ISSN 2413–9858

Научная статья
УДК 627.431

ВОЗМОЖНЫЕ ВАРИАНТЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ФЁДОРОВСКОГО ГИДРОУЗЛА

М.П. Саинов[1,2*], А.А. Зузов[1]

[1] Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, Москва, Россия
[2] Национальный исследовательский университет «МЭИ», Москва, Россия
* E-mail: SainovMP@mgsu.ru

Аннотация. Фёдоровский гидроузел на реке Кубань – это гидроузел низкого напора, построенный в 1967 г. для обеспечения подачи воды в оросительные системы Краснодарского края. 22 апреля 2022 г. на гидроузле произошла авария – из-за размыва песчаного основания были разрушены бетонная водосливная плотина и рыбоподъёмник. Другие сооружения гидроузла остались целы. Актуальным вопросом является восстановление Фёдоровского гидроузла. Во избежание повторения аварии конструкции восстанавливаемых сооружений должны быть усовершенствованы. Для защиты от размыва основания предлагается удлинить крепление русла за водосливной плотиной и её подземный контур. Разрушенные сооружения гидроузла не могут быть восстановлены на прежнем месте, он должен получить новую компоновку. Выбор компоновки осложняется необходимостью поддерживать в период строительства уровень верхнего бьефа, достаточный для работы оросительных систем, и необходимостью демонтажа разрушенных сооружений. Рассмотрены две принципиальные разные схемы компоновки восстанавливаемого гидроузла. Предпочтение отдаётся варианту восстановления сооружений вне современного русла. При восстановлении гидроузла предлагается включить в его состав гидроэлектростанцию. Меженный сток реки позволит создать ГЭС мощностью около 5 МВт. Разработана принципиальная схема конструкции здания ГЭС.

Ключевые слова: *гидроузел; плотина; река Кубань; авария; гидроэлектростанция*.

Для цитирования: Саинов М.П., Зузов А.А. Возможные варианты восстановления Фёдоровского гидроузла // *Вестник науки и образования Северо-Запада России*. 2024. Т.10. №3. С. 29–41.

Original article

POTENTIAL ALTERNATIVES OF FIODOROVSKY HYDRO PROJECT REHABILITATION

M.P. Sainov[1,2*], A.A. Zuzov[1]

[1] Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Moscow, Russia
[2] National Research University «Moscow Power Engineering Institute», Moscow, Russia
* E-mail: SainovMP@mgsu.ru

Abstract. Fiodorovsky hydro project on the Kuban River is a low head project built in 1967 to provide water supply to irrigation systems of Krasnodar Territory. On April 22, 2022, it was a failure at the project: due to washing out of the sand foundation the concrete spillway dam and the fish holding tank were destroyed. The other structures of the project were unharmed. The urgent issue is rehabilitation of Fiodorovsky project. To avoid the second failure the structures of

© Саинов М.П., Зузов А.А. 2024

the rehabilitated facilities should be modernized. To protect the foundation from washing out it is proposed to elongate the riverbed stabilization beyond the spillway dam and its underground circuit. The failed project structures cannot be rehabilitated on their original places; a new layout should be worked out. Selection of the layout is complicated by the necessity to maintain the upstream water level sufficient for operation of irrigation systems and by the necessity of dismantling of the destroyed structures. Two principally different layout diagrams of the rehabilitated project were considered. The preference is given to the alternative of the structures' rehabilitation beyond the modern riverbed. At rehabilitation of the project it is proposed to include a hydro power station in its layout. The river low stream flow permits construction of HPP with capacity of about 5 MW. The principal diagram of the power house structure was worked out.

Key words: *hydro project; dam; Kuban River; failure; hydroelectric power station.*

For citation: Sainov M.P., Zuzov A.A. Potential alternatives of Fiodorovsky hydro project rehabilitation. *Journal of Science and Education of North-West Russia.* 2024. V.10. No.3, pp. 29–41.

Введение

В конце XX и начале XXI века в России не было построено ни одного низконапорного речного гидроузла, однако в настоящее время этот вопрос вновь приобрёл актуальность. В последние годы были построены или спроектированы несколько таких гидроузлов.

В 2011 г. была предпринята попытка строительства низконапорного Красногорского гидроузла на реке Иртыш в Омской области в целях водоснабжения областного центра [1, 2]. Однако строительство не было завершено и было приостановлено. В 2022 г. была принято решение о возобновлении строительства.

В 2016 г. было возобновлено строительство Белопорожских ГЭС на р. Кемь (Карелия). Но в 2020 г. произошли две аварии, связанные с нарушением целостности земляной плотины гидроузла [3].

На реке Волге, ниже по течению от Городецких шлюзов, проектируется Нижегородский низконапорный гидроузел для улучшения судоходных условий [4-6].

В 2012-2021 гг. были построены два судоходных низконапорных гидроузла на реке Оке, заменивших собой старые сооружения, построенные в начале XX в. В 2015 г. был построен Кузьминский гидроузел ниже по течению от старого, построенного в 1913 г. [7]. Затем начались работы по коренной реконструкции Белоомутского гидроузла, построенного в 1915 г. В 2021 году новый гидроузел был введён в эксплуатацию.

В настоящее время актуальным вопросом является восстановление ещё одного низконапорного гидроузла. Это Фёдоровский гидроузел на реке Кубань, в Краснодарском крае.

Фёдоровский гидроузел был построен в 1961-1966 гг., а в 1967 г. был введён в эксплуатацию [8]. Этот гидроузел имеет важное значение для продовольственной безопасности страны – его основное назначение состоит в обеспечении самотёчной подачи воды на оросительные системы. Водохранилище Фёдоровского гидроузла питает Марьяно-Чебургольскую, Понуро-Калининскую, Федоровскую и Кубанскую оросительные системы.

Фёдоровский гидроузел – низконапорный, его основные гидротехнические сооружения относятся ко второму классу ответственности. НПУ водохранилища составляет 13,40 м, а его глубина непосредственно перед плотиной составляет 7,1 м [9]. Гидроузел был запроектирован в составе следующих основных сооружений: бетонной водосбросной плотины, рыбохода, судоходного шлюза, земляной плотины, подводящего и отводящего каналов.

В процессе эксплуатации на бетонных сооружениях гидроузла проявились признаки старения и частичные разрушения. Мост через плотину был признан аварийным. В связи с этим на сооружениях проводились работы по ремонту и реконструкции. Такие работы проводились в 2010 [10] и 2021 гг.

