Э.Э.Маковского и других. Они выполнены из традиционных металлических материалов. Особенностью их является металлический затвор (плоский, сегментный, клапанный, секторный) той или конструкции, требование у них значительных перепадов уровня

воды, недопущение перелива воды через верх затвора, необходимость периодической механической очистки пространства перед затвором от плавника и мусора, необходимость устройства капитальных сооружений. Это дорого и мешает их широкому внедрению в производство.

Создание гибких прорезиненных тканей как нового вида строительных материалов, имеющих малый вес, гибкость, способность изменять форму с изменением нагрузки, высокая маневренность, как например, показанные в работе Т.Томяма и И.Нисидзаки [11], - создают большие перспективы использования их в качестве гибких органов в гидравлических авторегуляторах уровня воды. Поэтому, сегодня появились комбинированные гибкие конструкции гидравлических затворов – автоматов, авторегуляторов уровня воды. 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 [12], М.-Г.А.Кадировой [13, 14, 15, 16]. Главным недостатком для применения их на каналах параболического сечения является неудобное параболическое сечение канала для установки таких затворов-автоматов и необходимость периодической механической очистки этого сечения от плавника и мусора перед затвором-автоматом. Поэтому внедрение всех этих конструкций на лотковых каналах оросительных систем параболического сечения затруднено.

Поэтому на сегодня появился интерес к поиску более простых конструкций таких гидравлических затворов-автоматов, авторегуляторов уровня воды для каналов параболического сечения оросительной системы, конструкции которых отличаются отсутствием металлоёмкости, лёгкостью, дешевизной, ремонтпригодностью, экологической чистотой и при необходимости мобильностью, возможностью переноса их с места на место.

**Постановка задачи.** Исходя из анализа существующих и предложенных конструкций затворов-автоматов для каналов оросительной системы, была поставлена задача разработать конструкцию авторегулятора уровня воды для каналов оросительной системы параболического сечения (лотков), работающих полностью на гидравлической энергии водного потока, автоматически регулирующего уровень воды по длине канала до места его установки, обеспечивающего пропуск избыточной воды, плавника и мусора, являющегося неметаллоёмким, лёгким и, при необходимости, мобильным, а также определить его пропускную способность.

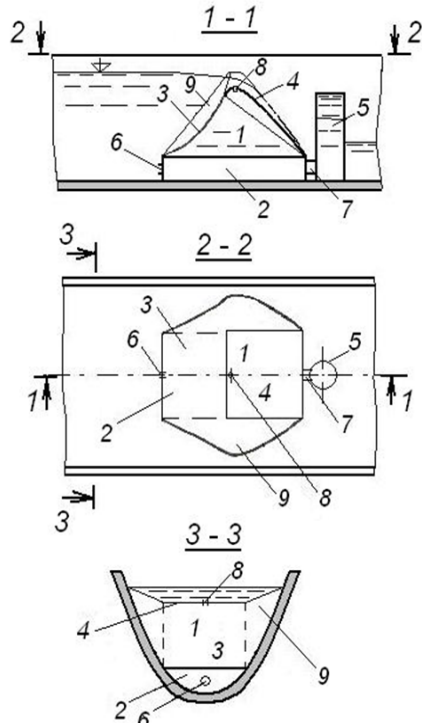
Исходя из поставленной задачи необходимо было решить следующие вопросы: выбрать подходящую ис-

ходную конструкцию авторегулятора уровня воды, на её основе разработать новую модифицированную конструкцию авторегулятора уровня воды с гибкими рабочими органами для каналов параболического сечения оросительной сети, предложить формулу для определения пропускной способности разработанной конструкции, выбрать масштаб экспериментальной установки и модели, определить их размеры методом физического моделирования, выполнить экспериментальную установку и модель для исследований разработанной конструкции, провести модельные исследования на экспериментальной установке на предмет определения пропускной способности конструкции, выполнить математическую обработку результатов экспериментальных исследований и определить коэффициент расхода модели для определения пропускной способности модели. А также

определить: точность регулирования уровня воды в верхнем бьефе авторегулятора уровня воды.

