



С. В. ЕВДОКИМОВ
А. А. ОРЛОВА

АНАЛИЗ РАБОТЫ МЕХАНИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ В ПЕРИОД ЭКСПЛУАТАЦИИ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ ГЭС

**ANALYSIS OF THE OPERATION OF MECHANICAL EQUIPMENT DURING
THE OPERATION OF HYDRO ENGINEERING FACILITIES OF HPP**

По своему технологическому назначению и расположению механическое оборудование гидротехнических сооружений ГЭС делится на три группы: оборудование щитового отделения верхнего бьефа, машинного зала и щитового отделения нижнего бьефа. В статье подробно рассмотрены основные особенности и проблемы, возникающие в период эксплуатации механического оборудования щитового отделения верхнего бьефа. Данное механическое оборудование служит для защиты агрегатов от разгона; перекрытия входных отверстий водосбросов при авариях с основными затворами; для ограждения со стороны верхнего бьефа при необходимости доступа к подводным частям сооружения и оборудованию. Отмечено, что особенностью эксплуатации механического оборудования является большое количество металлоконструкций, которые находятся под водой или смачиваются водой и тем самым подвергаются биохимической коррозии, вызывающей интенсивное разрушение металла. Показаны пути предотвращения развития коррозии и методы, обеспечивающие долговечность и эффективность защиты от биологического обрастания металлических конструкций на ГЭС.

Ключевые слова: механическое оборудование, гидротехнические сооружения, металлические конструкции, биохимическая коррозия, затвор, турбина, период эксплуатации

Как известно, к механическому оборудованию гидротехнических сооружений Жигулевской ГЭС относятся: основные, аварийные и ремонтные затворы и заграждения; сороудерживающие решетки; подъемные устройства для

According to its technological purpose and location, the mechanical equipment of the hydrotechnical structures of the hydroelectric power station is divided into three groups: the equipment of the upstream shield room, the turbine room and the downstream shield room. The article discusses in detail the main features and problems that arise during the operation of the mechanical equipment of the upstream shield compartment. This mechanical equipment serves to protect the units from overlocking; overlapping of inlet openings of spillways in case of accidents with main gates; for fencing from the headwater side when access to the underwater parts of the structure and equipment is required. It is noted that a feature of the operation of mechanical equipment is a large number of metal structures that are under water or are wetted with water and thereby undergo biochemical corrosion, which causes intensive destruction of the metal. The ways of preventing the development of corrosion and methods that ensure the durability and effectiveness of protection against biological fouling, metal structures at hydroelectric power plants are presented.

Keywords: mechanical equipment, hydraulic structures, metal structures, biochemical corrosion, valve, turbine, period of operation

маневрирования затворами, решетками и для ремонта оборудования. Отличительной особенностью механического оборудования, установленного на гидроэлектростанции и водосливной плотине, являются большие размеры

перекрываемых отверстий и воспринимаемые этим оборудованием нагрузки, обусловленные большими расходами воды и значительными напорами, достигающими на некоторых затворах 30 м [1].

Общий вес механического оборудования гидроузла вместе с механизмами судоходных шлюзов составляет около 80 тыс. т. При проектировании механического оборудования гидроузла были приняты прогрессивные решения, обеспечивающие значительное снижение веса оборудования. К числу этих мероприятий относят: применение методов расчета пролетных строений затворов как пространственных систем на этапе проектирования механического оборудования; широкое применение низколегированной стали, позволившее снизить вес металлоконструкций примерно на 10 %; отказ от индивидуальных подъемных механизмов на основных затворах донных водосбросов; замена весьма сложных и дорогих лебедочных подъемных механизмов на быстропадающих затворах спиральных камер турбин – гидроподъемниками, снизившими вес оборудования на 1000 т.

Это последнее мероприятие явилось весьма эффективным, позволившим наряду со снижением веса оборудования решить основную проблему передачи бетона больших нагрузок (более 200 т на 1 п. м паза затвора), воспринимаемых затворами, и значительно снизить объем бетона.