В 2021 г. были проведены работы по замене строительных конструкций верхнего строения бетонной плотины, реконструкции второстепенных сооружений, а также благоустройству территории [8]. В конце 2021 года были начаты работы в русле реки Кубань по креплению дна подводящего канала железобетонными плитами, установке противофильтрационного экрана, которые требовали осушение верхнего бьефа [8]. Окончание работ было запланировано на декабрь 2022 года.

Для составления проекта реконструкции были выполнены инженерно-геологические изыскания и батиграфическая съёмка русла.

Инженерно-геологические изыскания показали, что основание водосбросной плотины имеет сложное геологическое строение. Основной объём занимают пылеватые пески, но имеются также слои суглинков, а также суффозионноопасных песков средней крупности.

Батиграфической съёмкой было установлено, что за период эксплуатации произошло некоторое переформирование русла перед и за водосбросной плотиной:

- яма размыва за водобоем на участке центральных пролётов водосбросной плотины оказалась глубже ковшаж
- крепление русла опустилось по сравнению с проектным положением;
- перед водосбросной плотиной образовалось углубление дна. В самом глубоком месте его дно оказалось ниже подошвы бетонной плотины.

22 апреля 2022 г. на Фёдоровском гидроузле произошла масштабная авария. Под бетонной водосбросной плотиной и рыбоподъёмником было размыто песчаное основание и произошло разрушение этих сооружений. Такой сценарий аварии сооружений гидроузла ранее не предусматривался при оценке их безопасности [10].

Несмотря на аварию, для обеспечения работы оросительных систем потребовалось срочно поднять уровень воды. Поэтому к 11 мая 2022 г. река Кубань была перекрыта временной дамбой, которая отсыпалась из крупнообломочных грунтов с ближайших карьеров [9]. Временная дамба расположена в верхнем бьефе от разрушенных сооружений, имеет криволинейное очертание в плане и длину около 200 м. Пропуск воды осуществляется через проран в дамбе шириной около 60 м.

В настоящее время стоит вопрос о восстановлении постоянных сооружений гидроузла. С 2022 г. рассматриваются варианты компоновки нового Фёдоровского гидроузла.

В данной статье описаны разработанные нами варианты принципиальных компоновочных и конструктивных решений сооружений гидроузла. Сооружения гидроузла не могут быть восстановлены в прежнем створе, т.к. на их местоположении основание размыто и завалено разрушенными конструкциями. Для восстановления гидроузла требуется выбрать новую его компоновку.

Материалы и методы

Решение задачи о выборе компоновки сооружений в составе гидроузла осуществлялось на основе технико-экономического сравнения вариантов. Стоимость сооружений определялась приближённо, по укрупнённым показателям.

При выборе вариантов компоновки был выполнен анализ конструкций и компоновки сооружений гидроузла до аварии.

В прежнем гидроузле все бетонные сооружения были построены на левобережной пойме реки (пойменная компоновка), где было образовано новое русло реки. Старое русло реки Кубань было перекрыто земляной плотиной.

В новом русле центральную часть занимала бетонная водосливная плотина (рис.1). Справа от неё был построен рыбоход.

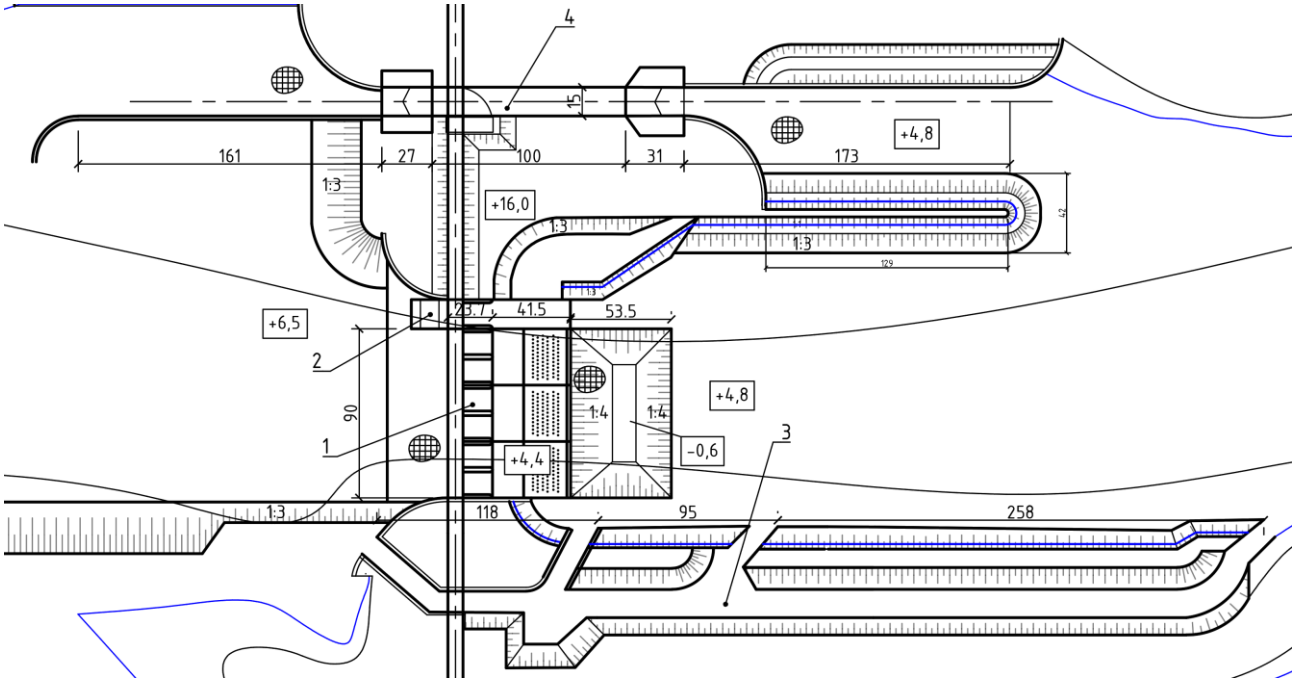


Рисунок 1 – Компоновка бетонных сооружений в составе Фёдоровского гидроузла до 2022 г.
1 – бетонная водосливная плотина; 2 – рыбоподъёмник; 3 – рыбоход Солдатова;
4 – судоходный шлюз

Бетонная водосбросная плотина представляла собой водослив с низким широким порогом, при НПУ напор на пороге составлял 6,9 м. Первоначально плотина имела 7 пролётов по 12 м, перекрытых сегментными затворами [10]. За плотиной было выполнено крепление русла бетонными плитами.

