

УДК 52-17:626/627(575.2-17)  
DOI: 10.36979/1694-500X-2023-23-8-111-118

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ “ГОЛОВЫ И ТЕЛА ЗАТОРА”  
МЕЖДУ ВОДОСООРУЖЕНИЕМ И ВОДОПАДОМ  
НА УЧАСТКЕ РУСЛА РЕКИ АЛА-АРЧА**

*А.Ш. Токтогулова, Г.Д. Кабаева, Т. Жумаев*

*Аннотация.* Исследовано формирование заторов льда на водораспределительных сооружениях в русле реки Ала-Арча в черте г. Бишкека, с разработкой математической модели физического процесса формирования “головы и тела затора” на участке от порога сооружения до границы водопада из зазорной массы с поиском пути защиты от затора. Так как из материала зазорной массы каждый раз в период суровой зимы “тело затора”, являясь продолжением “головы затора”, загустившись смерзанием с водой, наращиваясь и переместившись по руслу реки вверх, доходя до порогов сооружения закупоривает их своим хвостовым телом на всю ширину сооружения, создает бассейны с притоком. Для очистки путей отвода воды от зазорного покрова необходимо мобилизовывать мощную технику и людей.

*Ключевые слова:* вода; шуга; зазор; голова и тело затора; водораспределительное сооружение; водопад; закупорка; бассейн; приток; перелив воды.

---

**АЛА-АРЧА ДАРЫЯСЫНЫНДАГЫ СУУ БӨЛҮШТҮРГҮЧ ТҮЗҮЛҮШ МЕНЕН  
ШАРКЫРАТМАНЫН ОРТОСУНДА “МУЗ ТЫГЫНЫНЫН БАШЫНЫН  
ЖАНА ТУЛКУСУНУН” ПАЙДА БОЛУУ ПРОЦЕССИН ИЛИКТӨӨ**

*А.Ш. Токтогулова, Г.Д. Кабаева, Т. Жумаев*

*Аннотация:* Бишкек шаарынын чегиндеги Ала-Арча дарыясынын нугунда суу бөлүштүрүүчү объектиде муз тосмонун пайда болушу изилденип, “муз тоскоолдуктун башы жана тулкусунун” түзүлүшүнүн физикалык процессинин математикалык модели иштелип чыгып, курулуштун босогосунан шаркыратманын чегине чейинки зонада борпоң муздан бөгөт болтурбоо жолу изделген. Катаал кыш мезгилинде борпоң муздан турган “муз тоскоолдуктун башынын” уландысы болгон, борпоң муздан турган “муз тоскоолдуктун тулкусу” бара-бара суу менен бирге коюланып тоңуп, чоңоюу менен, жогорулап жылып олтуруп, тулкунун куйрук бөлүгү суу бөлүштүрүүчү объектини толук бөгөп тосуп салат да, натыйжада, суу агып кирип туруучу көлмө пайда болот. Ошондуктан, ар бир жолу, суу бөлүштүрүүчү объектидеги муз тыгынын жоюу үчүн күчтүү техника жана адамдарды мобилизациялоо колдонулат.

*Түйүндүү сөздөр:* суу; шыралаң; тыгын; баш жана дене тыгыны; суу бөлүштүргүч түзүлүш; шаркыратма; бөгөт коюу; бассейн; агып келүү; толуп кетүү.

---

**INVESTIGATION OF THE PROCESS OF FORMATION OF A “LOCK HEAD AND BODY”  
BETWEEN A WATER FACILITY AND A WATERFALL  
IN THE SECTION OF THE ALA-ARCHA RIVER BED**

*A.Sh. Toktogulova, G.D. Kabaeva, T. Zhumaev*

*Abstract:* The article regards the formation of ice jams at water distribution facilities in the Ala-Archa riverbed in Bishkek, with the development of a mathematical model of the physical process of the formation of the “head and body of the jam” in the area from the threshold of the structure to the boundary of the waterfall from the debris mass with the search for ways to protect against congestion. Since from the material of the zazorhny mass, every time during the harsh winter, the “body of the jam”, being a continuation of the “head of the jam”, thickened by freezing with water, increasing

and moving up the riverbed, reaching the thresholds of the structure, clog them with their tail body for the entire width of the structure, creates pools with an inflow. It is necessary to mobilize powerful equipment and people to clean the water drainage routes from the perky cover.