На этапе проектирования, при выборе типов затворов, был учтен опыт эксплуатации ранее построенных сооружений. Однако ввиду уникальности Жигулевской ГЭС для решения многих, возникших впервые вопросов, связанных с эксплуатацией механического оборудования, имеющихся практических данных оказалось недостаточно. Разнообразие и весьма значительные размеры перекрываемых отверстий, большая глубина на порогах усложнили задачу выбора типов и конструкций затворов [2].

В основу выбора затворов были положены следующие требования: надежность работы и удобство эксплуатации; экономичность оборудования; компоновка оборудования, обеспечивающая предельное снижение размеров гидроэлектростанции и объемов бетонных работ. Этим условиям в наилучшей степени удовлетворяли плоские скользящие затворы, чем и объясняется их широкое применение на ГЭС. Успешному внедрению таких затворов способствовало отмеченное выше положительное разрешение вопроса об опорах скользящих.

Вследствие больших высот перекрываемых отверстий все затворы, кроме основных затворов водосбросов, были многосекционными. Размеры секций приняты в пределах нормаль-

ных железнодорожных габаритов. Этим было обеспечено изготовление затворов полностью в заводских условиях. Маневрирование затворами в щитовых отделениях производилось мостовым и козловыми кранами с системой подхватов и штанг, а в машинном зале – мостовыми кранами, работающими спаренно с помощью специальной траверсы. Исключением явились аварийно-ремонтные затворы спиральных камер, где для осуществления автоматического управления были введены индивидуальные гидроподъемники.

Для маневрирования основными затворами водосбросов использовались дожимные траверсы по одной на каждом кране. Равномерность подъема и опускания затворов по фронту гидроэлектростанции, диктуемая гидравлическим режимом в нижнем бьефе, обеспечивалась специальными штангами и подхватами.

Изготовление основных затворов водосбросов из стального литья вызвано стремлением к снижению рабочего сечения затворов в целях сокращения обтекаемого контура и устранения, таким образом, причин, вызывающих вибрацию.

По своему технологическому назначению и расположению механическое оборудование ГЭС разбивается на три группы: оборудование щитового отделения верхнего бьефа, машинного зала и щитового отделения нижнего бьефа [3].

Более подробно рассмотрим механическое оборудование щитового отделения верхнего бьефа, которое служит для защиты агрегатов от разгона, перекрытия входных отверстий водосбросов при авариях с основными затворами, а также для ограждения со стороны верхнего бьефа при необходимости доступа к подводным частям сооружения и оборудованию.

Первая из этих задач решалась установкой на входных отверстиях спиральных камер аварийно-ремонтных затворов с индивидуальными механизмами. Для перекрытия в потоке входных отверстий донных водосбросов одного или последовательно двух агрегатов служат переносные комплекты аварийно-ремонтных затворов. Доступ к подводным элементам сооружения обеспечивался установкой ремонтных ограждений. Маневрирование аварийно-ремонтными затворами водосбросов и ремонтными заграждениями производилось кранами.

Для установки затворов в щитовом отделении было предусмотрено три ряда пазов. В первом ряду, ближайшем к агрегату, расположены аварийно-ремонтные затворы спиральных камер; второй ряд пазов служит для установки аварийно-ремонтных затворов водосбросов и ремонтных заграждений; третий ряд, обращенный в сторону верхнего бьефа, являлся резервным, в котором, при надобно-

сти, могут устанавливаться ремонтные заграждения [4].

В состав вспомогательного оборудования щитового отделения верхнего бьефа входят затворы байпасов с механизмами, подъемные штанги основных затворов и решеток, а также опорные балки, подхваты и другое оборудование [5].

Особенностью эксплуатации механического оборудования гидротехнических сооружений является то, что большое количество металлоконструкций – затворы и сороудерживающие решетки, их закладные части – пазы и пороги, металлические облицовки бетона в проточной части турбин и водосбросов и т. п., находящиеся под водой или смачиваемые водой, подвергаются биохимической коррозии, вызывающей интенсивное разрушение металла.

