

ЭНЕРГОУСТАНОВКИ НА ОСНОВЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ВИДОВ ЭНЕРГИИ (05.14.08)

УДК 626.627.8

DOI: 10.24160/1993-6982-2019-5-45-52

Рекомендуемые способы предотвращения попадания речных наносов и шуги в водоводы деривационных гидроэлектростанций

Н.П. Лавров, Г.И. Логинов, А.В. Шипилов, Т.А. Шестопалова, А.О. Аристархова, А.Е. Матюкова

Рассмотрены способы предотвращения попадания речных наносов в деривационные каналы гидроэлектростанций (ГЭС) путем использования в многоводный период криволинейного подводящего русла, в пределах которого возникает продольно-поперечная циркуляция, а в меженьный период путем создания искусственной циркуляции наносозащитными порогами. В результате анализа гидроморфометрических характеристик речного потока для криволинейного участка речного русла получены эмпирические зависимости для определения местоположения водоприемника и расчета длины прямолинейного участка подводящего русла. Приведена система уравнений баланса расходов в створе перегораживающего сооружения речного гидроузла. На основе экспериментальных исследований рекомендованы три компоновочные схемы водозаборных сооружений для горных рек.

Принят способ защиты деривационного канала от шуги путем забора воды в зимнее время из нижних слоев потока и сброса шуги и льда в нижний бьеф гидроузла с помощью специальных шугосбросных устройств. Решена задача моделирования пространственного турбулентного течения жидкости в пределах верхнего бьефа водозаборного сооружения для деривационных ГЭС (ВСДГ) с использованием программного комплекса FLOW 3D. Дана картина распределения скоростей по оси промывного тракта для благоприятных и неблагоприятных условий пропуска шуги. Составлена диаграмма режимов промывного тракта водозаборного сооружения для деривационных ГЭС.

Результаты исследований могут быть использованы при проектировании, строительстве и эксплуатации водозаборных гидроузлов деривационных ГЭС в горно-предгорной зоне.

Ключевые слова: речные наносы, водозаборное сооружение, деривационный канал, циркуляция потока, компоновка сооружений, физическое моделирование, распределение скоростей, диаграмма режимов, усовершенствование конструкций.

Для цитирования: Лавров Н.П., Логинов Г.И., Шипилов А.В., Шестопалова Т.А., Аристархова А.О., Матюкова А.Е. Рекомендуемые способы предотвращения попадания речных наносов и шуги в водоводы деривационных гидроэлектростанций // Вестник МЭИ. 2019. № 5. С. 45—52. DOI: 10.24160/1993-6982-2019-5-45-52.

Methods Recommended for Preventing River Drift and Sludge Ice from Getting into the Culverts of Diversion Power Plants

N.P. Lavrov, G.I. Loginov, A.V. Shipilov, T.A. Shestopalova, A.O. Aristarkhova, A.E. Matyukova

The article discusses methods for preventing river drift from getting into the diversion canals of hydroelectric power plants (HPPs). The considered methods imply the use of a curvilinear intake channel, within which longitudinal-transverse circulation occurs, during the high-water period, and the use of drift protection thresholds for setting up artificial circulation during the period of low water level. The river flow hydromorphometric characteristics in the river bed curvilinear part were analyzed, as a result of which empirical dependencies for determining the water intake location and for calculating the intake stream canal straight section length have been obtained. A system of discharge balance equations in the section of the river hydroelectric power plant's dike structure is given. Based on experimental investigation results, three water intake layout arrangements for mountain rivers are recommended.

A method for protecting the diversion canal from sludge ice is suggested. According to this method, in the winter season water is taken from the stream lower layers, and sludge and ice are dumped into the hydroelectric complex tail race by means of special sludge dumping devices. The problem of modeling spatial turbulent fluid flow within the water intake structure head race for diversion power plants (DPP WIS) is solved using the FLOW 3D software package. The velocity distribution patterns along the flushing path axis for favorable and unfavorable sludge passage conditions are given. The diagram of water intake structure flushing path regimes for diversion power plants has been drawn. The obtained investigation results can be used in the design, construction, and operation of the water intake structures of diversion power plants in mountain and piedmont areas.

Key words: river drifts, water intake structure, diversion canal, flow circulation, layout of structures, physical modeling, velocity distribution, diagram of regimes, improvement of structures.

For citation: Lavrov N.P., Loginov G.I., Shipilov A.V., Shestopalova T.A., Aristarkhova A.O., Matyukova A.E. Methods Recommended for Preventing River Drift and Sludge Ice from Getting into the Culverts of Diversion Power Plants. Bulletin of MPEI. 2019;5:45—52. (in Russian). DOI: 10.24160/1993-6982-2019-5-45-52.

Актуальность проблемы

Накопленный опыт эксплуатации деривационных гидроэлектростанций (ГЭС) показывает, что водозаборные сооружения — наиболее уязвимая часть гидроэнергетических узлов. Головные сооружения размываются паводком, деривационные каналы летом заваливаются речными наносами, а в зимнее время — шугой [1 — 4]. При этом типичными являются водозаборные гидроузлы, в состав которых входят низконапорные водозаборные сооружения, а также отстойники или пескогравелиовки с гидравлической промывкой наносов [1, 4, 5]. Основная причина, определяющая подобный состав сооружений, — необходимость обеспечения защиты отводящих каналов и трубопроводов от наносов и шуголедовых образований [3, 6, 7]. Наличие гидравлических турбин и самотечных напорных систем предъявляет особые требования к качеству подаваемой воды [4, 6, 8, 9].