**Методы решения.** Исходя из поставленной цели, нами выбрана подходящая исходная конструкция в виде, разработанной ранее совместно с Ф.А.Кадыровым [17], конструкции авторегулятора уровня воды на канале. Она создала условия для разработки конструкции авторегулятора уровня воды с гибкими рабочими органами для каналов параболического сечения оросительной сети (лотков). Разработанная конструкция авторегулятора уровня воды с гибкими рабочими органами для каналов параболического сечения оросительной сети показана на рис. 1.

Она состоит из водовмещающего затвора, ёмкость 1 которого образована жёстким дном 2, выполненным по



**Рис. 1. Конструкция авторегулятора уровня воды с гибкими рабочими органами для каналов параболического сечения (лотков).**

форме дна канала (лотка), напорной части 3, выполненной из гибкой прорезиненной мелиоративной ткани, водосливной части 4, выполненной из жёсткого каркаса в продольном сечении безвакуумного профиля, обтянутого гибкой прорезиненной мелиоративной тканью, переходящей в боковые элементы 9, одновременно являющиеся продолжением напорной 3 и водосливной 4 частей

затвора, выполненными также из гибкой прорезиненной мелиоративной ткани.

Регулирование уровня верхнего бьефа осуществляется с помощью контролёра уровня воды 5, выполненного в виде вертикальной трубки с открытым верхом, устанавливаемой со стороны нижнего бьефа. Она сообщается с ёмкостью затвора трубой 7.

Наполнение ёмкости водовмещающего затвора происходит через входное отверстие 6, через которое вода из верхнего бьефа постоянно поступает в ёмкость затвора. Для обеспечения нормальной работы авторегулятора уровня воды площадь входного отверстия 6 должна быть в 3–4 раза меньше площади отверстия выходной трубы 7.

Для обеспечения устойчивой, без вибрации, работы авторегулятора уровня воды водосливная часть 4 затвора выполняется с шириной, равной ширине дна затвора по верху в виде жёсткого каркаса безвакуумного профиля, обтянутого гибкой прорезиненной мелиоративной тканью.

При изменении положения затвора, например, открытии его, напорная часть 3 и боковые элементы 9 водосливной части 4 затвора складываются и опускаются, благодаря тому, что выполнены из гибкой прорезиненной мелиоративной ткани. При полном открытии затвора эти части укладываются на дно водовмещающего затвора и стенки лоткового канала в зависимости от его формы. Таким образом, обеспечивая пропуск воды поверх затвора, и, сужая сечение канала до минимума, а при закрытии водовмещающий затвор поднимается под воздействием гидростатического давления воды и наполнения его ёмкости водой, раскладываясь до максимальных своих размеров, полностью перекрывая поперечное сечение канала. Положение авторегулятора, наполнение и опорожнение регулируются автоматически с помощью контролёра уровня воды верхнего бьефа 5. При этом верх трубки контролёра уровня 5 устанавливается на отметке, задаваемой глубины воды в верхнем бьефе.

При этом, если отметка уровня воды перед авторегулятором уровня воды выше, чем задаваемая в верхнем бьефе канала, вода поступает из участка канала (лотка) перед авторегулятором уровня воды через входное отверстие 6 в ёмкость затвора 1, а затем в трубку 7 и, устанавливается по закону сообщающихся сосудов в ёмкости трубки контролёра уровня воды 5 с уровнем, равным уровню воды перед авторегулятором уровня воды, и сливается через верх трубы контролёра уровня воды 5.

После этого, снижается уровень воды в ёмкости затвора авторегулятора уровня воды и, следовательно, гидростатическое давление воды, действующее на внутренние элементы затвора. Это вызывает опускание, открытие затвора, и, следовательно, увеличение пропускаемого расхода воды поверх затвора. А также снижение уровня воды в канале (лотке) перед авторегулятором уровня воды до уровня, задаваемого в канале. Принцип действия предлагаемого авторегулятора уровня воды следующий: при отсутствии воды в канале (лотке) ёмкость 1 затвора пуста, водосливная часть 4 находится на дне 2 затвора.