В 1982 г. крайний левобережный пролёт водосбросной плотины был переоборудован для устройства рыбоподъёмника с камерой размерами в плане 70×10 м [8]. С учётом устройства рыбоподъёмника расчётная пропускная способность водосбросной плотины составила 1400 [10] или 1500 м^3/с [8].

Рыбоход Солдатова представляет собой многоступенчатый шлюз длиной 275 м и шириной 10 м с несколькими входами со стороны нижнего бьефа.

Судоходный шлюз был построен по левую сторону от водосливной плотины, на удалении от неё. Он имеет камеру длиной 100 м и шириной 15 м [8].

Сохранившаяся земляная плотина перекрывает старое русло реки Кубань. Она имеет высоту 10 м и длину 300 м [10]. Уклон откосов плотины – 1:5.

Водосбросная плотина и рыбоподъёмник при аварии были разрушены и не подлежат восстановлению на прежнем месте. Остальные сооружения при аварии не пострадали.

В целях сокращения стоимости восстановления гидроузла целесообразно сохранить оставшиеся бетонные сооружения: судоходный шлюз и рыбоход. По сути, при выборе компоновки восстанавливаемого гидроузла необходимо выбрать расположение только новой водосбросной плотины, а также при необходимости – рыбоподъёмника.

Использование сохранившихся сооружений ограничивает возможности по выбору компоновки гидроузла, на его территории непросто найти площадку габаритов для такого протяжённого сооружения как водосбросная плотина.

На ранних этапах проектирования краевые проектные организации предлагали расположить бетонные сооружения на левом берегу, перекрыв современное русло земляной плотиной. Основным недостатком такого варианта является необходимость выделения новых территорий под размещение гидротехнических сооружений. Эти территории в настоящее время застроены, поэтому такое решение является неприемлемым.

Стеснённость условий отличает решение задачи о выборе компоновки восстанавливаемого гидроузла от задачи проектирования вновь строящего гидроузла. Вновь построенные гидроузлы не могут быть приняты в качестве объектов-аналогов для Фёдоровского гидроузла.

Выбор компоновки восстанавливаемого гидроузла также осложняется условиями пропуска расходов в период строительства. В настоящее время пропуск воды осуществляется по новому руслу, поверх разрушенных сооружений. Для их демонтажа потребуется отвести воду из русла.

Кроме того, выбор схемы пропуска строительных расходов ограничен необходимостью поддержания в вегетационный период в верхнем бьефе уровня, достаточного для работы водозаборов оросительных систем. В настоящее время подпор создаётся временной дамбой, отсыпанной с верховой стороны от разрушенных сооружений. Строительные работы не должны помешать работе водозаборов.

Перечисленные выше ограничения осложняют выбор компоновки гидроузла.

При выборе конструктивных решений восстанавливаемой водосливной плотины нами был выполнен анализ её конструкции и функционирования до аварии. Основной проблемой надёжности плотины является возможности размыва песчаного основания. Из результатов изысканий, выполненных при реконструкции гидроузла, известно, что в верхнем и нижнем бьефе от водосливной плотины происходили существенные деформации русла.

Результаты

Были предложены решения двух основных задач проектирования восстановления Фёдоровского гидроузла: выбор конструкций основных, временных сооружений и выбор компоновки этих сооружений в составе гидроузла. Ниже описаны принципиальные конструктивные решения только по двум основным сооружениям: бетонной водосбросной плотине и предлагаемому зданию гидроэлектростанции.

Конструкция бетонной водосбросной плотины

Конструкция бетонной водосбросной плотины была выбрана по аналогии с прежней, но с рядом корректировок, учитывающих уроки аварии 2022 года.

Так же, как и прежний, новый водосброс имеет 6 пролётов с низким водосливным порогом, которые перекрываются сегментными основными и плоскими аварийно-ремонтными затворами. Маневрирование затворами осуществляется с помощью лебёдок, установленных на специальной эстакаде.

Корректировки были внесены в конструкцию крепления русла в нижнем бьефе и в конструкцию подземного контура.

По сравнению с прежней конструкция новой бетонной водосбросной плотины имеет более протяжённое крепление русла. В прежней плотине крепление русла было выполнено в виде водобойной плиты длиной 16,5 м, плит горизонтальной рисбермы суммарной длиной 25 м, за которой располагался ковш. Поверхность водобоя и рисбермы была заглублены относительно водосливного порога на 2,1 м. В конце рисбермы были установлены зубчатые пороги. Верховой откос ковша был покрыт гибко связанными железобетонными плитами. Общая длина бетонного крепления составляла 62,5 м. Дно ковша было заглублено на 7 м относительно порога водослива. Ковш был частично заполнен камнем.

Во избежание подмыва основания плотины со стороны нижнего бьефа предложено увеличить длину крепления русла, сделать его более массивным, а ковш – углубить. Крепление состоит из водобойной плиты длиной 27 м с водобойным колодцем, плит горизонтального участка рисбермы общей длиной 46 м и плит наклонного участка рисбермы (рис.2).

Изменения в конструкции подземного контура направлены на обеспечение фильтрационной прочности песчаного основания, т.к. есть основания полагать, что именно размыв песчаного основания со стороны верхнего бьефа является одной из наиболее

вероятных причин аварии. В прежней плотине подземный контур включал глиняный понур длиной 21 м, шпунт глубиной 8 м и флютбет самой плотины. Дренирование основания осуществлялось отверстиями в креплении русла в нижнем бьефе. Понур был покрыт железобетонными плитами. Осложняющим обстоятельством для работы подземного контура являлось наличие под подошвой плотины слоя валунного грунта.

Для увеличения пути фильтрации предложено увеличить длину глиняного понура (до 25 м) и глубину шпунтовой завесы под бетонным порогом плотины. С верховой стороны понур должен быть защищён от подмыва ковшом (рис.2).