Как показала практика эксплуатации водозаборных сооружений на горных реках, наиболее перспективными считаются сооружения с комбинированной наносозащитой [1, 8 — 10], когда в зависимости от режима эксплуатации используются следующие способы и устройства:

— в многоводный период применяется криволинейное зарегулированное подводящее русло, в пределах которого создается продольно-поперечная циркуляция, перемещающая крупные фракции наносов от вогнутого берега к выпуклому, где устраивается основной водосброс в виде речного пролета;

— в меженный период и в период пропуска среднелетних речных расходов искусственная циркуляция организуется наносозащитными порогами, устраиваемыми в составе водозаборного сооружения, при этом циркуляционный валец увлекает наносы в сторону промывного тракта

Проведенные исследования показали, что гарантированную наносозащиту упомянутыми способами в зоне водозаборного сооружения можно обеспечить от наносов диаметром более 5...10 мм [4, 10, 11]. Этого недостаточно для удовлетворения требований к качеству воды для современных энергетических и водохозяйственных систем. Поэтому в состав водозаборных гидроузлов рекомендуется дополнительно включать отстойники и пескогравелиовки [8, 9, 12].

С целью совершенствования технологических характеристик гидротехнических сооружений, входящих в состав головных водозаборных гидроузлов водохозяйственных систем горно-предгорных зон, регулярно проводятся многофакторные исследования [1, 3, 6, 7, 10, 13]. Они заключаются в определении рациональных параметров сооружений и устройств с учетом гидроморфометрических и климатических характеристик участков реки.

Гидроморфометрические характеристики речного потока на криволинейном участке русла

Для прогноза возможных гидравлических процессов на изучаемых участках горных рек определяют их гидроморфометрические характеристики. Расчеты основываются на результатах исследований [1, 6, 8, 10, 12].

В предположении наличия криволинейных подводящих русел перед подпорными створами водозаборных гидроузлов в качестве первой ступени защиты от наносов проанализированы различные представления о причинах возникновения поперечной циркуляции [1, 6, 10, 11]. В ходе анализа данного явления в качестве движущей в виде равенства представлена центростремительная сила, уравнивающая центробежную силу:

$$gJ_{cr} = \frac{v^2}{R_{cur}} \rightarrow J_{cr} = \frac{v^2}{gR_{cur}},$$

где J_{cr} , v , R_{cur} — поперечный уклон водного потока, средняя скорость движения воды и радиус кривизны на криволинейном участке русла.

Возникновение донных токов в сторону вогнутого берега на криволинейных участках русел нарушает представленное равенство сил, что подразумевает необходимость анализа более сложной расчетной схемы (рис. 1).

Важным в определении характеристик гидравлических процессов на криволинейных участках является поиск местоположения воронки размыва у вогнутого берега, где рекомендуется устройство водоприемника отводящего канала или трубопровода. Учитывая вид известных зависимостей для определения угла расположения максимальных глубин воронки размыва от

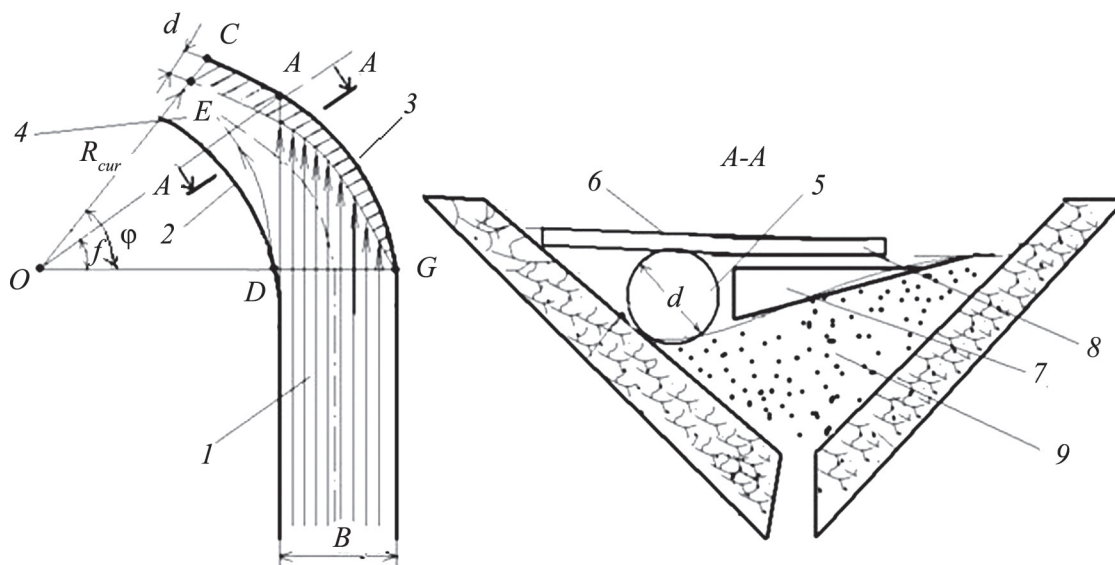


Рис. 1. Расчетная схема криволинейного участка русла:

1 — подводящий прямолинейный участок; 2, 3 — выпуклый и вогнутый берега; 4 — отложения наносов; 5 — сечение конусообразного потока; 6 — поверхность потока с поперечным уклоном; 7 — поперечное сечение потока, движущегося вдоль выпуклого берега; 8 — сечение потока, движущегося к вогнутому берегу со стороны прямолинейного участка русла; 9 — отводка русла (часть неразмываемого дна)

начала кривизны зарегулированного русла, рекомендована эмпирическая формула для определения разности углов размещения точек A и C (см. рис. 1). Она учитывает смещение струй водного потока при уклонах дна подводящих участков русел i_p , изменяющихся от 0,005 до 0,05:

$$\varphi - f = 58,3 \frac{B}{R_{cur}} + 29,36i_p + 9,9,$$

где φ — угол размещения воронки размыва русла с максимальной глубиной; f — угол, определяющий размещение точки A на вогнутом берегу русла; B — ширина русла по урезу воды, определяющаяся при руслоформирующем расходе реки.