В отдельных случаях, несмотря на относительно небольшой срок пребывания металлоконструкций в воде, коррозия приняла размеры, влияющие на прочность напряженных элементов конструкций [6, 7]. Особенно значительной коррозии подвергались аварийно-ремонтные затворы донных водосбросов и быстропадающие затворы перед спиральными камерами турбин. Так, например, при осмотре аварийно-ремонтных затворов донных водосбросов, поднятых из водоводов турбины, где они находились в течение двух лет, было установлено, что обшивка затворов, выполненная из низколегированной стали, подверглась сильной биохимической коррозии. На напорной стороне обшивка была покрыта большим количеством наростов колоний железобактерий, размеры которых в отдельных случаях достигали 85×75×25 мм. При удалении наростов под ними в металле обшивки были обнаружены язвы глубиной до 7 мм и диаметром 15 мм. Металл обшивки с безнапорной стороны, а также узлы затвора, выполненные из углеродистой стали, и створные швы подверглись коррозии в меньшей степени. Одновременно были освидетельствованы быстропадающие затворы турбины, находившиеся в воде, и секции ремонтных заграждений щитового отделения верхнего бьефа, на которых также была выявлена биохимическая коррозия. Глубина язв в металле обшивки под наростами колоний железобактерий на быстропадающих затворах составляет около 1 мм, а на секциях ремонтных заграждений – около 2 мм.

Учитывая, что аварийно-ремонтные затворы донных водосбросов, как и ремонтное заграждение щитового отделения верхнего бьефа, имеют весьма ответственное назначение [8] и работают под большой нагрузкой при напоре 45 м, степень их коррозии с язвами глубиной до 7 мм следует считать по условиям прочности недопустимой.

Необходимо отметить, что часть подводных металлоконструкций при монтаже не была окрашена либо была покрыта лаками на основе нефтебитумов или каменноугольных смол, оказавшимися в условиях волжской воды неустойчивыми [9].

В целях предотвращения дальнейшего развития коррозии ответственных подводных металлоконструкций ГЭС была произведена окраска металлоконструкций по специальной технологии с применением синтетических красок и лаков, отличающихся большой устойчивостью. При выполнении этих работ при покраске подводных металлоконструкций применялись лакокрасочные материалы по типу и рецептуре как для окраски подводной части судов морского флота. В дальнейшем также выполнялись опытные работы по защите металлоконструкций от коррозии с помощью металлизации (использование цинкового и алюминиевого покрытий).

Металлизация способна обеспечить более долговременную (более 20 лет) [10] защиту и может оказаться более экономичной, чем покрытия лакокрасками. Эти преимущества использования металлизации особенно важны в тех случаях, когда выполнение защитных покрытий связано с трудоемкими работами по демонтажу металлоконструкций и длительным простоем агрегатов, как, например, в случае быстропадающих затворов турбин и т. п. К сожалению, такой метод не нашел широкого применения из-за экологических проблем.

Необходимо также иметь в виду, что в отношении долговечности и эффективности защиты от коррозии и биологического обрастания – перспективным является метод нанесения на поверхность металлоконструкций тонкой пленки пластмасс [11].

Впервые, в марте 1958 г. на Жигулевской ГЭС была обнаружена в системе технологического водоснабжения турбины в массовом количестве ракушка моллюска дрейссены (*Dreissena Polymorpha*), закупорившая смазочные канавки резиновых вкладышей подшипника турбины и вызвавшая тогда повреждение подшипника вследствие прекращения смазки. В дальнейшем в массовом количестве ракушка дрейссены была обнаружена во всей системе технического водоснабжения ГЭС (охлаждение генераторов, трансформаторов, ртутных выпрямителей и т. д.), а также на подводных металлических конструкциях – затворах, сороудерживающих решетках и т. п.

Как известно, интенсивное обрастание ракушкой стержней и ригелей сороудерживающих решеток уменьшает живое сечение, увеличивает шероховатость их поверхностей и увеличивает потери напора на них.

Весьма серьезны затруднения, связанные с проникновением дрейссены в систему технического водоснабжения основного оборудования станции. Согласно представленным данным биологических и эксплуатационных наблюдений, личинки моллюсков дрейссены, проникая вместе с водой в систему технического водоснабжения, прикрепляются в зонах малых скоростей (до 1,5 м/с) к стенкам трубопроводов, к сетке фильтров, к корпусам подшипников турбин и т. п., где быстро разрастаются до размеров 2–3 см, образуя целые колонии. При ремонтах агрегатов, когда система технического водоснабжения опорожняется от воды, моллюски, не имея питания, погибают. По окончании ремонтных работ, когда система технического водоснабжения вновь заполняется водой и включается в работу, погибшие моллюски отрываются потоком воды от стенок, забивают систему, тем самым нарушая смазку и охлаждение оборудования.

