

МОНИТОРИНГ МОДЕРНИЗАЦИИ СИСТЕМ ГИДРОЭНЕРГЕТИКИ И МАШИННОГО ВОДОПОДЪЕМА

Олег ГЛОВАЦКИЙ, доктор технических наук, профессор,
 Рустам ЭРГАШЕВ, доктор технических наук, профессор,
 Бекмамат ХАМДАМОВ, кандидат технических наук, доцент,
 Александр ГАЗАРЯН, докторант,
 Умиджон ХАМДАМОВ, ассистент,
 Научно-исследовательский институт ирригации и водных проблем,
 Ташкентский государственный технический университет им. Ислама Каримова

Аннотация

В статье обосновывается необходимость разработки водо-энергосберегающих режимов реконструкции крупных объектов гидроэнергетики и ирригационных насосных станций. В рамках общей задачи исследований были проведены натурные испытания Ак-Кавакской ГЭС №1 и насосных станций Амубухарского машинного канала. Цель исследований — получение фактических параметров гидроэнергетического оборудования и водоподводящих сооружений, определение причин, снижающих надежность работы, выявление путей улучшения эксплуатации станции, получение баланса потерь энергии при различных режимах эксплуатации и разработка мероприятий по повышению среднеэксплуатационного КПД агрегатов. На основании мониторинга дается обоснование техноэкономических факторов модернизации оборудования и сооружений. Модернизация системы управления Ак-Кавакской ГЭС №1 осуществляется в схеме реконструкции по верхнему и агрегатному уровням управления, обеспечивающих обработку информации, поступающей от технологического оборудования и управляющих воздействий на исполнительные устройства оборудования. Модернизация системы управления гидротехническим сооружением предназначена для дистанционного управления и контроля режимов работы с отображением информации об измеряемых параметрах на экранах рабочих мониторов гидроагрегатов.

Ключевые слова: ГЭС, вода-энергосберегающий режим, гидроэнергетика, насосная станция, машинный водоподъем.

Актуальность работы определяется необходимостью повышения надежности работы и степени сбалансированности энергосистемы Республики путем внедрения современных технологий эксплуатации уникальных по мощности ГЭС и насосных станций (НС).

В Постановлениях Президента Республики Узбекистан по совершенствованию системы управления водными ресурсами и дальнейшему развитию гидроэнергетики обозначена необходимость разработки мер по ускоренному развитию систем водного хозяйства, энергетики и необходимых достижений при этом практических результатов [1, 2]. Они включают реконструкцию и модернизацию ГЭС и НС.

Цель исследования авторов заключается в анализе и разработке методов реконструкции Ак-Кавакской ГЭС-1 и НС Амубухарского машинного канала (АБМК). Для достижения поставленной цели в работе поставлены и решены следующие основные задачи:

- увеличение мощности гидроагрегатов с заменой гидроэнергетического оборудования за счет применения оборудования, обладающего высокими энергетическими и кавитационными показателями;
- приведение средств управления гидроагрегатами и технологическими процессами в соответствие с современными нормами инновационных технологий;
- повышение надежности и улучшение вибрационного состояния агрегатов.

Используются методы мониторинга технических про-

Annotation

The article substantiates the need to develop water-energy-saving regimes for the reconstruction of large hydropower facilities and irrigation pumping stations. As part of the general task of the research, full-scale tests of the Ak-Kavak HPP № 1 and pumping stations of the Amubukhara machine channel were carried out. The purpose of the research is to obtain the actual parameters of hydropower equipment and water supply structures, determine the causes that reduce the reliability of operation, identify ways to improve the operation of the station, obtain a balance of energy losses under various operating modes and develop measures to increase the average operating efficiency of the units. On the basis of monitoring, a substantiation of techno-economic factors for the modernization of equipment and structures is given. Modernization of the control system of Ak-Kavak HPP № 1 is carried out in the scheme of reconstruction on the upper and aggregate levels of control, which provide processing of information coming from process equipment and control actions on the actuators of the equipment. Modernization of the hydraulic structure control system is intended for remote control and control of operating modes with display of information about the measured parameters on the screens of the working monitors of hydraulic units.