В точке A заканчивается проекция сечения подводящего русла на вогнутый берег. В точке C располагается воронка размыва с максимальной глубиной и, как свидетельствуют проведенные исследования [1], в этом сечении токи воды, проходящие от точки D, набегает на вогнутый берег.

При анализе расчетной схемы, изображенной на рис. 1, сделано предположение о направлении основных токов воды на данном участке. При постепенном сложении струй воды вдоль вогнутого берега они образуют циркуляционный поток, который расширяется при поступательном движении за счет подпитки со стороны подводящего русла от точки G в конце прямолинейного участка до точки C. Циркуляция конусообразного потока происходит в поперечном направлении и приводит к его заглублению в размываемое дно русла.

Циркуляционный поток, движущийся вдоль вогнутого берега 3, подтвержден воздействием центробежной

силы, которая уравнивается центростремительной силой воды, возникающей из-за поперечного уклона поверхности потока 6. В это время поступающие со стороны подводящего участка 1 струи набегает на вогнутый берег 3 и до вступления во взаимодействие с конусообразным вальцем 5 не участвуют в уравнивании указанных сил. Данный фактор — решающий в образовании донных токов, поскольку создается превышение уровней воды у вогнутого берега над уровнями у выпуклого берега. Взаимодействие соединяющихся на поверхности и отделяющихся в придонной области объемов воды вызывает поперечную циркуляцию потока на криволинейном участке.

Для перехода от качественного описания к количественным характеристикам рассмотрена математическая модель, описывающая происходящие гидравлические процессы [1]:

$$\begin{cases} Q_{bi} = Q_{b(i-1)} + Q_R \theta_i - Q_{boti}; \\ \theta_i = \frac{\cos \varphi_{i-1} - \cos \varphi_i}{1 - \cos \varphi}; \\ Q_{boti} = Q_{bot(i-1)} + \int_0^{L_{opt}} \omega_i C_i \sqrt{R_i \Delta J} dl; \\ \omega_i = k_i dl; \\ d_i = \sqrt{\frac{4Q_{bi}}{\pi v}}, \end{cases} \quad (1)$$

где Q_R — расход воды в русле реки; φ_i — угол между входным сечением криволинейного участка и рассматриваемым i -м поперечным сечением; Q_{boti} — расход донных токов воды, отделяющихся от конусообразно-

го потока от его начала до рассматриваемого сечения; θ_i — коэффициент, учитывающий долю проекции рассматриваемого участка в общей проекции вогнутого берега, на плоскость, размещенную в начале кривизны русла; ω_i — площадь поперечного сечения придонного потока, отделяющегося от конусообразного вальца; k — вертикальный размер донного потока в рассматриваемых сечениях; R_i — расчетное значение гидравлического радиуса; d_i — диаметр конусообразного вальца; v — средняя скорость воды в конусообразном вальце; C_i — коэффициент Шези для движения придонных токов; ΔJ — приращение поперечного уклона свободной поверхности водного потока в результате действия силы инерции при набегании потока на вогнутый берег.

Проведенные в лаборатории гидротехнических сооружений Кыргызско-Российского Славянского университета (КРСУ) исследования физических моделей криволинейных русел показали, что результаты решения системы уравнений (1) имеют отклонения в пределах 10% от результатов физического моделирования [1].

Обосновано, что для создания необходимой циркуляции воды в заданной области криволинейного русла в начале этого русла необходимо устраивать прямолинейный участок по схеме, приведенной на рис. 2. Длина участка может быть определена по эмпирической формуле:

$$L_s/B = 34,976i_p + 0,98,$$

где L_s — длина прямолинейного участка.

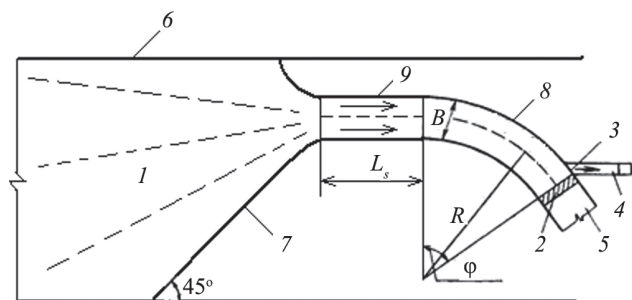


Рис. 2. Рекомендованный вариант устройства криволинейных зарегулированных русел:

1 — подводящее русло реки; 2 — водозаборное сооружение; 3 — водоприемник; 4 — отводящий канал; 5 — отводящее зарегулированное русло гидроузла; 6 — берега бытового русла реки; 7 — струенаправляющие дамбы; 8 — криволинейное русло; 9 — прямолинейный водопроводящий участок

Предлагаемые компоновочные схемы водозаборных сооружений на горных реках

Циркуляцию водного потока на криволинейных участках можно использовать только при прохождении по реке расходов воды, равных и превышающих значение руслоформирующего расхода. В другие эксплуатационные периоды при меньших речных расходах

используется активная наносозащита в виде местного циркуляционного вальца, создающегося порогами, устраиваемыми в составе водозаборного сооружения перед водоприемными оголовками (см. рис. 2). Разновидности наносозащитных порогов, образующих водоприемную камеру, являются одним из признаков предложенной классификации горных водозаборных сооружений в зависимости от формы порогов и размещения промывных трактов [1].