По мере подачи воды в канал (лоток) через постоянно открытое входное отверстие 6 ёмкость 1 затвора наполняется, затвор поднимается, создавая подпор в верхнем бьефе на протяжении канала до места установки авторегулятора уровня воды.

При превышении заданного уровня в верхнем бьефе, уровень воды в ёмкости 1 затвора, в которую вода поступает через входное отверстие 6 из канала до места уста-

новки авторегулятора уровня воды, повышается. Вода из ёмкости затвора 1, через трубу 7, поступает в ёмкость контролёра уровня воды 5, выполненный в виде трубки с открытым верхом, и вытекает через неё в нижний бьеф, поскольку её верх установлен на заданной отметке уровня воды в верхнем бьефе.

В результате, количество воды, втекающей в ёмкость затвора, будет в 3–4 раза меньше, чем количество воды, вытекающей из ёмкости затвора, ёмкость 1 затвора начинает опорожняться, водосливная часть 4 – опускаться, тем самым, увеличивая расход воды, переливающийся через верх затвора, и понижая уровень воды перед авторегулятором уровня воды до заданного уровня.

При понижении уровня воды перед авторегулятором уровня воды в канале (лотке), ниже заданного, вода через верх трубки контролёра уровня воды 5 не будет сливаться. Через входное отверстие 6 вода в ёмкость 1 затвора постоянно будет поступать, а из ёмкости 1 затвора не вытекать, гидростатическое давление внутри ёмкости затвора будет повышаться и, затвор, наполняясь водой, начинает подниматься, перекрывая сечение канала (лотка) до того момента, когда уровень воды в канале (лотке) станет выше отметки, задаваемого уровня воды перед авторегулятором уровня воды. После этого вода из ёмкости водовмещающего затвора через верх трубки 5 контролёра уровня начинает сливаться.

При превышении заданного уровня воды в верхнем бьефе процесс повторяется до тех пор, пока не установится такой уровень воды, при котором количество втекающей воды в ёмкость затвора не будет равно количеству вытекающей воды из ёмкости затвора, что соответствует задаваемому уровню воды перед авторегулятором уровня воды. Предлагаемая конструкция авторегулятора уровня воды работает полностью на гидравлической энергии водного потока, автоматически регулирует уровень воды в верхнем бьефе по длине канала (лотка) до места установки авторегулятора уровня воды, конструкция может быть, как переносной для заданного типоразмера канала (лотка) параболического сечения, так и стационарной.

С целью определения пропускной способности авторегулятора уровня воды с гибкими рабочими органами для каналов параболического сечения (лотков) оросительной сети, были поставлены и проведены её экспериментальные исследования.

Модель (рис. 1, 2) состояла из жесткой водосливной части 4, обтянутой эластичным материалом из прорезиненной мелиоративной ткани, переходящей в напорную 3 и боковые части 9 модели, образуя с ней одно целое и прикрепляемой в флютбету из органического стекла, выполненного в виде коробки 2 шириной 0,358 м, длиной  $L_2 = 0,64$  м, с высотой в средней части 0,08 м, установленной на дне лотка.

Моделирование исследуемых явлений осуществлялось по критериям гравитационного подобия Фруда, динамического подобия сил, критерия подобия динамических процессов при действии сил упругости (критерия Коши), описанными 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 работе В.А.Прокофьева, Г.А.Судольского [18], М.И.Бальзанникова [19], А.В.Остяковой, В.С. Боровкова [20], М.Р.Бхаджантри, Т.И.Элдхо, П.Б.Деолаликар [21].

Моделирование эластичного материала проводилось по максимальному погонному натяжению по рекомендациям А.П. Назарова. Масштаб модели принят 1:2.