Key words: HPP, water-energy-saving mode of hydropower, pumping station, machine waterfall.

ектов ГЭС и НС включающий, на основе последних научных достижений анализ особенностей их эксплуатации по вновь устанавливаемому гидротурбинному и насосному оборудованию. Внедрены рекомендации по улучшению существующего оборудования, остающегося в эксплуатации на основе водо-энергосберегающих режимов [3, 4].

Результаты и обсуждение.

В 2021-22 гг. авторы проводили мониторинг новых и перспективных ГЭС в Ташкентской области, которые включают реконструкцию и модернизацию ГЭС (рис.1).

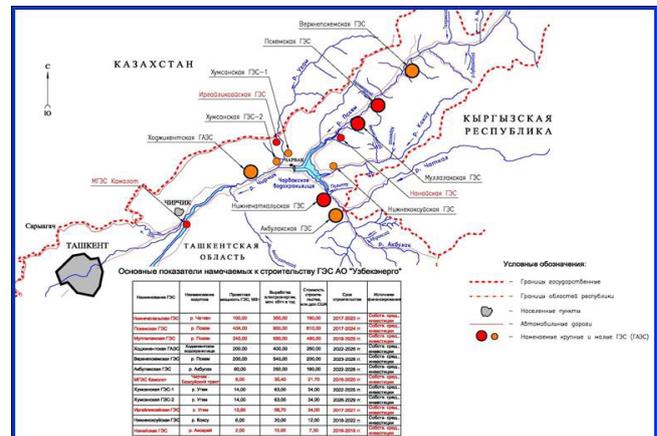
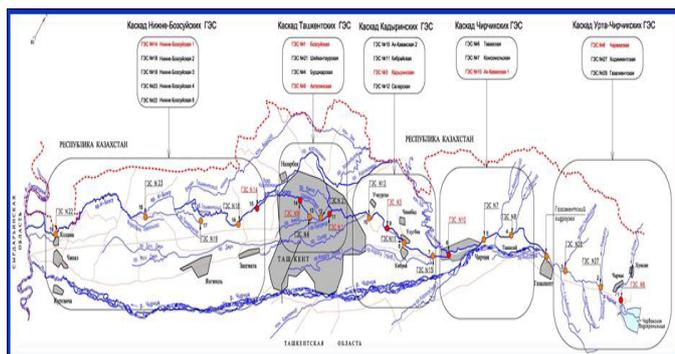


Рис.1. Модернизация ГЭС в Ташкентской области.



● ● - модернизируемые ГЭС

Исследования проводились на Ак-Кавакской ГЭС №1 (ГЭС 10), которая является третьей ступенью Каскада Чирчикских ГЭС и находится на расстоянии 8 км от второй ступени Каскада, на территории города Чирчик. Территория, занимаемая существующей станцией, расположена Нижнем деривационном канале Чирчик-Бозсуйского водно-энергетического тракта. Подача воды на Ак-Кавакскую ГЭС №1 осуществляется по деривационным каналам Чирчик-Бозсуйского водно-энергетического тракта.

В здании станции Ак-Кавакской ГЭС №1 в машинном зале были размещены два вертикальных гидроагрегата разных типов. Гидротурбина Г-1 радиально-осевая с рабочим колесом в бетонной спиральной камере. Гидротурбина Г-2 поворотной-лопастная с металлической спиральной камерой. Общая установленная мощность ГЭС составляет 33,8 МВт. В комплекс основных сооружений ГЭС входят: здание станции, шуговодосбор, напорный бассейн, напорный трубопровод, сифонный водосбор с быстротоком, защитное сооружение здания станции в верхнем бьефе, отводящий канал.

Годовой сток воды р. Чирчик в створе Чарвакской плотины в среднем за многолетие составляет 6,46 млрд. м³ или 204,7 м³/с, в створах Ходжикентской и Газалкентской плотин – 7,2 млрд. м³ или 228,4 м³/с.