Исходя из теоретических и поисковых модельных исследований, в КРСУ и СПбПУ разработаны три компоновочных схемы [1, 5, 6, 12] низконапорных плотинных водозаборных сооружений (рис. 3).

Представленные автоматизированные водозаборные сооружения, осуществляющие водоотбор из горных рек в гидроэнергетические и ирригационные системы, позволяют повысить коэффициент водозабора, уменьшить захват наносов и шуголедовых образований в водоприемные камеры и увеличить транспортирующую способность сбрасываемых объемов воды.

Как свидетельствуют результаты лабораторных исследований и натурных наблюдений на внедренных в производство объектах, наносозащитные элементы упомянутых головных сооружений надежно обеспечивают защиту от фракций наносов диаметром более 5...10 мм [1, 6, 12]. Твердые частицы меньших размеров попадают в отводящий водовод.

С целью повышения технологической эффективности водозаборных гидроузлов разработана усовершенствованная конструкция отстойника. Конструктивное отличие состоит в различной длине его камер, что позволяет эффективно использовать его в различные эксплуатационные периоды. Конструкция разработана по техническому заданию для защиты напорного водовода от наносов диаметром более 0,2 мм в зависимости от применяемых камер отстойника. Подобная компоновка подстраивает работу отстойника для защиты от наносов с различными диаметрами, проводит эффективную промывку камер в более короткий период времени.

Исследования шугосбросных устройств в составе водозаборного сооружения для деривационных гидроэлектростанций

Опыт эксплуатации гидроэлектростанций на горных реках показал, что в зимний период их работа может значительно осложниться присутствием в потоке шуги и льда, поэтому при проектировании гидроузлов, располагаемых на горных реках с ледовыми условиями, необходимо предусматривать меры, предотвращающие возможные перебои в водоподаче на агрегаты ГЭС из-за шуголедовых затруднений.

На основании работ [5, 13 — 16] можно выделить четыре группы мероприятий по борьбе с шуголедовыми затруднениями на гидроэлектростанциях:

— уменьшение интенсивности возникновения ледяных образований или полное их предотвращение;