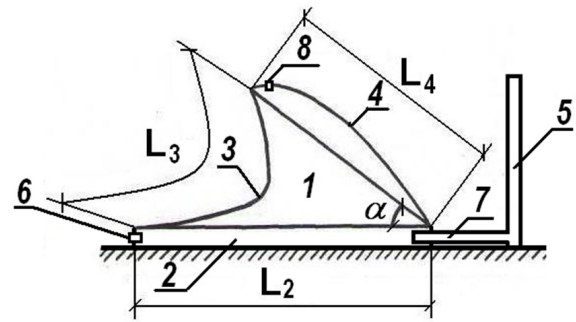


Рис. 2. Конструктивные элементы модели авто-регулятора уровня воды в продольном сечении для каналов параболического сечения (лотков). (Боковые элементы водозадерживающего затвора авторегулятора уровня воды на рисунке не показаны).

Исследования пропускной способности затвора с гибкими рабочими органами авторегулятора уровня воды проводились на экспериментальной установке, представленной на рис. 3.

Она состояла из лотка параболического сечения имеющего внутреннюю поверхность, выполненную по параболе  $x^2 = 0,4y$  длиной 12 м, высотой 0,4 м, шириной поверху 0,8 м. Максимальный расход воды, подаваемой в лоток, составлял  $0,0561 \text{ м}^3/\text{с}$ .

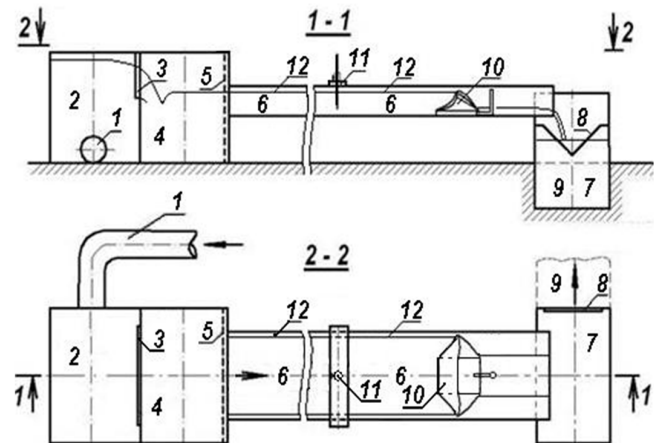


Рис. 3. Экспериментальная установка.

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 решётки, 6 – лоток, 7 – успокоительный бак № 3, 8 – мерный треугольный водослив с тонкой стенкой, 9 – водосбросная траншея, 10 – исследуемая модель, 11 – передвижная полка с установленной на ней шкалой шпитценмасштаба, 12 – уровень воды в лотке.

Исследовалась одна модель с жесткой формой профиля водосливной части затвора в виде безвакуумного профиля, построенного по координатам Кригера - Офичерова (рис. 1, 2).

Основная часть опытов проводилась при последовательном увеличении расходов. Расход воды лотка измерялся треугольным водосливом с тонкой стенкой, установленным за лотком. Замеры всех параметров производились через 15–20 минут после изменения расхода или какого-либо из величин.

За это время в лотке устанавливался неизменяемый режим потока. В общем случае коэффициент расхода представляет собой следующую функцию:

$$m = f(H, h_0 / H_z, \alpha, \alpha_{\max}, h_{vac} / H, \sigma_n, Fr, We, Re) \quad (1)$$

где:  $H$  – напор воды на сооружении;  $h_0$  – напор над порогом водослива (верхней части затвора) с учётом скоростного напора;  $H_z$  – высота поднятия затвора относительно дна канала перед сооружением;  $\alpha$  – угол, образуемый хордой водосливной части затвора с горизонталью;  $\alpha_{\max}$  – максимальный угол, образуемый хордой водосливной части затвора с горизонталью;  $h_{vac}$  – вакуумметрическое давление, под струёй на водосливной части;  $\sigma_n$  – коэффициент, учитывающий подтопление со стороны нижнего бьефа;  $Fr$  – число Фруда;  $We$  – число Вебера;  $Re$  – число Рейнольдса.

Учтёшь влияние всех этих параметров на изменение коэффициента расхода практически невозможно. Расчет пропускной способности модели производился по общеизвестной формуле:

$$Q = m \cdot \sqrt{2 \cdot g} \cdot h_0 \cdot \sqrt{h_0} \quad (2)$$

где:  $m$  – коэффициент расхода;  $g$  – ускорение силы тяжести или свободного падения,  $b$  – ширина водосливного фронта;  $h_0$  – напор над порогом водослива (верхней части затвора) с учётом скоростного напора.