*Keywords:* water; sludge; congestion; congestion head and body; water distribution facility; waterfall; blockage; pool; inflow; overflow of water.

Исследование процесса формирования затора льда на реке Ала-Арча в черте г. Бишкек проводилось каждую зиму. Было установлено, что в суровые зимние годы, которые повторяются каждые 5 лет, образуются заторы из зажорного (зажор – рыхлый лёд плотностью  $\rho_{\text{л}} = 0,85 \text{ г/см}^3$ ) материала. Зажор – совокупность шаровидной шуги и снежура (смоченный в воде снег).

Главным затороопасным участком русла р. Ала-Арча являются пороги водораспределительного сооружения (гидросооружения) на ул. Скрябина и до водопада. Здесь гидросооружение состоит из 8 одинаковых, поднятых на высоту 1,15 м, одинаковой активной шириной 1,95 м задвижек, и за пределами линии сооружения на расстоянии в 24 м расположен 5-метровый водосброс (водопад).

Однако ранним утром 13 января 2023 г., так же как и в конце января 2018 и еще раньше в 2013 г., произошла полная зажорная закупорка потока воды через водораспределительное сооружение из-за перекрытия ширины всего сооружения хвостовым торцом “тела затора”, сформированного продолжающимся наращиванием “головы затора” из зажорного поступления за сооружением и из нароста шугой на элементах сооружений. В результате, с повышением уровня воды в образовавшемся бассейне из-за постоянного притока сверху по руслу реки воды с зажорными массами произошёл перелив воды с зажорным материалом через более чем трехметровые береговые ж/б стенки на отдельных участках по руслу р. Ала-Арча, вдоль ул. Абдыласа Малдыбаева сверху вниз, от моста автомагистрали по ул. Ахунбаева.

Каждое такое явление было исследовано авторами непосредственно на наблюдательных постах по р. Ала-Арча. Постоянные наблюдения проводились с момента начала снегопада, с фиксацией времени событий и сопровождались фотосъемкой. Затем результаты сопоставляли с полученной по интернету гидрометеорологической информацией о суточных данных за каждый морозный день с 09 по 16 января 2023 года [1]. В результате были получены следующие данные: 10 января 2023 г. при температуре  $-2 \dots -4^{\circ}\text{C}$  продолжался снегопад, 11 января при температуре  $-11 \dots -12^{\circ}\text{C}$  на р. Ала-Арча начался активный процесс формирования внутриводной шуги.

За двое суток натуральных наблюдений в период 11–12 января в дневное время движение потока воды с зажорами через водораспределительное сооружение при характерном зимнем режиме не вызывало тревоги и не предвещало предстоящего затора. При таком морозе сухой снег продолжал падать до 06.00 ч утра 12 января, что подтверждалось сведениями синоптиков (рисунок 1) [1]. В этот день температура воздуха плавно снижалась от  $-17^{\circ}\text{C}$  мороза в 00 часов ночи и  $-21^{\circ}\text{C}$  к 09.00 часам утра. Далее, с появлением солнца к 15.00 часам дня, температура воздуха повысилась до  $-15^{\circ}\text{C}$ . По руслу реки двигалась шуга в виде зажора со скоростью около 0,7 м/с, проходя через водораспределительное сооружение на ул. Скрябина, и далее уходя вниз на сброс в водопад. От турбулентного течения воды внутриводные кристаллы льда и снежура от падающего до 06 часов утра снега продолжали формировать шугу сферической формы. На рисунке 1 приведён график изменения температуры окружающей среды 12 января 2023 года: в ночь 00 часов мороз усилился, с  $-17^{\circ}\text{C}$  до  $-21^{\circ}\text{C}$ . При таком морозе в г. Бишкек шёл сухой снег до 09 часов утра 12 января. Появилась смоченная в воде снежура, вместе с шугой сформировался густой смёрзшийся зажор, который уходил на сброс. Когда снег перестал падать, небо очистилось от облаков, лучи солнца согревали воздух и за весь солнечный день до 18.00 часов дня произошло повышение температуры до  $-15^{\circ}\text{C}$  (рисунок 1). Под действием солнечных лучей зажоры, размягчаясь, приобрели подвижность вместе с водой. Зигзагообразное изменение температуры воздуха, как видно на рисунке 1, сделало затор подвижным, он проходил через