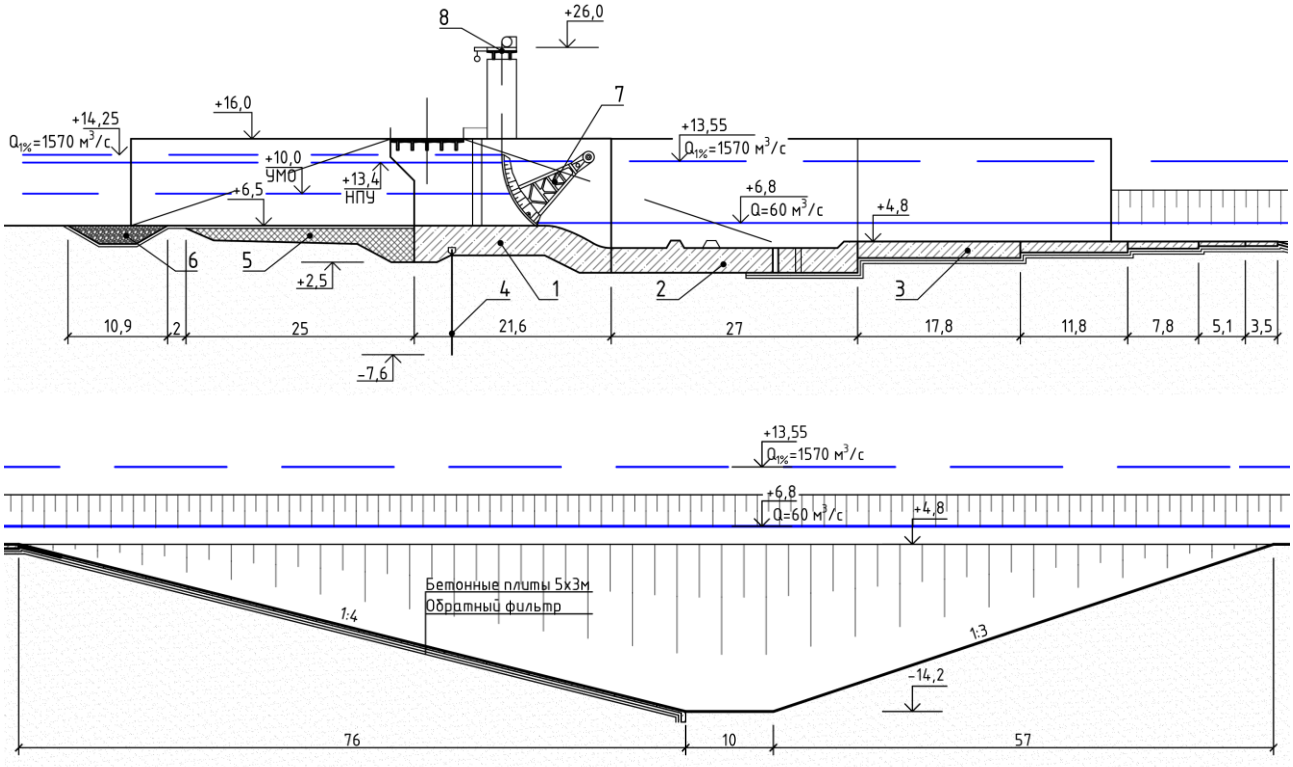


Рисунок 2 – Возможная конструкция бетонной водосливной плотины после реконструкции
1 – бетонная водосбросная плотина; 2 – водобойная плита; 3 – плиты рисбермы;
4 – шпунтовая завеса; 5 – глиняный понур; 6 – верховой ковш; 7 – сегментный основной затвор; 8 – лебёдка на эстакаде

Выбор компоновки гидроузла

Нами были рассмотрены две принципиальных схемы компоновки сооружений восстанавливаемого гидроузла.

Первый вариант компоновки состоит в расположении нового водосброса (и других необходимых бетонных сооружений) со стороны правого берега от прежних. При этом современное русло будет перекрыто земляной плотиной.

Преимуществом этого варианта компоновки является то, строительство водосброса может быть осуществлено без отвода реки из современного русла. Перекрытие русла, удаление из него разрушенных конструкций может быть осуществлено уже после запуска бетонной водосбросной плотины.

Нами был предложено разместить водосбросную плотину в старом русле реки Кубань, ниже по течению от сохранившейся земляной плотины (рис.3). У такого расположения два преимущества: первое – уменьшение объёма выемки под котлован бетонных сооружений, второе – земляная плотина в период строительства будет играть роль перемычки, ограждающей котлован. В последующем земляная плотина должна быть разобрана, к плотине должен быть устроен глубокий подводящий канал.