Вода в каналы Ак-Кавакской ГЭС №1, режим которых подчинен требованиям энергетики и ирригации и изменяющийся в зависимости от водности р. Чирчик, поступает с верхнего бьефа плотины Газалкентского барража.

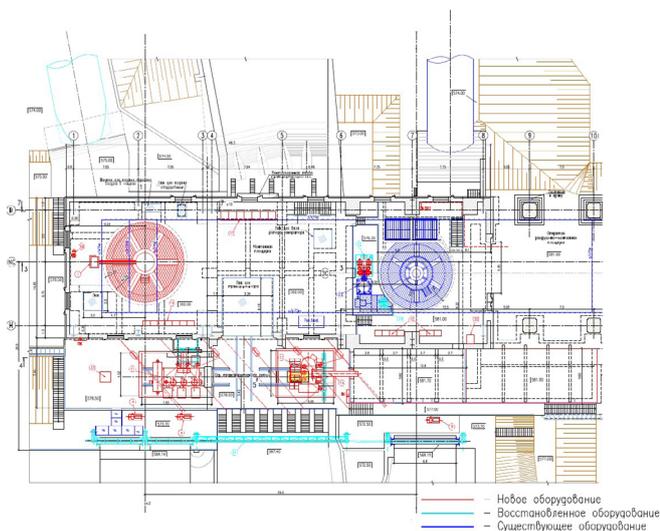


Рис.2. Модернизация оборудования. План машзала.

Основное количество воды по каналам пропускается в вегетационный период с апреля по сентябрь, наибольшие среднесуточные расходы наблюдаются с мая по июнь [5, 6].

На рис. 2 приведены новые компоновки оборудования в машзале Ак-Кавакской ГЭС-1.

Модернизация системы управления Ак-Кавакской ГЭС №1 осуществляется в схеме реконструкции центрального пульта управления (ЦПУ) по верхнему уровню управления.

Устройства, установленные на ЦПУ должны обеспечивать управление каждым агрегатом (пуск, остановку, аварийную остановку, изменение режимов работы) автоматически по графику с помощью средств АСУ ТП.

Система автоматизированного управления технологическими процессами ГЭС выполнена на базе отдельных комплексов технических средств, программно-технических комплексов и состоит из трех уровней:

- агрегатный уровень управления, обеспечивающий обработку информации, поступающей от технологического оборудования и управляющих воздействий на исполнительные устройства технологического оборудования;

- верхний уровень управления на центральном пульте (ЦПУ), осуществляющий централизованный контроль за технологическим процессом по всей станции;

- общестанционный уровень, осуществляющий контроль и управление частью технологического оборудования, объединенного по функционально территориальному признаку.

АСУ ТП ГЭС обеспечивает реализацию измерения и обработки аналоговой технологической информации по достоверности и обновлению базы данных, предназначенной для дальнейшего использования при реализации технологических задач.

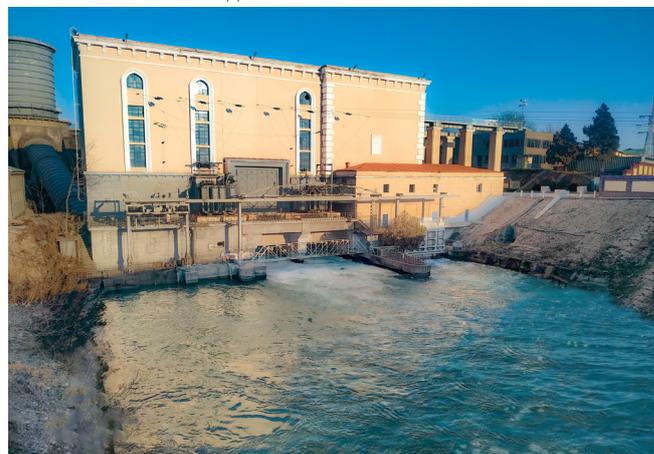


Рис.3. Сооружения и оборудование Ак-Кавакская ГЭС №1

Модернизация системы гидротехнических измерений и управления гидротехническим сооружением предназначена для измерения уровней воды, дистанционного управления затворами, сбора данных о состоянии оборудования, обеспечения контроля режимов работы должна обеспечивать работоспособность агрегатов, отображение информации об измеряемых параметрах на экранах рабочих мониторов гидроагрегатов (рис.3).