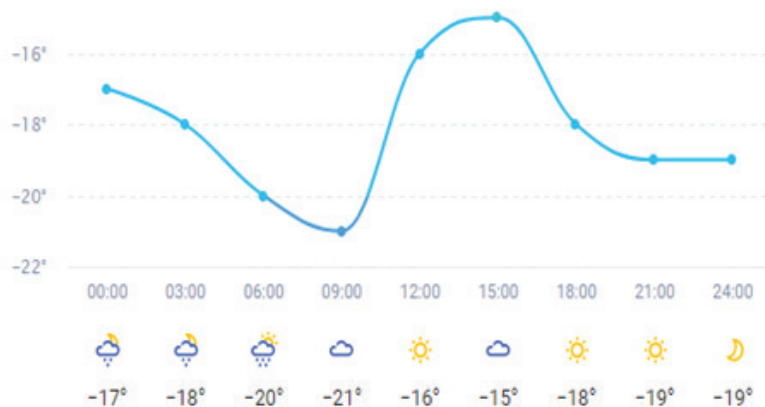


Рисунок 1 – Погода в Бишкеке на 12 января 2023 года [1]

гидросооружение сплошным потоком по всей ширине русла р. Ала-Арча, и уходил за сооружением в водопад, не создавая зажорного затора на участке от сооружения до водопада, но при этом продолжая заполнять нижнюю часть русла реки зазорами. С наступлением ночи с 21.00 ч 12 января до 06.00 ч утра 13 января (рисунок 2) ночная температура воздуха понизилась и держалась на уровне  $-20 \dots -21^{\circ}\text{C}$ , и за это время успела сформироваться исключительно из массы зазора сначала “голова затора”, начиная далеко за глубиной водопада, постепенно наращиваясь зазором, загустевая из-за смерзания, и поднимаясь вверх по уклону водопада. Далее он перемещался по участку к сооружению, где было сформировано “тело затора”, которое наращивалось зазорами смерзанием по всему его сечению. “Тело затора”, наращиваясь, росло по руслу реки вверх, доходя своим торцовым концом до сооружения, полностью перекрыло пороги сооружения. Поскольку живое сечение на пороге сооружения и так было минимальным, при таком морозе вокруг металлических стоек сооружения бетонных быков опор пешеходного моста образовались наросты из смерзшегося зазора, прилипнув к ним и уменьшив их живое сечение на пороге (рисунок 2). Так были сформированы “голова и тело затора” за сооружением. Было установлено, что явлений фильтрации через зазоры не происходит, так как жидкость полностью заполняет все пространство без образования каких бы то ни было пустот. Нет пустот – нет фильтрации. Зазоры, смоченные водой, смерзаясь, крепко закупоривают поток воды.