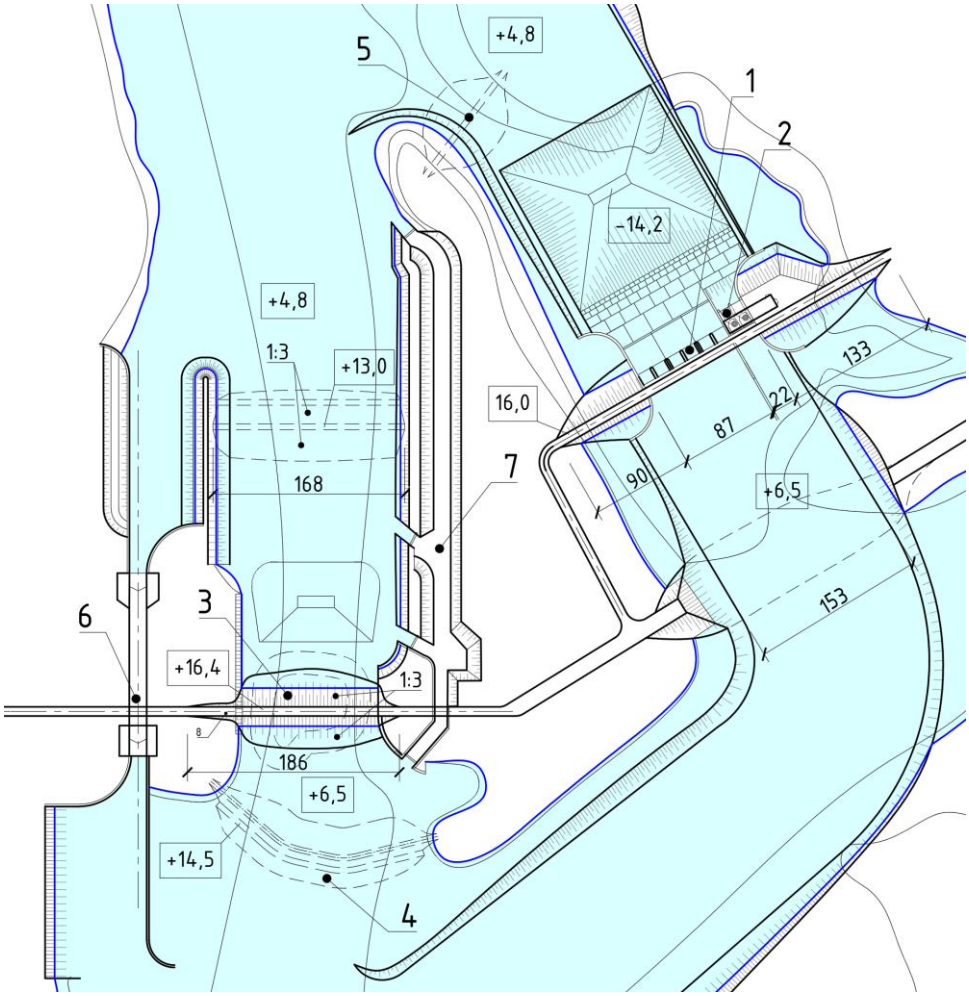


Рисунок 3 – Схема варианта компоновки сооружений гидроузла после реконструкции с переносом водопропускных сооружений из современного русла
1 – бетонная водосбросная плотина; 2 – здание ГЭС; 3 – глухая земляная плотина; 4 – верховая временная грунтовая дамба; 5 – низовая перемычка; 6 – судоходный шлюз; 7 – рыбоход Солдатова

Основным недостатком такой компоновки является необходимость создания нового подводящего канала. Во-первых, оно потребует большого объёма работ по выемки грунта. Во-вторых, создание подводящего канала изменит гидравлический режим подвода воды к правобережному водозабору оросительной системы.

Кроме того, потребуется создание плотины, перекрывающей современное русло.

Второй вариант предусматривает русловую компоновку восстанавливаемых сооружений. Он состоит в расположении сооружений гидроузла в современном русле реки, ниже по течению от разрушенных сооружений (рис.4).

У этого варианта несколько недостатков. Одним из них является сложность сопряжения новой бетонной водосливной плотины с другими сооружениями гидроузла – с судоходным шлюзом и рыбоходом.

Другим недостатком является сложность пропуска строительных расходов. Котлован строительства бетонных сооружений должен быть ограждён перемычками. При имеющейся ширине русла его сужение невозможно, необходимо отвести реку из современного русла.

Нами рассмотрен вариант, предусматривающий временный отвод реки Кубань в старое русло, расположенное со стороны правого берега. Этого можно достичь путём частичной разборки земляной плотины и пропуском воды переливом по её поверхности.

Перелив должен быть рассчитан таким образом, чтобы при любом расходе в вегетационный период в водохранилище обеспечивался минимальный уровень, необходимый для работы водозаборов оросительных систем.

Организация перелива воды поверх земляной плотины потребует устройства не только крепления его поверхности, но и устройств, обеспечивающих благоприятный гидравлический режим сопряжения бьефов. Сопряжение бьефов целесообразно осуществлять в поверхностном режиме.

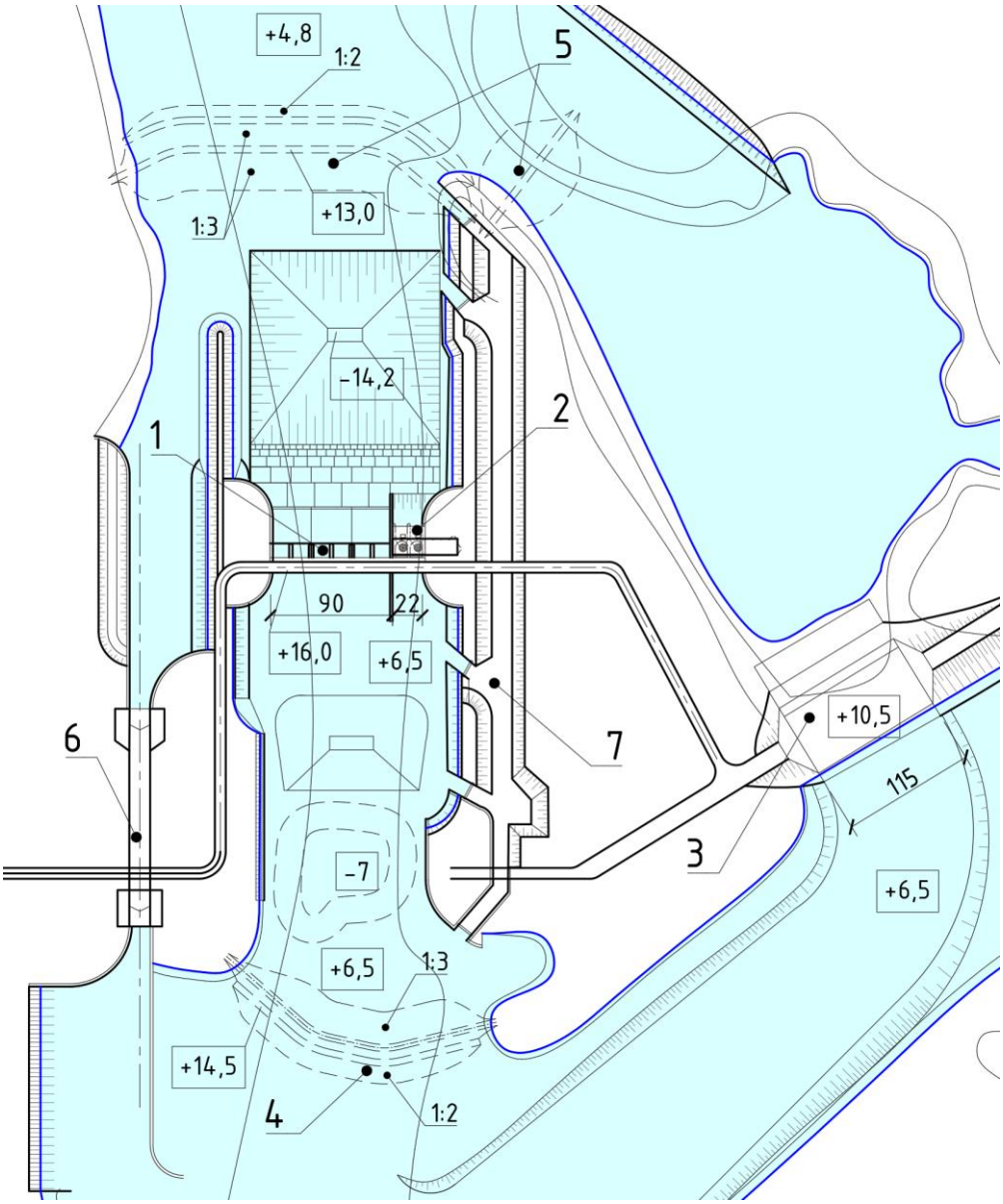


Рисунок 4 – Схема варианта компоновки сооружений гидроузла после реконструкции без переноса водопропускных сооружений из современного русла
1 – бетонная водосбросная плотина; 2 – здание ГЭС; 3 – грунтовая переливная плотина строительного периода; 4 – верховая временная грунтовая дамба; 5 – низовая перемычка; 6 – судоходный шлюз; 7 – рыбоход Солдатова