Конструкции и оборудование должны соответствовать местным климатическим, высотным и сейсмическим условиям.

Установленная мощность гидроагрегата Г-1, МВт 10,7. Проводится модернизация системы регулирования с за-

меной регулятора скорости и контрольно-измерительной аппаратуры агрегата.



Установленная мощность гидроагрегата Г-2 после модернизации увеличивается с 24 МВт до 29 МВт, число часов использования установленной мощности ГЭС в год 7372. Выполнение модернизации ГЭС-10 позволит привести станцию к современным эксплуатационным требованиям, а также увеличить среднемноголетнюю выработку электроэнергии на 42,2 млн. кВт.ч в год с 171,6 до 213,8 млн. кВт.ч в год за счет увеличения мощности и надежной без аварийной эксплуатации стационарного гидроузла.

Основные технические показатели ГЭС после модернизации приведены в табл.1.

Таблица 1. Основные технические показатели модернизации ГЭС.

| №п/п | Наименование показателей | Ед. изм. | Ак-Кавакская ГЭС №1 |
|------|---|-------------------|---------------------|
| 1. | Установленная мощность | МВт | 39,7 |
| 2. | Располагаемая мощность | МВт | 29,0 |
| 3. | Расчётный расход для Г-1 | м ³ /с | 45,0 |
| 4. | Расчётный расход для Г-2 | м ³ /с | 98,4 |
| 5. | Расчетный напор нетто для Г-1 | м | 27,83 |
| 6. | Расчетный напор нетто для Г-2 | м | 32,84 |
| 7. | Среднегодовое число часов работы при располагаемой мощности | час | 7372 |

Расчетные уровни в верхнем бьефе (Г-2), м:
 – форсированный уровень воды (ФПУ) 607,85;
 – нормальный подпорный уровень (НПУ) 607,80;
 Расчетные уровни в нижнем бьефе ГЭС (Г-2), м: Кривую см. п. 24.

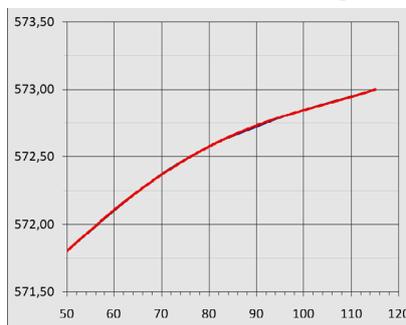
– при Q=98.4 м³/с (работа 1 агрегата при Nном и Нр) 572.80;
 – при максимальном расходе воды Q=105 м³/с 572.90.
 Обеспеченная высота отсасывания, м: минус 4.

Потери напора в подводящем тракте агрегата Г-2, м 2.16 (рис.4,5).

Напор (брутто), м: максимальный статический – 36,05
 Напоры ГЭС, м: расчетный по мощности Нр 32,84; минимальный рабочий Н_{мин} 32,76.

В рамках общей задачи исследований были проведены натурные испытания Аму-Бухарского машинного канала (АБМК). Цель исследований – получение фактических параметров насоса и водоподводящих сооружений станции; определение причин, снижающих надежность работы насосов; выявление путей улучшения эксплуатации станции за счёт устранения (уменьшения) кавита-

ционно-абразивного износа насосов; получение баланса потерь энергии при различных режимах эксплуатации и разработка мероприятий по повышению среднеэксплуатационного КПД насосных агрегатов (НА).



| Координаты кривой Q=f(VНБ) | |
|----------------------------|----------------------|
| VНБ, м | Q, м ³ /с |
| 571,80 | 50 |
| 572,10 | 60 |
| 572,40 | 71 |
| 572,60 | 81,5 |
| 572,64 | 84 |
| 572,85 | 100 |
| 573,00 | 115 |

Рис.4. Кривая зависимости уровня воды в нижнем бьефе ГЭС от расходов воды.