Вода с зазором может пройти только по верху, вытесняя и растекаясь по поверхности “тела затора”, а при низкой температуре воздуха еще и смерзаясь с зазором, формируя слоистые “пирог затора”. Слово “затор” берем в кавычки вместе со словами “голова” и “тело” потому, что это составные части затора, где он состоит из густой снежиры и шуги. Аналогично происходит формирование заторов льда на крупных российских реках, наращиваясь в сторону сооружения. Такие явления затора из зазора наблюдались в морозные дни конце января 2018 г. под многими мостами в г. Бишкеке. “Тело затора” росло ввысь, поднимаясь и заливая прибрежные территории русла реки, переваливаясь за “голову затора”, заполняя русло реки за водопадом вниз, формируя ледяной уклон.

В результате закупорки сооружения зазором в ночное время, с вечера 12 до утра 13 января 2023 г, перед сооружением сформировался бассейн. Вследствие чего из-за притока воды сверху по руслу р. Ала-Арча уровень воды с шуговым содержимым в бассейне поднялся и местами перелился через ж/б береговые стены русла, затопив тратуары, пешеходные дорожки, ведущие к Институту машиноведения и Институту геомеханики и освоения недр НАН КР.

С увеличением веса зажорных масс, увеличивалась и потенциальная энергия. Зажорные массы выдавливались по всем направлениям, и в первую очередь, по направлению русла реки, где еще были щели, через которые зажорные массы выходили за пределы сооружения и там, наслаиваясь, росло

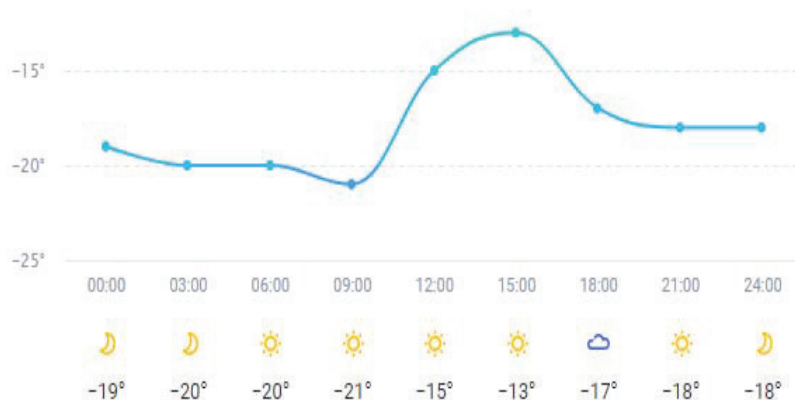


Рисунок 2 – Погода в Бишкеке на 13 января 2023 года [1]

в толщину “тело затора”, медленно наращиваясь вверх, по руслу к порогу затворных задвижек сооружения.

Натурным замером был определен объем “тела затора”  $V_T$ : при ширине русла реки  $B = 16$  м и высоте берега, заполненного забором,  $h_b = 1,2$  м, длине русла от водопада до сооружения:  $L = 24$  м;  $V_T = L \cdot B \cdot h_b = 24 \cdot 16 \cdot 1,2 = 460$  м<sup>3</sup>.

Была определена и площадь поперечного сечения “тела затора”, ограниченного береговыми стенками, высотой  $h_b = 1,2$  м и шириной  $B = 16$  м по дну русла на участке реки за сооружением:  $S_T = h \cdot B = 1,2 \cdot 16 = 19,2$  м<sup>2</sup>.

Периметр смачивания русла реки на участке формирования “тела затора” с живым сечением равен сумме длин твердых стен и ширины дна русла:  $\chi = 2 \cdot 1,2 + 16 - (4 \cdot 0,10 + 3 \cdot 0,50) = 16,50$  м. Гидравлический радиус  $R$ , определяемый отношением площади живого сечения  $S_T$  к смоченному периметру  $\chi$ , для русла реки за сооружением составляет больше единицы:

$$R = \frac{S_T}{\chi} = \frac{19,2}{16,50} = 1,04 \text{ м.}$$

Выше приведена “словесная модель” описания физического процесса формирования “головы и тела затора”, состоящих исключительно из заборной массы на указанном участке р. Ала-Арча. Математическая модель рассматриваемого процесса очевидно будет включать в себя потери напора движения заборного потока и расход заборной массы за пределом сооружения  $q = v_{\min} \cdot s$ ; в  $\frac{M^3}{c}$ , со следующими главными условиями:  $T$  – отрицательная температура воздуха, не выше  $T = -18^\circ\text{C}$ ;  $v_{\min}$  – фактически минимальная скорость потока воды на рассматриваемом участке русла реки,  $v_{\min} = 0,7$  м/с, и обязательного наличия на пути движения зазора препятствий, уменьшающих живое сечение  $s$  потока. В нашем случае этими препятствиями являются: 4 металлические стойки сооружения шириной  $b_{ст} = 0,10$  м и 3 бетонных быка – опор для пешеходного моста шириной  $b_{быки} = 0,5$  м.

Наличие бассейна сверху по руслу реки и наличие заборной закупорки сооружения на русле р. Ала-Арча, обладающих огромными объемными запасами механической энергии в виде силы тяжести, жидкость и плывущие заборы способны производить определенную работу, создавая в результате

условия в ночь с 12 на 13 января 2023 г. для вытеснения зажорных масс с водой через бетонные береговые стенки и через сооружения по руслу реки за сооружением и сформированной “головой” и “телом затора”, что привело к затоплению берега и дорожного полотна.

Они были ликвидированы утром 13 января прибывшими мощными экскаваторами. В первую очередь были ликвидированы “тело” и верхняя часть “головой затора” за сооружением. Далее были задействованы рабочие МП “Бишкекводхоз” и МЧС, которые, вскрывая зажорные покровы, открывали пути отвода подзжорных вод потоком по руслу реки, очищенному от “тела и головы затора” со сбросом в водопад.

Математическая модель процесса формирования “головой и тела затора” на участке от порога сооружения до имеющегося на конце участка водопада по руслу реки Ала-Арча была разработана со следующими начальными условиями: первое условие – до появления зажоров в русле реки на основании закона движения потока речной воды, с целью определения зависимости величины потери напора на указанном участке от величины сил трения в воде. Это было сделано на основании составленной эскизной схемы места исследуемого участка (рисунок 3), на котором представлен продольный профиль (зеленый цвет) потока воды; второе условие – после появления зажоров в русле реки и аналогично движения зажорной воды, с определением величины потери напора их движения на указанном участке, с введением поправки к определению потерь напора на преодоление сопротивления движению воды с зажором, до наступления ночного с 12 на 13 января мороза 2023 г. с зажорной закупоркой сооружения на русле реки. Затем была составлена математическая модель формирования “головой и тела затора”.

Был выделен объем потока воды на участке от порога сооружения 1-1 до края водопада 2-2 с поперечным живым сечением  $S$  и длиной участка  $L$ . Выделенный объем воды обладает силой тяжести  $G$ , равной:

$$G = S \cdot L \cdot \gamma, \quad (1)$$

где  $\gamma$  – удельный вес воды,  $\gamma = \rho \cdot g$ . Здесь  $\rho$  – плотность речной воды.

На выделенный объем жидкости действуют внешние силы: направленная в стороны движения потока сила давления:  $P_1 = p_1 \cdot S$  и направленная против движения потока сила давления:  $P_2 = p_2 \cdot S$ .

Силы  $P_1$  и  $P_2$  называются силами давления на торцовые сечения с площадью  $S$  в рассматриваемом объеме жидкости со стороны соседних отброшенных объёмов. Здесь были использованы положения