Как видим, применение второго варианта компоновки сопряжено с разными техническими проблемами, этот вариант сложнее в реализации. Тем не менее, сравнение объёмов работ показывает, что в первом варианте существенно больше объём работ по выемке и насыпи грунта (таблица 1).

Таблица 1. Объёмы строительных работ по вариантам компоновки сооружений

Вид работ	Единица измерения	Вариант 1	Вариант 2
Выемка грунта	тыс. м^3	905	635
Насыпка грунта	тыс. м^3	277	168
Бетонирование	тыс. м^3	38	50
Погружение шпунта	тыс. т	0,71	0,41

Тем не менее, сравнение по стоимости показало, что второй вариант на 4% дороже, что связано с меньшим объёмом бетонных работ. Таким образом, первый вариант является более предпочтительным. Стоимость строительства составляет более 2,5 млрд. руб.

Стало известно, что АО «Институт Гидропроект» принял в проекте реконструкции Фёдоровского гидроузла компоновку, похожую на рассмотренную в первом варианте. По проекту бетонная водосбросная плотина и рыбоподъёмник расположены на «острове» между современным и старым руслом реки. Преимуществом такого варианта компоновки по сравнению с предложенным нами является возведение сооружений в сохранных грунтах и более благоприятные условия подхода воды к водопропускным сооружениям. Однако у него есть и недостаток – необходимость выемки бóльшего объёма. Из-за выемки в этом варианте новая земляная плотина, перекрывающая современное русло, получает массивный профиль, т.к. в неё укладывается весь вынутый грунт.

Включение в состав гидроузла гидроэлектростанции

В прежнем гидроузле не использовался энергетический потенциал реки для выработки электроэнергии. Мы предлагаем в ходе восстановления гидроузла включить в его состав здание ГЭС.

С момента пуска гидроузла в эксплуатацию расходы реки Кубань пропускались вхолостую. Между тем, что это довольно большие расходы даже в межень. Среднемесячный расход через гидроузел составляет не менее 60 м^3/с (рис.5). Среднегодовой расход за 2011-2021 гг. составил 138 м^3/с.

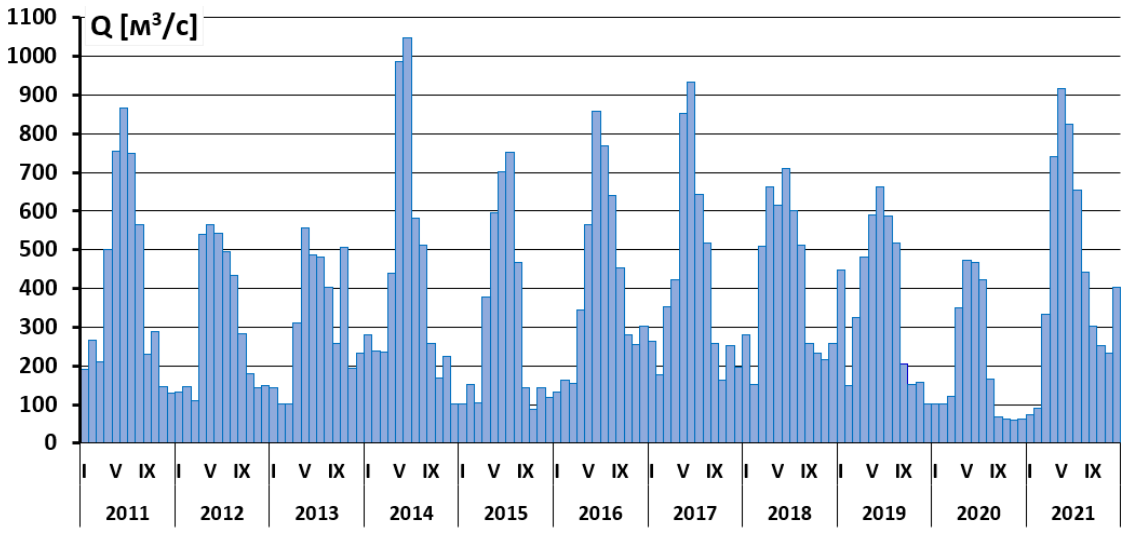


Рисунок 5 – Гидрограф среднемесячных расходов реки Кубань в створе Фёдоровского гидроузла

Водохранилище Фёдоровского гидроузла не может осуществлять регулирование стока, поэтому ГЭС будет работать только на расходах водотока. При выборе установленной мощности ГЭС нам было принято, что максимальная пропускная способность ГЭС

составляет 100 м^3/с. Максимальный напор составит около 6,6 м, поэтому установленная мощность ГЭС была назначена 5,8 МВт.

Основной проблемой энергетического использования реки Кубань в рассматриваемом створе является то, что при пропуске больших расходов половодья разница уровней верхнего и нижнего бьефов будет очень мала (менее 1 м). При малых напорах работа гидросилового оборудования будет невозможна или малоэффективна, ГЭС не сможет работать круглогодично.

В качестве гидротурбины была выбрана вертикальная турбина ПЛ 15, предназначенная для работы в диапазоне напоров от 5 до 15 м. Минимальный напор, при котором возможна работа турбины, был принят равным 3,2 м. Этот напор определил уровень верхнего бьефа, минимально допустимый для работы ГЭС (10,0 м).

Использование горизонтальных турбин в данных условиях мы посчитали нецелесообразным, что связано большой величиной пропускаемых расходов. Самая крупная из прямоточных горизонтальных турбин в Советском Союзе (1953 г.) имела мощность 6,3 МВт, диаметр рабочего колеса 3,3 м и была рассчитана на напор от 7 до 11,25 м [11]. Капсульные горизонтальные гидроагрегаты могут иметь бóльшие размеры, но они имеют сложную конструкцию и сложнее для монтажа и эксплуатации.