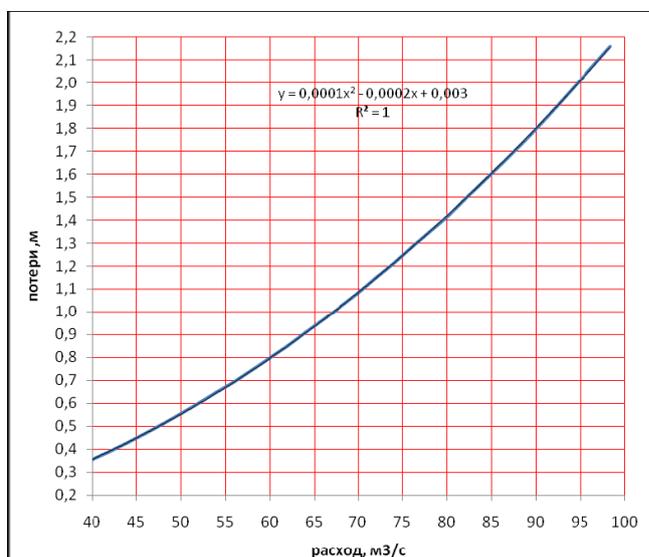


Рис.5. Кривая зависимости потерь напора в подводящем тракте от расходов воды.

Натурные исследования аванкамеры НС Кизилтепа проводились с целью оценки влияния конструктивного исполнения аванкамеры и гидравлических режимов потока на работу комплексов основного гидромеханического и энергетического оборудования крупных НС (рис.6).



Рис.6. Модернизация агрегатов и аванкамеры НС «Кизилтепа».

Спектральный анализ вибрации опорных конструкций НА показал, что основной уровень виброперемещений находится в спектре низких частот f = 5,5-33 Гц. Основными частотами спектра являются оборотная частота f = 5,5 Гц и лопастная частота рабочего колеса f = 33 Гц, а в спектре частот 50-100 Гц интенсивность вибрации имеет низкий уровень не превышающий 5 мкм.

В спектре вибрации конструктивных узлов агрегатов

явлений резонансного характера не обнаружено, что свидетельствует о достаточной жесткости опорных конструкций агрегата [7,8].

Указанный анализ вибрации опорных конструкций НА сравнивался с данными новой диагностической системой КНР на НС «Кизилтепа» с измерением подачи расходомером типа GER 9000. Вибродатчики устанавливались на НА в одной вертикальной плоскости со стороны УВНБ на верхней крестовине, для измерения горизонтальной (X), радиальной (Y), вертикальной на корпусе насоса (Z) вибрации (табл.2).

Амплитуда вибрации мк. Таблица 2.

| № НА | Q | X | Y | Z |
|------|---------------|---------|-----|------|
| 1 | 13,205-13,260 | 0,7-2,1 | 1,0 | -0,2 |
| 8 | 13,519-13,632 | 4,7 | 0,2 | 0,1 |
| 10 | 13,740-13,940 | 1,0-2,0 | 0,8 | -0,2 |

В целях обеспечения большей достоверности натурной характеристики Q-H полный напор, измеряемый по показаниям образцовых манометров, на каждом режиме работы насоса сопоставляется с напором, полученным как сумма геометрической высоты подъема воды и гидравлических потерь.

Напор насоса определяется как приращение удельной энергии подаваемой жидкости на участке от входа в насос (колена подвода) до выхода из насоса.

$$H = M_0 - (\Delta H_B)_0 + \frac{V_n^2 - V_B^2}{2g} \text{ м. вод. ст.},$$

где M_0 - приведенное к оси насоса показание манометра, установленного на напорном фланце.

$$M_0 = \frac{PH}{\gamma} + Z, \text{ м. вод. ст.}$$

$(\Delta H_B)_0$ -приведенный к оси насоса подпор
 $(\Delta H_B)_0 = \Delta H_B - \Delta P_K$

При кавитационных испытаниях насосов было замечено некоторое увеличение напора и КПД насоса перед началом кавитации. Это может быть объяснено тем, что перед началом кавитации начинается отрыв воды от стенок каналов рабочего колеса и сопротивление на трение уменьшается с соответствующим увеличением напора и КПД насоса зафиксированными на новом модернизированном оборудовании в машзале для диагностики параметров насоса (рис.7).