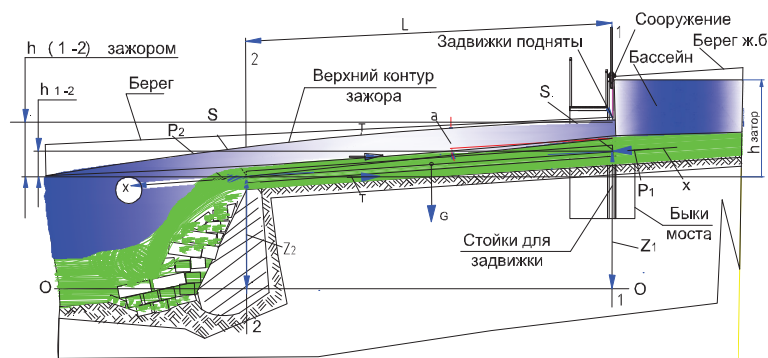


Рисунок 3 – Схема участка на р. Ала-Арча от сооружения до водопада в продольном профиле потока: (зелёным) равномерное движение воды, до формирования зажорной воды; и (синий с градиентом + зеленый), после формирования потока зажорной воды, указанного верхним контуром

теоретической механики, в частности теорема о движении центра масс, так как здесь  $P_1$  и  $P_2$  – средние гидродинамические давления со стороны соответствующих сторон движения потока жидкости на рассматриваемом участке русла реки.

На выделенный объем жидкости действует внешняя сила, препятствующая движению потока, называемая силой сопротивления. Сила сопротивления может равняться силе трения, приходящейся на единицу поверхности выделенного объема, и представляет касательное напряжение, обозначаемое через  $\tau$ . Тогда полная сила трения, направленная против течения потока жидкости, определяется по формуле:

$$T = \tau \cdot \chi \cdot L, \quad (2)$$

где  $\chi$  – смоченный периметр живого сечения в русле реки, по длине  $L$ .

Составим сумму проекций всех отмеченных сил на ось x-x, параллельно оси потока жидкости, получим уравнение:

$$P_1 - P_2 + G \cdot \sin \alpha - T = 0, \text{ или подставляя значение каждой составляющей:}$$

$$p_1 S - p_2 S + S \cdot L \cdot \gamma \cdot \sin \alpha - \tau \cdot \chi \cdot L = 0. \quad (3)$$

Зная, что  $\sin \alpha = \frac{z_1 - z_2}{L}$  и  $\frac{\chi}{S} = \frac{1}{R}$ , где  $R$  – гидравлический радиус сечения потока, и разделив в уравнение на  $\gamma \cdot S$ , получим:

$$\frac{p_1}{\gamma} - \frac{p_2}{\gamma} + (z_1 - z_2) - \frac{\tau}{\gamma} \cdot \frac{1}{R} = 0 \text{ или, группируя по сечениям 1-1 и 2-2 потока, получим равенство:}$$

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{\tau}{\gamma} \cdot \frac{1}{R}. \quad (4)$$

Сопоставив полученное уравнение (4) с известным уравнением Бернулли для элементарной струи реальной жидкости, из [2] (формула (3.20) на с.102), получим:

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + h_{1-2}, \quad (5)$$

которое обычно применяется при решении подобных практических задач, как и в нашем случае. При равномерном движении потока воды  $v_1 = v_2$ , и уравнение (5) примет вид:

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + h_{1-2}. \quad (6)$$

Теперь, сравнивая уравнение (4) с уравнением (6), определим искомую величину потерь напора на участке русла р. Ала-Арча от порога его сооружения до водопада, в дозажорный период:

$$h_{1-2} = \frac{\tau}{\gamma} \cdot \frac{L}{R}. \quad (7)$$

Получим зависимость потери напора  $h_{1-2}$  по длине от величины силы трения  $T$ , представленную через касательное напряжение  $\tau$  для данной речной воды.