Из-за того, что скорость в лотке была менее 1 м/с, скоростной напор являлся очень малой величиной, он не учитывался,  $h_0$  принимался равным:

$$h_0 = (H - H_z) \quad (3)$$

где:  $H$  – глубина воды перед затвором авторегулятора уровня воды;  $H_z$  – высота затвора авторегулятора уровня воды по отношению к дну канала.

В данном случае, поскольку ширина водосливного фронта затвора авторегулятора уровня воды, не одинакова по высоте, из-за того, что канал имеет параболическое сечение и очерчен по параболе  $x_2 = 0,4y$ , ширина  $b$  определялась, как:

$$b = 2 \cdot 0,5 \cdot (\sqrt{0,4 \cdot H_z} + \sqrt{0,4H}) \quad (4)$$

Таким образом, формула (2) преобразовалась в следующую формулу (5) пропускной способности затвора авторегулятора уровня воды.

$$Q = m \cdot (\sqrt{0,4 \cdot H_z} + \sqrt{0,4H}) \cdot \sqrt{2 \cdot g} \cdot (H - H_z)^{1,5} \quad (5)$$

При проведении исследований значение коэффициента расхода  $m$  определялось, исходя из формулы (5) как

$$m = Q_i / [(\sqrt{0,4 \cdot H_z} + \sqrt{0,4H}) \cdot \sqrt{2 \cdot g} \cdot (H - H_z)^{1,5}] \quad (6)$$

где:  $Q_i$  – расход воды, идущий по лотку через затвор авторегулятора уровня воды.

Исходя из математической обработки результатов исследований модели затвора с гибкими рабочими органами и жёсткой водосливной частью в виде безвакуумного профиля авторегулятора уровня воды, при  $H_p = 0,15$  м, был построен график зависимости  $m = f_1(h/H_z)$ , рис. 4. Он показал, что коэффициент расхода  $m$  в зависимости от отношения  $h/H_z$  описывается следующей параболической зависимостью:

$$m = -0,994 \cdot (h / H_z)^2 - 0,5964 \cdot (h / H_z) + 0,3505 \quad (7)$$

Точность измерений расходов воды через затвор авторегулятора уровня воды определялась следующим образом: определялся расход воды  $Q$  по формуле (5) с учётом коэффициента расхода, определённого по формуле (7), полученной в результате математической обработки экспериментальных исследований и фактический расход

воды, идущий через лоток экспериментальной установки  $Q_i$ .

Затем определялась ошибка в точности по определению расхода воды  $\Delta Q$  по следующей формуле

$$\Delta Q = (Q_i - Q) \cdot 100\% / Q_i \quad (8)$$

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

Для того, чтобы определить точность регулирования уровня воды в верхнем бьефе авторегулятора уровня воды задавался необходимый уровень воды в верхнем бьефе на высоте от дна лотка до верха трубки 5 контролёра уровня  $h_z$ , равный 0,35 м и пропускались расходы воды по лотку экспериментальной установки в диапазоне от 0,005 м<sup>3</sup>/с до 0,050 м<sup>3</sup>/с.

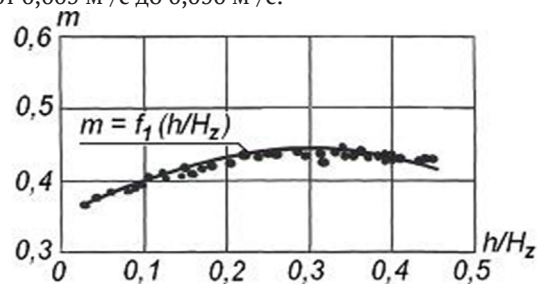


Рис. 4. График зависимости  $m = f_1(h/H_z)$ , полученный для водовмещающего затвора с гибкими рабочими органами и жёсткой водосливной частью в виде безвакуумного профиля авторегулятора уровня воды для параболического сечения (лотков) оросительной системы. (Точками показаны данные, полученные в результате экспериментальных исследований)