Количество агрегатов было принято минимальным – 2. Диаметр рабочего колеса турбины составил 3,5 м.

Учитывая большие габариты проточной части турбины, здание ГЭС было принято руслового типа. Общие габариты здания ГЭС в плане составляют 48×33,25 м. Здание значительно заглублено в основание – его подошва располагается на 11,3 м ниже дна реки (рис.6). Это связано с необходимостью заглубить вход в спиральную камеру под минимальный уровень верхнего бьефа во избежание попадания воздуха и подныривания льда. Сама железобетонная камера полигонального поперечного сечения была принята развитой вниз.

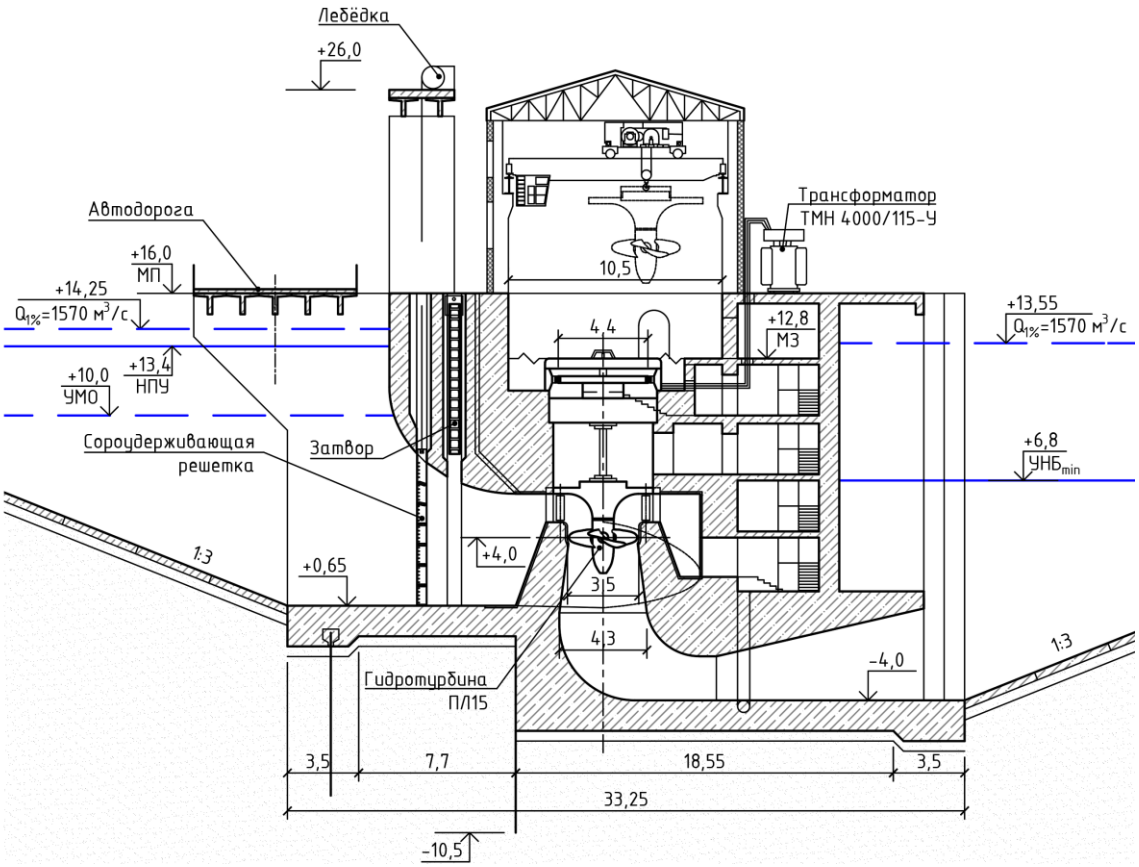


Рисунок 6 – Схема конструкция здания ГЭС

Из-за высоких уровней нижнего бьефа монтажная площадка и пол машинного зала здания ГЭС были расположены на разных отметках (превышение в 3,2 м). Монтажная площадка расположена на отметке автомобильной дороги через гребень плотины.

Приближённая оценка экономической эффективности включения в состав низконапорного гидроузла нового руслового здания ГЭС показала, что рентабельность ГЭС составит примерно 9%.

Выводы

1. При восстановлении бетонной водосливной плотины Фёдоровского гидроузла во избежание повторения аварии необходимо предусмотреть меры по защите её песчаного основания от размыва. Крепление русла и подземный контур должны быть выполнены более протяжёнными и заглубленными.

2. В отличие от вновь строящих гидроузлов для восстанавливаемого гидроузла выбор компоновки имеет целый ряд ограничений. При выборе компоновки целесообразно сохранить те бетонные сооружения гидроузла, которые уцелели при аварии (рыбоход, судоходный шлюз). Выбор компоновки определяется условиями пропуска воды в период строительства. Он осложняется необходимостью поддерживать в период строительства уровень верхнего бьефа, достаточный для работы оросительных систем в вегетационный период, а также необходимостью демонтажа разрушенных сооружений.

3. Нами было рассмотрены две принципиально разные схемы компоновки гидроузла при восстановлении. Путём технико-экономического сравнения вариантов нами было показано, что более эффективным является вариант компоновки, предусматривающий восстановление разрушенных сооружений вне современного русла. Независимо от нас к такому же выводу пришла проектная организация.

4. При восстановлении гидроузла предложено включить в его состав ГЭС. Это позволит использовать энергетический потенциал относительно стабильных расходов реки Кубань, мощность ГЭС может составить около 5 МВт.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Соболева С.В. Красногорский гидроузел. Как оживает омский региональный проект // Гидротехника. 2023. № 2 (71). С. 50-52.

2. Тестов С.П. К проблеме возведения объектов долгостроя в омском регионе // Вестник Сибирского института бизнеса и информационных технологий. 2019. № 2 (30). С.61-65.

3. Колосов М.А., Чинаков П.П., Заворовский М.И., Симкин А.Ю., Поздеев А.С. О причинах прорывов напорного фронта в плотине Белопорожского гидроузла // Гидротехника. 2022. № 2 (67). С. 42-46.

4. Соболь С.В., Февралев А.В. Взгляд в завтра: транспортный гидроузел на р. Волге // Приволжский научный журнал. 2020. № 4. С. 174–180.