Аналогично определяется потеря напора на преодоление сопротивления движению зажорной воды, проявляющегося по всей длине потока, обусловленного силами трения частиц зажорной воды друг о друга и о дно и берега на данном участке, после наступления зимы и до 11 января 2023 года, когда наступает зажорный период. Тогда следует прибавить сопротивление, обусловленное препятствием



в связи с наличием зажорного слоя потока воды. Здесь возникает большая величина сопротивления, приводящего к существенным изменениям в величине скорости течения зажорного потока и соответствующей им потери напора, который обозначим через  $h_{(1-2)зжор}$ . Соответственно, по аналогии вывода формулы (7), получим:

$$h_{(1-2)зжор} = \frac{\tau_{зжор}}{\gamma_{зжор}} \cdot \frac{L}{R_{зжор}}. \quad (8)$$

Полная потеря напора с наличием  $\tau_{зжор}$  в сумме сопротивлений, между сечениями 1-1 и 2-2, как показано на рисунке 3, в период потока зажорного движения с наращиванием «головы и тела затора» до закупорки порога сооружения хвостовым концом «тела затора» из зазора будет:

$$h_{(1-2)зжором} = \frac{\tau}{\gamma} \cdot \frac{L}{R} + \frac{\tau_{зжор}}{\gamma_{зжор}} \cdot \frac{L}{R_{зжор}} = \left( \frac{\tau}{\gamma} \cdot \frac{1}{R} + \frac{\tau_{зжор}}{\gamma_{зжор}} \cdot \frac{1}{R_{зжор}} \right) \cdot L. \quad (9)$$

Здесь  $\tau_{зжор}$  – касательное напряжение вызывается силой сопротивления между зажорным слоем и поверхностью потока воды между слоями шуги, и может равняться силе трения между трущимися поверхностями и приходящимися на единицу поверхности выделенного объема между сечениями 1-1 и 2-2 (рисунок 3). Сила трения между слоями зазора всегда больше и прямо зависит от температуры воздуха.

Полагая  $\tau_{зжор} > \tau$ , зная удельный вес зазора  $\gamma_{зжор}$ , т. е.  $\gamma_{зжор} = \rho_{зжор} \cdot g$ , зная, что  $\rho = \rho_{вода} > \rho_{зжор} > \rho_{лед}$ , определим потери напора с зазором  $h_{(1-2)зжором}$  на данном участке, пока наращиванием «тела затора» его хвостовая часть полностью не закупорит зазором пороги сооружения.

$$h_{(1-2)затор} = \frac{\tau}{\gamma} \cdot \frac{L}{R} + \frac{\tau_{зжор}}{\gamma_{зжор}} \cdot \frac{L}{R_{зжор}} = \left( \frac{\tau}{\rho} \cdot \frac{1}{R} + \frac{\tau_{зжор}}{\rho_{зжор}} \cdot \frac{1}{R_{зжор}} \right) \cdot \frac{L}{g}. \quad (10)$$

Уравнение (9), с учётом (8), записаны для местных сопротивлений и по принципу наложения (суммирования) потерь напора, пока не наступило событие зимы в ночь с 12 на 13 января 2023 года, когда произошел затор с зажорной закупоркой хвостовым торцом «тела затора», на всех 8-ми порогах водораспределительного сооружения на реке. Выражение (10) описывает законченный процесс формирования «головы и тела затора» и соответствует высоте уровня бассейна, выражаемой в единицах измерения в метрах, как показано на рисунке 3, и отмеченной отметкой  $h_{зжор}$ . При этом уточнены начальные условия в указанном временном и температурном интервале, согласно рисункам 1–3, где наблюдается переходный процесс: до появления зазора на реке Ала-Арча процесс потери напора на указанном участке реки, согласно рисунку 4 (зелёным цветом), определялся математическим выражением (7), как начальное условие – дозажорный период; затем, послезажорный период, тогда процесс потери напора на указанном участке реки, согласно рисунку 3, наложением (синий с градиентом + зелёный), во время которого зажорная вода в виде густой шуговой массы, переходя через постепенно уменьшаемое живое сечение из-за примерзания и смерзания зажорной массы и снежуры восьми порогов сооружения, приводит к постепенному уменьшению расхода зажорных вод. Они расходуются на формирование наращивания толщины «головы и тела затора», когда они после прохода порога сооружений растекаются по поверхности уже сформированного предыдущей шугой густого слоя, тогда потери напора на указанном участке реки соответствуют отметке  $h_{(1-2)зжором}$ , и определяются математическим выражением (10). Как только происходит затор зажорной закупоркой хвостовым торцом от «тела затора» на