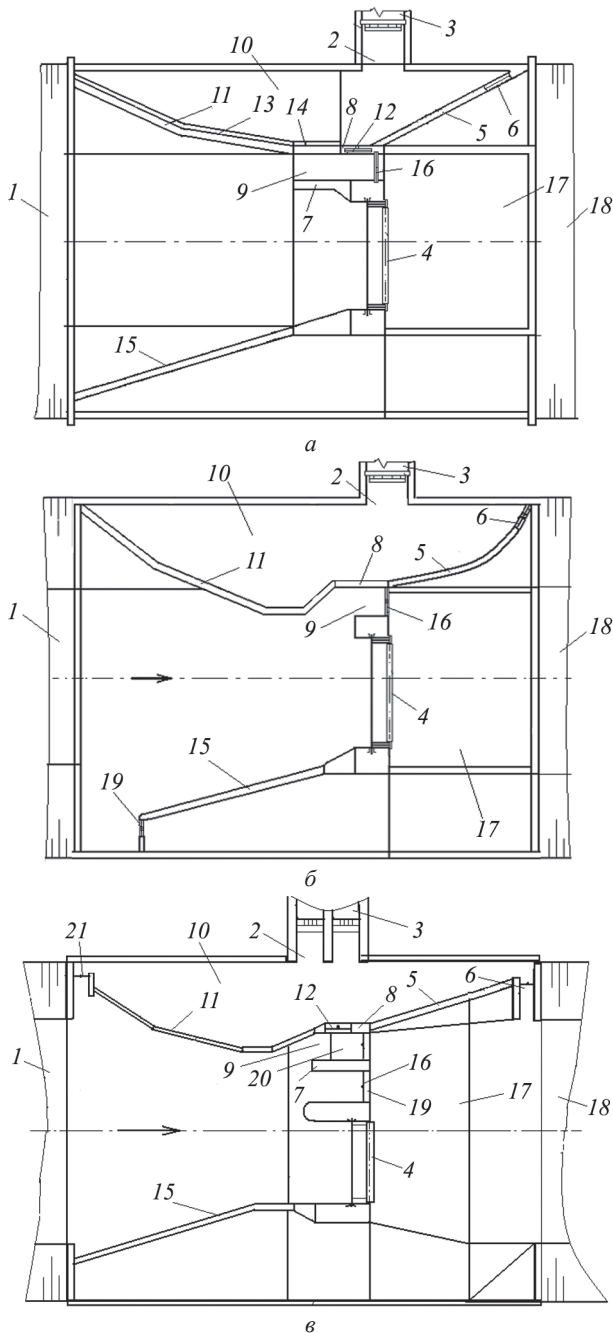


Рис. 3. Компоненческие схемы водозаборных сооружений:
а — водозаборное сооружение для деривационных ГЭС (патент КР № 607, 2003 г.); *б* — водозаборное сооружение для горных рек (патент КР № 920, 2006 г.); *в* — водозаборное сооружение из горных рек (патент № 133537 РФ, 2013 г.); 1 — подводящее русло; 2 — водоприемный оголовок; 3 — отводящий канал; 4 — затвор-автомат уровня верхнего бьефа; 5 — автоводослив водоприемной камеры; 6 — сбросное отверстие водоприемника; 7 — промежуточный бычок; 8 — раздельная стенка; 9 — промывной тракт; 10 — водоприемная камера; 11 — ломаный в плане наносозащитный порог; 12 — отверстие зимнего водозабора; 13 — внутренняя грань порога; 14 — закладные части под шандоры; 15 — автоводослив верхнего бьефа; 16 — сдвоенный затвор промывного тракта; 17 — водобойный колодец; 18 — отводящее русло; 19 — дополнительное промывное отверстие; 20 — наклонная донная вставка; 21 — верхнее водоприемное отверстие

- аккумулярование подвижных ледообразований выше водозаборных сооружений и на водопроводящем тракте;
- беззажорную транспортировку подвижных ледообразований по водопроводящим трактам;
- рациональный сброс льда и шуги в нижний бьеф сооружений гидроузла.

На практике редко отдается предпочтение какой-либо одной группе, и зачастую они применяются совместно. Однако для водозаборных сооружений, расположенных в горных и предгорных районах, где создание достаточных емкостей для аккумулярования ледообразований проблематично, рекомендуется выполнение мероприятий четвертой группы — рациональный сброс льда и шуги в нижний бьеф гидроузла.

По этим причинам на головных сооружениях типа водозаборного сооружения для деривационных гидроэлектростанций (ВСДГ) (см. рис. 3) принят способ защиты деривационного канала от шуги путем забора воды в зимнее время из нижних слоев потока и сброса шуги и льда в нижний бьеф гидроузла с помощью специальных шугосбросных устройств.

Для определения параметров шугосбросных устройств и оптимальных условий их эксплуатации А.В. Шипиловым (СПБПУ) выполнены физическое и математическое моделирования процессов зимнего водозабора ВСДГ [17]. На рис. 4 представлена аксонометрическая проекция водозаборного сооружения для деривационных ГЭС.

С применением программного комплекса FLOW 3D, используемого в СПБПУ, решена задача компьютерного моделирования пространственного турбулентного течения вязкой несжимаемой жидкости.

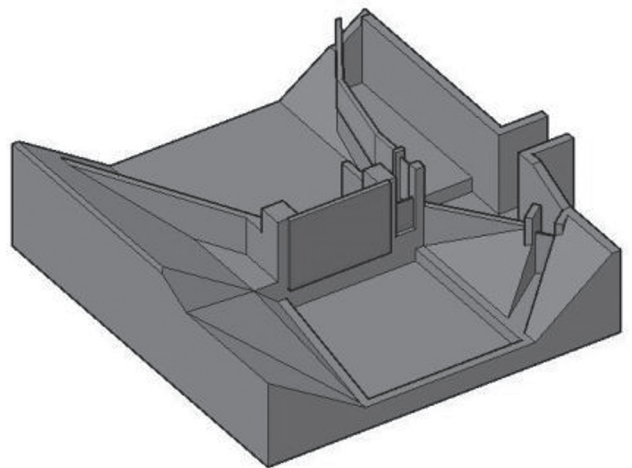


Рис. 4. Аксонометрическая проекция водозаборного сооружения для деривационных ГЭС (ВСДГ), построенного на реке Иссык-Ата, Кыргызстан

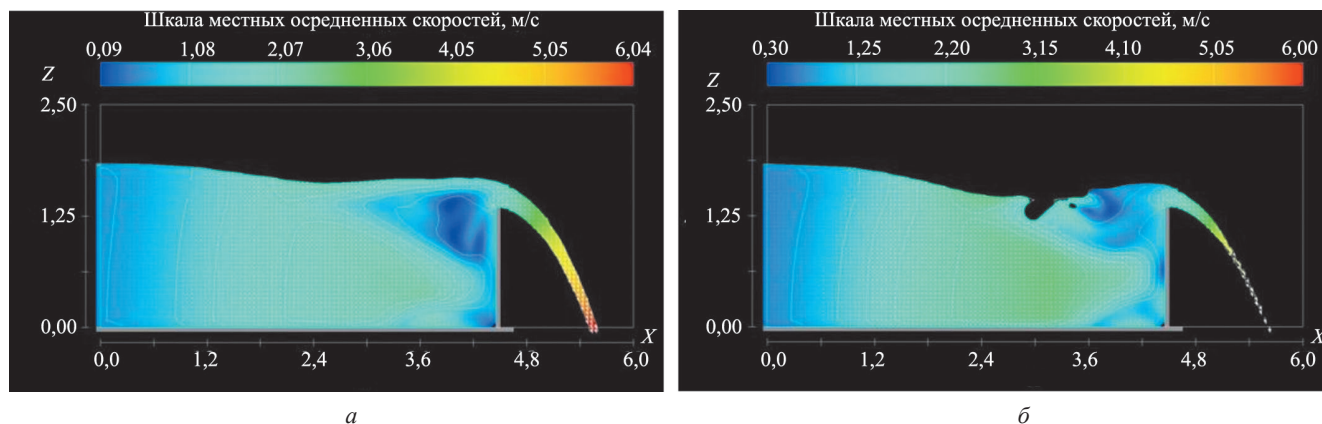


Рис. 5. Картина распределения скоростей по оси промывного тракта для благоприятных (а) и неблагоприятных (б) условий пропуска шуги

Для оценки оптимальных условий эксплуатации шугосбросных устройств моделирование проходило при различных значениях открытия отверстия зимнего водозабора 12 и напора над сдвоенным затвором промывного тракта 16 (см. рис. 3), выполняющим роль шугосброса (рис. 5).