При каждом задаваемом расходе измерялась фактическая глубина воды, устанавливаемая в лотке  $h_f$  с помощью шпитценмасштаба и определялась ошибка в точности регулирования уровня воды по формуле

$$\Delta h_z = (h_z - h_f) \cdot 100\% / h_z \quad (9)$$

Исходя из математической обработки результатов исследований точности регулирования уровня воды в верхнем бьефе модели затвора с гибкими рабочими органами и жёсткой водосливной частью в виде безвакуумного профиля авторегулятора уровня воды был построен график зависимости, рис. 5, который показал ошибку в точности регулирования задаваемого уровня воды в верхнем бьефе авторегулятора уровня воды не более + 5%.

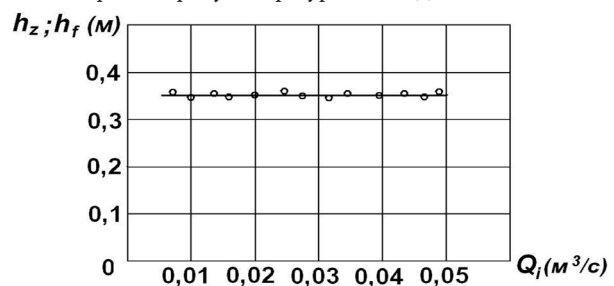


Рис. 5. График зависимости  $Q_i = f(h_z)$

На рис. 5 кружочками показана фактическая глубина воды  $h_p$ , устанавливаемая в лотке в период экспериментальных исследований.

**Анализ результатов и примеры.** Полученная параболическая зависимость (7) для определения коэффициента расхода согласуется с данными наших проведённых экспериментальных исследований. При этом разброс точек составил + 4–5 процентов.

Из графика на рис. 4 видно, что в диапазоне изменения  $h/H_z = 0,05-0,45$  коэффициент расхода меняется в пределах  $m = 0,37-0,45$ . Исследования предлагаемой конструкции авторегулятора уровня воды для каналов параболического сечения показали, что она работает устойчиво, без вибрации, это доказывает правильность применения формы его водосливной части в виде безвакуумной, она имеет достаточную точность регулирования задаваемого уровня воды в верхнем бьефе авторегулятора уровня воды в пределах  $+ 5\%$ , её коэффициент расхода  $m$  меняется в зависимости от отношения  $h/H_z$  по параболической зависимости (7), пропускная способность её определяется по формуле (5), она не суживает рабочее сечение канала, неметаллоёмка, выполняется из дешёвых современных материалов, может изготавливаться собственными силами из подручных материалов для различных каналов параболического сечения (лотков). Она может выполняться переносной и стационарной конструкции, легка, транспортабельна, может переноситься по окончании полива с одного места канала (лотка) на другое и устанавливаться одним или несколькими работниками, проста в эксплуатации, работает на гидравлической энергии водного потока, не требует электроэнергии, экологически чистая, имеет стоимость в 5–7 раз меньше обычного затвора, совмещает функции стабилизации необходимого уровня воды, сброса излишков воды, плавника и мусора перед авторегулятором уровня воды, фактически выполняет функцию автоматического перегораживающего сооружения для канала параболического сечения (лотка).

**Выводы.** В соответствии с поставленными целями и задачами:

- разработана конструкция авторегулятора уровня воды с гибкими рабочими органами, выполняющая

функцию автоматического перегораживающего сооружения для каналов параболического сечения оросительных систем (рис. 1). Она устойчиво стабильно работает без вибраций, поскольку форма его водосливной части была принята безвакуумной,

- на основании экспериментальных исследований автором выведена формула для определения коэффициента расхода  $m$ , входящего в формулу пропускной способности водовмещающего затвора авторегулятора уровня воды, которая согласуется с данными наших экспериментальных исследований в пределах  $+ 4-5$  процентов и позволяет определять её пропускную способность.