8-ми порогах водораспределительного сооружения на р. Ала-Арча, искомая величина потерь напора приобретает максимальное значение, означая прекращение движения потока на участке русла реки. Тогда получим:  $h_{(1-2)зажором} = h_{затоп}$ . До сооружения образуется бассейн с притоком и начинается подъем уровня воды, приводящий к затоплению берега. В этом случае *математическая модель явления формирования “головы и тела затора”* на указанном участке реки приводит к затору на водораспределительном сооружении, и, как искомая величина, потери напора приобретают максимальную величину, что может означать прекращение движения потока на участке русла реки:

$$h_{(1-2)затоп} = \left( \frac{\tau}{\rho} \cdot \frac{1}{R} + \frac{\tau_{затоп}}{\rho_{затоп}} \cdot \frac{1}{R_{затоп}} \right) \cdot \frac{L}{g}. \quad (11)$$

Все это указывает на высоту уровня сформированного бассейна. Величина  $\tau_{зажор}$ , как аргумент от выражения (11), обозначаемая теперь через  $\tau_{затоп}$ , может обозначать вязкое или касательное напряжение зазорного накопления, с единицей измерения в Н/м<sup>2</sup>.

**Выводы.** Разработана математическая модель процесса формирования “головы и тела затора” на участке от порога сооружения до имеющегося на конце участка водопада по руслу р. Ала-Арча, описанная математическим выражением (11). После формирования затора с закупоркой порогов гидросооружения, без выхода потока за сооружение, до сооружения появляется бассейн, имеющий приток воды с шугой сверху по руслу реки Ала-Арча, в результате повышается высота затора  $h_{затоп}$ . Наличие в (11) величин  $\tau$  и  $\tau_{затоп}$ , которые выражают напряжённые состояния, накапливаемые притоком в бассейн воды и зазора, приводит к повышению потенциальной энергии в бассейне.

Для предотвращения образования заторов предложено модернизировать указанное сооружение по принципу, изложенному в работах [3, 4], с уложением сквозного, через одного, среднего из восьми порогов сооружений, начиная с первой ступеньки, от сооружения и до края водопада за сооружением, вырытого посередине и ниже дна русла реки канала, ж/б желоба, с трапецидальным, живым сечением, со следующими геометрическими параметрами, в метрах:  $B = 1,85$  – ширина по верху; ширина по низу –  $B = 1,85$ ; глубина  $H = 1,20$ . Приведенные параметры желоба позволяют пропускать поток воды больше на 36 %, чем в меженный период, которым является зима, и где, по данным [5], расход воды по реке Ала-Арча равен  $Q = 1,38$  м<sup>3</sup>/с.

Поступила: 11.07.23; рецензирована: 25.07.23; принята: 28.07.23.

#### Литература

1. URL: <https://weather.rambler.ru/v-bishkeke/09...16-january/> (дата обращения: 21.07.2023).
2. Рабинович Е.З. Гидравлика / Е.З. Рабинович. М.: «Гос. изд. ф-м. л», 1961. 408 с.
3. Токтогулова А.Ш. Математическое моделирование физического процесса в гидротехническом сооружении / А.Ш. Токтогулова, Г.Д. Кабаева, Т. Жумаев // Вестник КРСУ, 2023. Т. 23. № 4. С. 137–152.
4. Токтогулова А.Ш. Методы борьбы с возникновением заторов и зажоров на реках Ала-Арча и Аламедин в черте города Бишкека / А.Ш. Токтогулова // Известия вузов Кыргызстана. 2021. № 6. С. 12–17.
5. Мониторинг, прогнозирование опасных процессов и явлений на территории Кыргызской Республики. Изд. 19-е, с изм. и доп. Бишкек: МЧС КР, 2018.