По данным эксплуатационных наблюдений массовое размножение дрейссены имеет место в весенне-летний период, с мая по сентябрь, когда температура воды в водохранилище не превышает 15–16 °С.

Принимаемые до настоящего времени меры предотвращения вредного действия дрейссены в системе технического водоснабжения сводятся к разработке и промывке оборудования в местах возможного скопления отмершей дрейссены (корпуса турбинных подшипников, фильтры и трубопроводы системы и др.) непосредственно перед включением оборудования в работу после ремонта.

В настоящее время одновременно с этими мероприятиями ведутся изыскания по окраске оборудования антидрейссенными, не обрабатываемыми красками. Принимаются меры предотвращения проникновения живых моллюсков в систему технического водоснабжения с помощью электрических фильтров.

В заключение следует отметить, что механическое оборудование гидротехнических сооружений ГЭС, в частности установленное на сороудерживающем сооружении, в целом соответствует своему назначению, кроме этого оно оказалось удобным в эксплуатации и количественно обеспечивает нормальную эксплуатацию всего комплекса сооружений Жигулевской ГЭС. Примененная новая конструкция токоъемника козловых кранов в виде «лыж», подвешенных на портале крана, также полностью себя оправдала. Незначительные неполадки в работе этой конструкции отмечались только во время сильного гололеда. За все годы эксплуатации Жигулевской ГЭС один раз произошло образование шуги на решетках, когда величины

перепада на решетках оказались равными 20–25 см, пропуск шуги, в том случае, был произведен путем подъема сороудерживающих решеток.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Романов А.А. Жигулевская ГЭС. Эксплуатация гидротехнических сооружений. Самара: Издательский дом «Агни», 2010. 360 с. Кн. I.
2. Романов А.А. Куйбышевский гидроузел. История и жизнь. Самара: Арт-Лайт, 2018. 272 с.
3. Технический отчет о проектировании и строительстве Волжской ГЭС имени В.И. Ленина: в 2 т. 1950–1958 гг.
4. Савин Д.М. Компоновка механического оборудования гидроэлектростанций. М.: Энергия, 1981. 74 с.
5. Типовая инструкция по эксплуатации механического оборудования гидротехнических сооружений (затворы водопропускных отверстий). М.: Госэнергоиздат, 1989. 19 с.
6. Использование водной энергии / под ред. Ю.С. Васильева. М.: Энергоатомиздат, 1995. 74 с.
7. Михайлов Л.П., Золотов Л.А. Современные проблемы технологии проектирования гидроэлектростанций. М.: МЭИ, 1991. 80 с.
8. Бальзанников М.И., Зубков В.А., Кондратьева Н.В., Хуртин В.А. Комплексное обследование технического состояния строительных конструкций сооружений Жигулевской ГЭС // Гидротехническое строительство. 2013. № 6. С. 21–27.
9. Евдокимов С.В., Дормидонтова Т.В. Оценка надежности гидротехнических сооружений // Градостроительство и архитектура. 2012. № 1. С. 64–68. DOI: 10.17673/Vestnik.2012.01.12.
10. Евдокимов С.В., Дормидонтова Т.В. Критерии оценки надежности и технического состояния гидротехнических сооружений // Градостроительство и архитектура. 2011. № 2. С. 105–108. DOI: 10.17673/Vestnik.2011.02.23.
11. Bal'zannikov M.I., Zubkov V.A., Kondrat'eva N.V., Khurtin V.A. Complex Inspection of the Technical Condition of Components of Structures at the Zhigulevsk HPP // Power Technology and Engineering (Springer New York Consultants Bureau). 2013. Т. 47. № 4. Pp. 267–272.