- предлагаемая конструкция авторегулятора уровня воды с гибкими рабочими органами для каналов параболического сечения оросительных систем имеет достаточную точность регулирования задаваемого уровня воды в верхнем бьефе авторегулятора уровня воды в пределах  $+ 5\%$ , не суживает рабочее сечение канала, неметаллоёмка, легка, выполняется из дешёвых современных материалов, может изготавливаться собственными силами из подручных материалов. Может выполняться переносной и стационарной конструкции. По окончании полива может переноситься с одного места канала на другое и устанавливаться одним или несколькими работниками, проста в эксплуатации, работает на гидравлической энергии водного потока, не требует электроэнергии, экологически чистая, имеет стоимость в 5–7 раз ниже обычного затвора. Эта конструкция совмещает функции стабилизации необходимого уровня воды, сброса излишков воды, плавника и мусора перед авторегулятором уровня воды. Поэтому она рекомендуется для применения на каналах параболического сечения оросительных систем (лотков) как автоматическое перегораживающее сооружение.

№	Литература	References
1	Пулатов 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. Dushanbe, no. 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]// Bull. of Nizhnevolzhsky Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education, № 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 Reclamation Science. Moskov, 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. <a href="https://doi.org/10.21608/jssae.2009.103878">https://doi.org/10.21608/jssae.2009.103878</a>
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. <a href="https://doi.org/10.1080/09715010.2018.1423579">https://doi.org/10.1080/09715010.2018.1423579</a>	Gadge, P. P., Jothiprakash, V., & Bhosekar, V. V. (2019). Hydraulic design considerations for orifice spillways. // ISH Journal of Hydraulic Engineering, 25(1), Pp12–18. <a href="https://doi.org/10.1080/09715010.2018.1423579">https://doi.org/10.1080/09715010.2018.1423579</a>
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: <a href="http://www.rosniipm-sm.ru/articlen=819">http://www.rosniipm-sm.ru/articlen=819</a> (дата обращения: 01.11.2021).	Shchedrin V.N., Churaev A.A., Shkolnaya V.M., Yuchenko L.V., 2015. <i>Modelirovanie dinamicheskogo upravleniya vodoraspredeleniem na kanalah 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: <a href="http://www.rosniipm-sm.ru/articlen 819">http://www.rosniipm-sm.ru/articlen 819</a> [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 i issledovanie 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	Tomiya, 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).	Tomiya, 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).
12	Логинов В.И., Ртищев С.М., Козырев В.Н., Илёмнов М.В., Михайлова Е.Д. Разработка и применение быстровозводимых гидротехнических сооружений на основе водоналивных мобильных дамб для защиты инфраструктуры при чрезвычайных ситуациях, связанных с опасными гидрологическими 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 bystrovovodimyykh gidrotekhnicheskikh sooruzheniy na osnove vodonalivnykh mobil'nykh damb dlya zashchity infrastruktury pri chrezvychaynykh situatsiyah, svyazannykh s opasnymi gidrologicheskimi yavleniyami</i> based on mobile water-filling dams to protect infrastructure in emergency situations associated with dangerous hydrological phenomena. // Journal of Hydraulic engineering construction. Moscow, 2020, № 2. pp. 14-20.
13	Hydraulic automatic regulator of level with flexible working bodies. To cite this article: Mukaddas-Gaukhar Kadirova . Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers, E3S Web of Conferences 264, 03039 (2021) CONMECHYDRO – 2021. <a href="https://doi.org/10.1051/e3sconf/202126403039">https://doi.org/10.1051/e3sconf/202126403039</a>	Hydraulic automatic regulator of level with flexible working bodies. To cite this article: Mukaddas-Gaukhar Kadirova. Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers, E3S Web of Conferences 264, 03039 (2021) CONMECHYDRO – 2021. <a href="https://doi.org/10.1051/e3sconf/202126403039">https://doi.org/10.1051/e3sconf/202126403039</a>