При определенных значениях открытия отверстия зимнего водозабора и напорах над плоским сдвоенным затвором ВСДГ наблюдаются режимы как благоприятные для пропуска шуги, так и неблагоприятные. На рис. 5 дана картина распределения скоростей по оси промывного тракта ВСДГ в двух таких случаях. Как можно видеть из рис. 5, б, над отверстием зимнего водозабора перед сдвоенным затвором наблюдается гидравлический прыжок, способствующий затягиванию шуги в водоприемник. В том же створе на рис. 5, а происходит плавное изменение свободной поверхности, не препятствующее транспорту шуги в нижний бьеф. Полученные результаты позволили составить диаграмму режимов промывного тракта ВСДГ (рис. 6).

При гидравлическом моделировании движения шуги использовались частицы полиэтилена низкого давления, пересчет размеров частиц с природы на модель производился по методике, предложенной сотрудниками ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева (А.Б. Векслер и З.А. Генкин) [18]. Отдельные результаты, полученные на модели, согласуются с опытными данными М.К. Торопова и рекомендациями Н.П. Лаврова (СПбПУ) и Г.И. Логинова (КРСУ) по эксплуатации ВСДГ [6, 12, 18, 19].

Выполненные исследования позволили внести усовершенствования в конструкцию ВСДГ и получить патент на полезную модель [20]: шугосбросное устройство ВСДГ оснащается сдвоенным затвором промывного тракта и дополнительным шугосбросным вырезом в стенке сбросного водослива, а для ВСГР в промывном тракте предложено устроить донную вставку-трамплин.

Заключение

Проведенные исследования с учетом обобщенных рекомендаций по расчету и проектированию водоза-

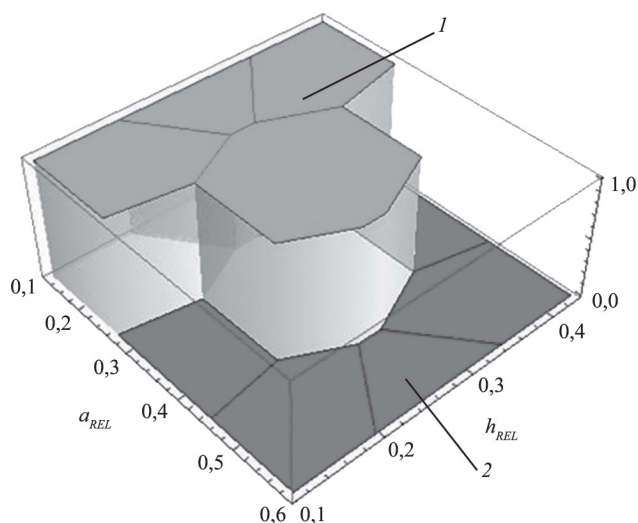


Рис. 6. Диаграмма режимов промывного тракта ВСДГ:

1, 2 — области допустимых и недопустимых режимов; $a_{REL} = a/H_R$ — отношение значения открытия сдвоенного затвора промывного тракта a к расчетному напору в верхнем бьефе ВСДГ H_R ; $h_{REL} = h/H_R$ — отношение напора над гребнем сдвоенного затвора промывного тракта h к расчетному напору H_R в верхнем бьефе сооружения

борных сооружений позволили обеспечить гарантированную водоподачу из горных рек на деривационные ГЭС и в предгорные водохозяйственные системы с соблюдением заданных требований по содержанию наносов и шуги. Это подтверждено при внедрении и эксплуатации водозаборных сооружений для деривационных ГЭС на реках Иссык-Ата (Кыргызстан) и Мерке (Казахстан) с уклонами дна подводящих русел 0,025...0,03 и расходами воды в реках, изменяющихся от 1,9 до 61,5 м³/с. Конструкции ВСГР приняты в проекты водозабора на реках Усек (Казахстан) и Асса (Ингушетия).

Результаты исследований могут быть использованы при проектировании, строительстве и эксплуатации водозаборных гидроузлов малых деривационных ГЭС в горно-предгорной зоне.

Литература

References

1. **Логинов Г.И.** Гидравлические процессы при водозаборе из малых горных рек. Бишкек: Кут-Бер, 2014.

2. **Дмитриева И.Л., Гурьевич Т.Б., Самосейко А.Н.** Опыт геоэкологического обоснования проектов малых деривационных ГЭС на реках Северного Кавказа // Вестник Российской академии естественных наук. 2011. Т. 11. № 1. С. 85—91.

3. **Малик Л.К.** Проблемы и перспективы создания малых ГЭС на малых реках // Малая энергетика. 2004. № 1. С. 37—48.

4. **Бальзаников М.И., Евдокимов С.В., Орлова А.А.** Сооружения деривационной ГЭС (выбор основных параметров и их расчет). М.: Изд-во МЭИ, 2007.

5. **Лавров Н.П., Атаманова О.В., Логинов Г.И., Фролова И.Е.** Физическое моделирование водозаборного сооружения на р. Асса в Республике Ингушетия // Гидротехническое строительство. 2016. № 3. С. 44—50.