REFERENCES

1. Romanov A.A. Zhigulevskaya GES. Eksploatatsiya gidrotekhnicheskikh sooruzheniy [Zhigulevskaya hydroelectric station. Operation of hydraulic structures]. Samara, Publishing House "Agni", 2010. 360 p. book 1.
2. Romanov A.A. Kuybyshevskiy gidrouzel. Istoriya i zhizn' [Kuibyshevsky hydroelectric complex. History and life]. Samara, Art-Layt, 2018. 272 p.
3. Tekhnicheskii otchet o proektirovanii i stroitel'stve Volzhskoy GES imeni V.I. Lenina [Technical Report on Design and Construction of Volzhskaya HPP named after V.I. Lenin], T.2. 1950–1958.

4. Savin D.M. *Komponovka mekhanicheskogo oborudovaniya gidroelektrostantsiy* [Layout of mechanical equipment of hydroelectric power plants]. Moscow, Energy, 1981. 74 p.
5. *Tipovaya instruktsiya po ekspluatatsii mekhanicheskogo oborudovaniya gidrotekhnicheskikh sooruzheniy (zatvory vodopropusknykh otverstiy)* [Typical Manual for Operation of Mechanical Equipment of Hydraulic Structures (Culverts Gates)]. Moscow, Gosenergoizdat, 1989. 19 p.
6. Vasil'ev Yu.S. *Ispol'zovanie vodnoy energii* [Use of water energy]. Moscow, Energoatomizdat, 1995. 74 p.
7. Mikhaylov L.P., Zolotov L.A. *Sovremennye problemy tekhnologii proektirovaniya gidroelektrostantsiy* [Modern problems of hydroelectric power plant design technology]. Moscow, MEI, 1991. 80 p.
8. Balzannikov M.I., Zubkov V.A., Kondratyeva N.V., Khurtin V.A. Comprehensive examination of the technical condition of building structures of the Zhigulevskaya hydroelectric power station. *Gidrotekhnicheskoe stroitel'stvo* [Hydrotechnical construction], 2013, no. 6, pp. 21–27. (in Russian)
9. Evdokimov S.V., Dormidontova T.V. Assessment of reliability of hydraulic structures. *Gradostroitel'stvo i arkhitektura* [Urban Planning and Architecture], 2012, no. 1, pp. 64–68. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2012.01.12.
10. Evdokimov S.V., Dormidontova T.V. Criteria for assessing the reliability and technical condition of hydraulic structures. *Gradostroitel'stvo i arkhitektura* [Urban Planning and Architecture], 2011, no. 2, pp. 105–108. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2011.02.23.
11. Bal'zannikov M.I., Zubkov V.A., Kondrat'eva N.V., Khurtin V.A. Complex Inspection of the Technical Condition of Components of Structures at the Zhigulevsk HPP. *Power Technology and Engineering* (Springer New York Consultants Bureau), 2013, V. 47, no. 4, pp. 267–272. (in Russian)

Об авторах:

ЕВДОКИМОВ Сергей Владимирович

кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой природоохранного и гидротехнического строительства Самарский государственный технический университет Академия строительства и архитектуры 443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244 E-mail: sali5@mail.ru

EVDOKIMOV Sergey V.

PhD in Engineering Science, Associate Professor, Head of the Nature Protection and Hydrotechnical Construction Chair Samara State Technical University Architecture and Civil Engineering Academy 443100, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 244 E-mail: sali5@mail.ru

ОРЛОВА Алла Алексеевна

старший преподаватель кафедры природоохранного и гидротехнического строительства Самарский государственный технический университет Академия строительства и архитектуры 443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244 E-mail: allaorlova5@mail.ru

ORLOVA Alla A.

Senior Lecturer of the Nature Protection and Hydrotechnical Construction Chair Samara State Technical University Architecture and Civil Engineering Academy 443100, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 244 E-mail: allaorlova5@mail.ru

Для цитирования: Евдокимов С.В., Орлова А.А. Анализ работы механического оборудования в период эксплуатации гидротехнических сооружений ГЭС // Градостроительство и архитектура. 2022. Т. 12, № 3. С. 51–55. DOI: 10.17673/Vestnik.2022.03.7.

For citation: Evdokimov S.V., Orlova A.A. Analysis of the Operation of Mechanical Equipment during the Operation of Hydro Engineering Facilities of HPP. *Gradostroitel'stvo i arkhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2022, vol. 12, no. 3, pp. 51–55. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2022.03.7.