14	The shutter-automatic machine throughput of the washing device of the water level automatic regulator. To cite this article: Mukaddas-Gaukhar Kadirova Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers, E3S Web of Conferences 264, 03065 (2021) CONMECHYDRO – 2021 <a href="https://doi.org/10.1051/e3sconf/202126403065">https://doi.org/10.1051/e3sconf/202126403065</a>	The shutter-automatic machine throughput of the washing device of the water level automatic regulator. To cite this article: Mukaddas-Gaukhar Kadirova Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers, E3S Web of Conferences 264, 03065 (2021) CONMECHYDRO – 2021 <a href="https://doi.org/10.1051/e3sconf/202126403065">https://doi.org/10.1051/e3sconf/202126403065</a>
15	Кадирова 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. <a href="http://www.hydrotehn.ru/doi:10.55326/22278400_2022_2_26">www.hydrotehn.ru/doi:10.55326/22278400_2022_2_26</a>	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.. <a href="http://www.hydrotehn.ru/doi:10.55326/22278400_2022_2_26">www.hydrotehn.ru/doi:10.55326/22278400_2022_2_26</a>
16	Кадирова 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 malyx rekakh i vodotokakh v chrezvychaynykh 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)
17	А.С. № 1588838 /СССР/ Авторегулятор уровня воды в канале./ М.-Г.А.Кадирова, Ф.А.Кадиров // Бюл. Инвест. – Москва, 1990. - № 32.	A.S. No. 1588838 /USSR/ <i>Avtoregulyator urovnya vody v kanale</i> [Autoregulator of the water level in the canal]./ M.-G.A. Kadirova and F.A. Kadirov. // Byull. Inventions. Moscow, 1990. № 32.
18	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. №. 8, pp. 60-66.
19	Михаил Балзанныков. 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 <a href="https://doi.org/10.1088/1757-899X/661/1/012056">doi:10.1088/1757-899X/661/1/012056</a>	Mikhail Balzannikov <i>Issledovaniya konstrukciy 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 <a href="https://doi.org/10.1088/1757-899X/661/1/012056">doi:10.1088/1757-899X/661/1/012056</a>
20	Остякова А.В., Боровков В.С. (2014). Анализ слияния поверхности водосброса с подошвенной впадиной для водосливов с криволинейным безвакуумным профилем // Журнал «Энергетика и машиностроение». – Москва, – № 48 (1). – С. 6–9. <a href="https://doi.org/10.1007/s10749-014-0473-2">https://doi.org/10.1007/s10749-014-0473-2</a>	Ostyakova A.V., Borovkov V.S. (2014). <i>Analiz sliyaniya poverhnosti vodosbrosa s podoshvennoj vpadinoj dlya vodoslivov s krivoliniynym bezvakuumnym profilem</i> [Analysis of the influence of the surface of the spillway with a plantar depression for spillways with a curved vacuum-free profile]. // Journal "Power Engineering and Mechanical Engineering", № 48 (1), pp. 6-9. <a href="https://doi.org/10.1007/s10749-014-0473-2">https://doi.org/10.1007/s10749-014-0473-2</a>
21	М.Р.Бхаджантри, Т.И.Элдхо, П.Б.Деолаликар. Численное исследование влияния профилей кровли водосброса на гидравлические характеристики. // Международный журнал численных методов и жидкостей. Впервые опубликовано: 14 февраля 2007 года. <a href="https://doi.org/10.1002/nme.2016">https://doi.org/10.1002/nme.2016</a> <a href="https://onlinelibrary.wiley.com/journal/10970363">https://onlinelibrary.wiley.com/journal/10970363</a> <a href="https://doi.org/10.1007/s10749-014-0473-2">https://doi.org/10.1007/s10749-014-0473-2</a>	M.R.Bhajantri, T.I.Eldho, P.B.Deolalikar, <i>CHislennoe issledovanie vliyaniya profilej krovli vodosbrosa na gidravlicheskie karakteristiki</i> [Deolalikar Numerical modelling of turbulent flow through spillway with gated operation]. // International journal for Numerical Methods and Fluids. First published: 14 February 2007. <a href="https://doi.org/10.1002/nme.2016">https://doi.org/10.1002/nme.2016</a> <a href="https://onlinelibrary.wiley.com/journal/10970363/">https://onlinelibrary.wiley.com/journal/10970363/</a>