5. Глотко А.В., Беликов В.В., Борисова Н.М., Васильева Е.С., Румянцев А.Б. Численные гидродинамические исследования для обоснования компоновки Нижегородского низконапорного гидроузла // Строительство: наука и образование. 2019. Т. 9. № 2 (32). С. 3.

6. Оптимальный вариант компоновки Нижегородского низконапорного гидроузла // Речной транспорт (XXI век). 2015. № 5 (76). С. 16-19.

7. Левачев С.Н., Шурухин Л.А., Андреев Е.В., Галимов И.М. Строительство низконапорного гидроузла "Кузьминск" на реке Оке // Гидротехническое строительство. 2015. № 4. С. 49-55.

8. Реконструкция Федоровского подпорного гидроузла на р. Кубани // Гидротехника. 2021. №4(65). С. 22–25.

9. Саинов М.П., Зузов А.А. Временная плотина Фёдоровского гидроузла // Современные проблемы гидравлики и гидротехнического строительства. Сборник тезисов докладов VI Всероссийского научно-практического семинара. Москва, 2023. С. 77–78.

10. Кореновский А.М., Вайнберг М.В. Оценка риска аварии гидротехнических сооружений Федоровского подпорного гидроузла в Краснодарском крае // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2019. № 1 (73). С. 34–42.

11. Стеклов М.Л. Горизонтальные гидравлические турбины. Конструкции и расчёт. Ленинград: Машиностроение. 1974. 216 с.

REFERENCES

1. Soboleva S.V. *Krasnogorskij gidrouzel. Kak ozhivaet omskij regional'nyj proekt* [Krasnogorsk hydro project. How the Omsk regional project comes to life]. *Gidrotekhnika*. 2023. No.2 (71), pp.50-52.

2. Testov S.P. *K probleme vozvedeniya ob'ektov dolgostroya v omskom regione* [On the problem of construction of long-term construction projects in the Omsk region]. *Vestnik Sibirskogo instituta biznesa i informacionnyh tekhnologij*. 2019. No.2 (30), pp.61-65.

3. Kolosov M.A., Chinakov P.P., Zavorovskij M.I., Simkin A.Yu., Pozdeev A.S. *O prichinah proryvov napornogo fronta v plotine Beloporozhskogo gidrouzla* [On the reasons for pressure front breakthroughs in the dam of the Beloporozhsky hydroelectric complex]. *Gidrotekhnika*. 2022. No.2 (67), pp. 42-46.

4. Sobol' S.V., Fevralev A.V. *Vzglyad v zavtra: transportnyj gidrouzel na r. Volge* [A look into tomorrow: a transport hydroelectric complex on the Volga River]. *Privolzhskij nauchnyj zhurnal*. 2020. No.4, pp.174–180.

5. Glotko A.V., Belikov V.V., Borisova N.M., Vasil'eva E.S., Rumyancev A.B. *Chislennye gidrodinamicheskie issledovaniya dlya obosnovaniya komponovki Nizhegorodskogo nizkonapornogo gidrouzla* [Numerical hydrodynamic studies to justify the layout of the Nizhny Novgorod low-pressure hydro complex]. *Stroitel'stvo: nauka i obrazovanie*. 2019. V. 9. No.2 (32), p.3.

6. Optimal'nyj variant komponovki Nizhegorodskogo nizkonapornogo gidrouzla [Optimal layout option for the Nizhny Novgorod low-pressure hydro complex] // Rechnoj transport (XXI vek). 2015. No.5 (76). Pp.16-19.

7. Levachev S.N., Shuruhin L.A., Andreev E.V., Galimov I.M. Ctroitel'stvo nizkonapornogo gidrouzla "Kuzminsk" na reke Oke [Construction of the Kuzminsk low-pressure hydroelectric complex on the Oka River] // Gidrotekhnicheskoe stroitel'stvo [Hydraulic engineering]. 2015. № 4. Pp. 49-55.

8. *Rekonstrukciya Fedorovskogo podpornogo gidrouzla na r. Kubani* [Reconstruction of the Fedorovsky retaining waterworks on the Kuban River]. *Gidrotekhnika*. 2021. No.4(65), pp. 22–25.

9. Sainov M.P., Zuzov A.A. *Vremennaya plotina Fyodorovskogo gidrouzla*. *Sovremennye problemy gidravliki i gidrotekhnicheskogo stroitel'stva* [Temporary dam of the Fedorovsky hydroelectric complex. Modern problems of hydraulics and hydraulic engineering]. Sbornik tezisov dokladov VI Vserossijskogo nauchno-prakticheskogo seminara. Moskva, 2023, pp. 77–78.

10. Korenovskij A.M., Vajnberg M.V. *Ocenka riska avarii gidrotekhnicheskih sooruzhenij Fedorovskogo podpornogo gidrouzla v Krasnodarskom krae* [Assessment of the risk of accident of hydraulic structures of the Fedorovsky retaining waterworks in the Krasnodar Territory]. *Puti povysheniya effektivnosti oroshaemogo zemledeliya*. 2019. No.1(73), pp. 34–42.

11. Steklov M.L. *Gorizontal'nye gidravlicheskie turbiny. Konstrukcii i raschyot* [Horizontal hydraulic turbines. Structures and calculations]. Leningrad: Mashinostroenie. 1974. 216 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Саинов Михаил Петрович – доктор технических наук, доцент, Московский государственный строительный университет (Национальный исследовательский университет) (129337, Россия, г. Москва, Ярославское шоссе, д.26, e-mail: SainovMP@mgsu.ru)

Зузов Алексей Анатольевич – ассистент, Национальный исследовательский университет «МЭИ» (111250, Россия, г. Москва, ул. Красноказарменная, д.14, стр.1, e-mail: ZuzovAA@mpei.ru).

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Sainov Mikhail Petrovich – Dr. Sci. (Eng.), Assoc. Prof., Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (129337, Russia, Moscow, 26, Yaroslavskoe shosse, e-mail: SainovMP@mgsu.ru)

Zuzov Aleksei Anatolevich – assistant, National Research University «Moscow Power Engineering Institute» (111250, Russia, Moscow, 14-1, Krasnokazarmennaya street, e-mail: ZuzovAA@mpei.ru)

Статья поступила в редакцию 07.05.2024; одобрена после рецензирования 25.05.2024, принята к публикации 09.06.2024.
The article was submitted 07.05.2024; approved after reviewing 25.05.2024; accepted for publication 09.06.2024.