Рис.7. Монитор для диагностики параметров насоса и сигнальный шкаф с трехцветным контролером состояния насосного агрегата.

Характеристики, отображенные на экране, слева направо: напор в бассейне нижнего бьефа (6,16м), давление в подводящем трубопроводе (0,075 МПа), давление в отводящем трубопроводе до задвижки (0,479 МПа), давление в отводящем трубопроводе после задвижки (0,479 МПа), показания расходомера (12,354 м³/с), напор в бассейне верхнего бьефа (4,81м).

Выводы:

1. Для повышения эффективности эксплуатации проведены исследования режимов компоновочных решений оборудования Ак-Кавакской ГЭС-1, необходимыми для оценки эксплуатационных качеств оборудования и сооружений ГЭС.

2. Рассмотрены параметры существующих гидротурбин и гидрогенераторов агрегатов Г-1 мощностью 10,7 МВт и Г-2 мощностью 24 МВт РО 122/250 изготовления фирмы ЛМЗ. Полученные результаты позволяют сохранить основные принципы компоновки существующего агрегата Г-2, габаритных размеров проточной части. Для увеличения мощности Ак-Кавакской ГЭС-1 приведены чертежи с применением новых компоновок оборудования.

3. На ГЭС выполняется внедрение автоматизированной системы управления технологическими процессами (АСУ ТП ГЭС). Гидроагрегаты укомплектованы средствами автоматизации для обеспечения их работы без постоянного присутствия оперативного персонала в машзале на новом модернизированном оборудовании для диагностики параметров насоса.

Список использованной литературы:

1. Постановление Президента Республики Узбекистан № ПП-4486 от 9 октября 2019 года «О мерах по дальнейшему совершенствованию системы управления водными ресурсами» // www.lex.uz
2. Постановление Президента Республики Узбекистан № ПП-44 от 10 декабря 2021 года «О дополнительных мерах по дальнейшему развитию гидроэнергетики» // www.lex.uz
3. Glovatsky O.Ya., Ergashev R.R. Reliability assessment and measures for resources-saving on water lifting engine systems in the republic of Uzbekistan. Journal «Perspectives of Innovations, Economics and Business» Volume 4. — Issue 1. — Prague 2010. — PP. 111-113.
4. Гловацкий О.Я., Шарипов Ш.М. Некоторые проблемы энергосбережения в системах машинного водоподъема Республики Узбекистан // Проблемы энерго и ресурсосбережения. №1, 2. — Т., 2011. — С. 128-131.
5. Гловацкий О.Я., Хамдамов Б., Азимов А.Б., Хамидов Б.Д., Иноятова К.Л. Энергосберегающие режимы гидроэнергетических установок // Журнал Проблемы энерго- и ресурсосбережения. №4, 2021. — С. 340-345.
6. Газарян А.С., Гловацкий О.Я., Хамдамов Б., Азизов О.Р. Совершенствование технологических режимов насосных станций в условиях нестационарного движения жидкости // Научно-практический журнал «Пути повышения эффективности орошаемого земледелия». — Новочеркасск, №4(76), 2019. — С. 137-142.
7. Glovatskiy O., Djaburiyev O., Urazmukhamedova Z., Gazaryan A., F.Akhmadov Interconnection of influent channel and pumping station units // XXII International Scientific Conference on Advanced in Civil Engineering / construction the formation of living environment, April 18-21, 2019.
8. Насырова Н.Р., Носиров Ф.Ж., Юсуфов Н.И. Использование новых технических решений для оптимизации режимов систем машинного водоподъема // Научно-практический журнал «Пути повышения эффективности орошаемого земледелия». — Новочеркасск, №1(65), 2017. — С. 170-174.