6. **Hydraulic Structures for Small Power Engineering of Mountain and Foot-mountain Area / Ed. N.P. Lavrov.** Bishkek: KRSU, 2009.

7. **Лавров, Н.П., Логинов Г.И.** Водозаборные и водопроводящие сооружения в горно-предгорной зоне. Бишкек: Изд-во КРСУ, 2016.

8. **Филончиков А.В.** Проектирование автоматизированных водозаборных узлов на горных реках. Фрунзе: Изд-во Кыргызстан, 1990.

9. **Фазылов А.Р.** Технологические процессы и технические средства защиты водных объектов от наносов в горно-предгорной зоне. Душанбе — Бишкек: Промэкспо, 2014.

10. **Соболин Г.В.** Водозаборные узлы для оросительных систем горно-предгорной зоны. Фрунзе: КирНИИВХ, 1990.

11. **Zolezzi G., Repetto R., Tubino M., Toropov M., Serafini M.** Mathematical Modeling of Silting in Kugart River. Kyrgyzstan River Costal and Esturine Morphodynamics: Dohmen-Janssen & Hulscher (eds), Taylor & Francis Group. London, 2008. Pp. 1179—1189.

12. **Vatin N., Lavrov N., Loginov G.** Processes at Water Intake from Mountain Rivers into Hydropower and Irrigation Systems // Proc. MATEC Web of Conferences [Электрон. ресурс] https://www.researchgate.net/publication/306070335_Processes_at_Water_Intake_from_Mountain_Rivers_into_Hydropower_and_Irrigation_Systems (дата обращения 27.10.2018).

13. **Естифеев А.М.** Регулирование шугового потока на гидроэлектростанциях. М.-Л.: Госэнергоиздат, 1958.

14. **Жулаев А.Ж., Назаров Ц.А.** Зимняя эксплуатация деривационных ГЭС на горных реках Казахстана. Алма-Ата.: Изд-во АН Казахской ССР, 1963.

15. **Brian B.B.** Cold Climate Problems of a Microhydroelectric Development on Crow Creek. Anchorage: University of Alaska, 2007.

1. **Loginov G.I.** Gidravlicheskie Protsessy pri Vodozabore iz Malykh Gornyykh Rek. Bishkek: Kut-Ber, 2014. (in Russian).

2. **Dmitrieva I.L., Gur'evich T.B., Samoseyko A.N.** Opyt Geoekologicheskogo Obosnovaniya Proektov Malykh Derivatsionnykh GES na Rekakh Severnogo Kavkaza. Vestnik Rossiyskoy akademii estestvennykh nauk. 2011;11;1:85—91. (in Russian).

3. **Malik L.K.** Problemy i Perspektivy Sozdaniya Malykh GES na Malykh Rekakh. Malaya Energetika. 2004;1:37—48. (in Russian).

4. **Bal'zannikov M.I., Evdokimov S.V., Orlova A.A.** Sooruzheniya Derivatsionnoy GES (Vybor Osnovnykh Parametrov i ikh Raschet). M.: Izd-vo MEI, 2007. (in Russian).

5. **Lavrov N.P., Atamanova O.V., Loginov G.I., Frolova I.E.** Fizicheskoe Modelirovanie Vodozabornogo Sooruzheniya na r. Assa v Respublike Ingushetiya. Gidrotekhnicheskoe Stroitel'stvo. 2016;3:44—50. (in Russian).

6. **Hydraulic Structures for Small Power Engineering of Mountain and Foot-mountain Area.** Ed. N.P. Lavrov. Bishkek: KRSU, 2009.

7. **Lavrov, N.P., Loginov G.I.** Vodozabornye i Vodoprovodyashchie Sooruzheniya v Gorno-predgornoy Zone. Bishkek: Izd-vo KRSU, 2016. (in Russian).

8. **Filonchikov A.V.** Proektirovanie Avtomatizirovannykh Vodozabornykh Uzlov na Gornyykh Rekakh. Frunze: Izd-vo Kyrgyzstan, 1990. (in Russian).

9. **Fazylov A.R.** Tekhnologicheskie Protsessy i Tekhnicheskie Sredstva Zashchity Vodnykh Obyektov ot Nanosov v Gorno-predgornoy Zone. Dushanbe — Bishkek: Promekspo, 2014. (in Russian).

10. **Sobolin G.V.** Vodozabornye Uzly dlya Orositel'nykh Sistem Gorno-predgornoy Zony. Frunze: KirNIIVKH, 1990. (in Russian).

11. **Zolezzi G., Repetto R., Tubino M., Toropov M., Serafini M.** Mathematical Modeling of Silting in Kugart River. Kyrgyzstan River Costal and Esturine Morphodynamics: Dohmen-Janssen & Hulscher (eds), Taylor & Francis Group. London, 2008:1179—1189.

12. **Vatin N., Lavrov N., Loginov G.** Processes at Water Intake from Mountain Rivers into Hydropower and Irrigation Systems. Proc. MATEC Web of Conferences [Elektron. Resurs] https://www.researchgate.net/publication/306070335_Processes_at_Water_Intake_from_Mountain_Rivers_into_Hydropower_and_Irrigation_Systems (Data Obrashcheniya 27.10.2018).

13. **Estifeev A.M.** Regulirovanie Shugovogo Potoka na Gidroelektrostantsiyakh. M.-L.: Gosenergoizdat, 1958. (in Russian).

14. **Zhulaev A.Zh., Nazarov Ts.A.** Zimnyaya Eksploatatsiya Derivatsionnykh GES na Gornyykh Rekakh Kazakhstana. Alma-Ata.: Izd-vo AN Kazakhskoy SSR, 1963. (in Russian).

15. **Brian B.B.** Cold Climate Problems of a Microhydroelectric Development on Crow Creek. Anchorage: University of Alaska, 2007.

16. **Фазылов А.Р.** Управление твердым стоком реки Вахш в условиях изменения климата // Проблемы управления речными бассейнами при освоении Сибири и Арктики в XXI веке: Сборник докл. XIX Междунар. науч.-практ. конф. Тюмень: ТИУ, 2017. Т. III. С. 216—222.

17. **Шипилов А.В.** Совершенствование конструкции водозаборного сооружения деривационной ГЭС для зимнего режима эксплуатации: автореф. дис. ... канд. техн. наук. СПб: ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева, 2013.

18. **Векслер А.Б., Генкин З.А., Васильева И.М.** Условия гидравлического моделирования шуги при ледотермических исследованиях гидротехнических сооружений // Известия ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева. 1988. Т. 205. С. 12—15.

19. **Vatin N., Lavrov N., Shipilov A.** The Water Intake Facility for Diversion HPPs in Winter Operation Conditions in an Urban Area // Procedia Eng. 2015. V. 117. Iss. 1. Pp. 374—380.

20. **Пат. № 123423 РФ.** Шугосбросное устройство водозаборного сооружения для деривационных ГЭС / Н.П. Лавров, А.В. Шипилов, Г.И. Логинов // Бюл. изобрет. 2012. № 36.

16. **Fazylov A.R.** Upravlenie Tverdym Stokom Reki Vakhsh v Usloviyakh Izmeneniya Klimata. Problemy Upravleniya Rechnymi Basseynami pri Osvoenii Sibiri i Arktiki v XXI Veke: Sbornik Dokl. XIX Mezhdunar. Nauch.-prakt. Konf. Tyumen': TIU, 2017; III:216—222. (in Russian).

17. **Shipilov A.V.** Sovershenstvovanie Konstruktsii Vodozabornogo Sooruzheniya Derivatsionnoy GES dlya Zimnego Rezhima Ekspluatatsii: Avtoref. Dis. ... Kand. Tekhn. Nauk. SPb: VNIIG im. B.E. Vedeneeva, 2013. (in Russian).

18. **Veksler A.B., Genkin Z.A., Vasil'eva I.M.** Usloviya Gidravlicheskogo Modelirovaniya Shugi pri ledotermicheskikh Issledovaniyakh Gidrotekhnicheskikh Sooruzheniy. Izvestiya VNIIG im. B.E. Vedeneeva. 1988;205:12—15. (in Russian).

19. **Vatin N., Lavrov N., Shipilov A.** The Water Intake Facility for Diversion HPPs in Winter Operation Conditions in an Urban Area. Procedia Eng. 2015;117;1:374—380.

20. **Pat. № 123423 RF.** Shugosbrosnoe Ustroystvo Vodozabornogo Sooruzheniya dlya Derivatsionnykh GES. N.P. Lavrov, A.V. Shipilov, G.I. Loginov. Byul. izobret. 2012;36. (in Russian).

Сведения об авторах:

Лавров Николай Петрович — доктор технических наук, профессор кафедры водохозяйственного и гидротехнического строительства Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого, e-mail: lavrov_np@spbstu.ru

Логинов Геннадий Иванович — доктор технических наук, заведующий кафедрой гидротехнического строительства и водных ресурсов Кыргызско-Российского Славянского университета, e-mail: logi-gennadij@yandex.com

Шипилов Александр Владимирович — кандидат технических наук, начальник отдела № 303 Всероссийского научно-исследовательского института гидротехники им. Б.Е. Веденеева, e-mail: shipilovav@vniig.ru

Шестопалова Татьяна Александровна — кандидат технических наук, директор института гидроэнергетики и возобновляемых источников энергии, заведующая кафедрой гидроэнергетики и возобновляемых источников энергии НИУ «МЭИ», e-mail: tatyana64.08@mail.ru

Аристархова Алина Олеговна — магистрант Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого, e-mail: alinaaristarkhova0@gmail.com

Матюкова Анна Евгеньевна — магистрант Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого, e-mail: fou_merveille@inbox.ru

Information about authors:

Lavrov Nikolay P. — Dr.Sci. (Techn.), Professor of Water and Hydraulic Engineering Dept., Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, e-mail: lavrov_np@spbstu.ru

Loginov Gennadiy I. — Dr.Sci. (Techn.), Head of Hydraulic Engineering and Water Resources Dept., Kyrgyz-Russian Slavic University, e-mail: logi-gennadij@yandex.com

Shipilov Aleksandr V. — Ph.D. (Techn.), Head of Dept. № 303, The B.E. Vedeneev All Russia Institute of Hydraulic Engineering, e-mail: shipilovav@vniig.ru

Shestopalova Tatyana A. — Ph.D. (Techn.), Director of Institute of Hydropower and Renewable Energy, Head of Hydropower and Renewable Energy Sources Dept., NRU MPEI, e-mail: tatyana64.08@mail.ru

Aristarkhova Alina O. — Master Student of Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, e-mail: alinaaristarkhova0@gmail.com

Matyukova Anna E. — Master Student of Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, e-mail: fou_merveille@inbox.ru

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Conflict of interests: the authors declare no conflict of interest

Статья поступила в редакцию: 27.11.2018

The article received to the editor: 27.11.2018