



параметрів пульсації тиску моделі поворотно-лопа-тевої гідротурбіни. Експериментально були визна-чені логарифмічні декременти коливань, що можуть бути використані при розрахунку реальних ГА.

Отримана вібраційно-пульсаційна характе-ристика модельної турбіни. Також побудовані СЕ-мо-дель ротора модельного ГА, за допомогою якої бу-ло визначено теоретичний спектр відклику систе-ми. Припущення про навантаження механічної си-стеми типу "білий шум" може бути прийнятим, од-нак, в залежності від режиму роботи та характери-стик джгутів, що утворюються в робочій камері, білий шум може перетворюватись на забарвлені або інші шумоподібні процеси, характеристики яких потребують подальшого вивчення.

**ЛІТЕРАТУРА.**

1. Аносов Ф.В., Белобородов А.В., Гуцин М.В. и др. Модельные исследования гидротурбин /Под ред. В.М. Малышева. – Л. : Машиностроение, 1971. – 288 с.
2. Водка А.А., Трубаев А.И., Ульянов Ю.Н. Виброизмерительный комплекс на основе микроэлектромеханического сенсора//Вісник Східноукраїнського Національного університету ім. В. Даля. – Луганськ: 2012. – № 9 (180). Ч.1. – С. 140–147.
3. Зенкевич О.К. Метод конечных элементов в технике / О.К. Зенкевич. – М. : Мир, 1975. – 420 с.
4. Бабаков И.М. Теория колебаний / Иван Михайлович Бабаков. – М. : Дрофа, 2004. – 591 с.

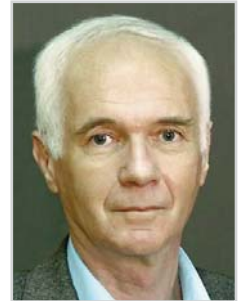
© Рябов А.В., Катасонов О.Ю., Бондаренко А.В., Трубаев О.І. Водка О.О., Ульянов Ю.М., 2013



УДК 626/627

ЛАНДАУ Ю.А., док. техн. наук, зам. технического директора  
ПАО "Укргідропроєкт", г. Харьков

# НАРОДНО-ХОЗЯЙСТВЕННОЕ ЗНАЧЕНИЕ И БЕЗОПАСНОСТЬ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ ГЭС ДНЕПРОВСКОГО КАСКАДА



**1.** Состав гидротехнических сооруже-ний ГЭС Днепроовского каскада. Дне-провский каскад включает шесть ГЭС с водохранилищами (Рис. 1), параметры которых приведены в Табл. 1.

Мощность ГЭС каскада 3,67 млн. кВт, средне-многoletняя выработка електроенергии 9,3 млрд. кВт-ч, полезная емкость водохранилищ 18,4 км<sup>3</sup>.

5 ГЭС каскада – низконапорные с максима-льными напорами от 11,1 м (Каневская ГЭС) до 17,7 м (Кременчугская ГЭС), ДнепроГЭС – среднена-порная с максимальным напором 38,2 м.

В состав пяти низконапорных ГЭС входят зда-ния ГЭС, водосливные плотины, шлюзы, в основа-нии которых залегают мягкие грунты (на Кремен-чугской и Днепродзержинской – скальные и полу-скальные), земляные плотины и дамбы общей дли-ной 79 км (в том числе самые длинные на Киевской

40,9 км), выполненные в основ-ном из песчаных грунтов с креплением верхового откоса железобетонными плитами, каменной на-броской. Сооружения эксплуатируются от 40 лет (Каневская ГЭС) до 56 лет (Каховская ГЭС).

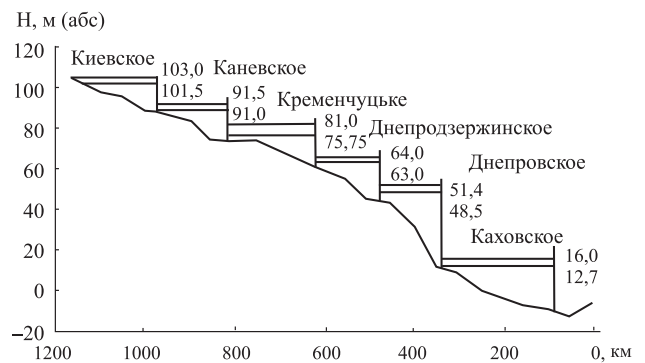


Рис. 1. Продольный профиль Днепра и водохранилищ Днепроовского каскада (цифрами показаны нормальный подпорный уровень и уровень мертвого объема)

Таблица 1. Основные характеристики водохранилищ и ГЭС Днепроовского каскада

Наименование ГЭС и водохранилища	Год заполнения	Мощность ГЭС, МВт	Объем, км <sup>3</sup>		Площадь зеркала, км <sup>2</sup>	Протяженность, км	Глубина, м	
			полный	полезный			макси-мальная	Средняя
Киевское	1965	361	3,73	1,17	922	110	19,5	4
Каневское	1972	444	2,62	0,30	675	123	21,0	3,9
Кременчугское	1961	625	13,5	9,0	2250	149	20,0	6,0
Днепродзержинское	1964	352	2,45	0,27	576	114	16,0	4,3
Днепроовское (ДнепроГЭС I, II)	1933 1980	1538	3,3	0,83	410	129	53,0	8,0
Каховское	1956	351	18,2	6,8	2150	230	24,0	8,5
<b>Всего:</b>		<b>3671</b>	<b>43,81</b>	<b>18,37</b>	<b>6983</b>	<b>855</b>		



Таблиця 2. Данные о каскадах ГЭС различных стран мира

Страна	Река	Количество ступеней каскада ГЭС	Суммарная мощность ГЭС, млн кВт	Суммарный объем водохранилищ, км <sup>3</sup>		Площадь зеркала водохранилищ, тыс. км <sup>2</sup>	Протяженность водохранилищ, км
				полный	полезный		
Россия	Волга	8	8,6	152,3	70,5	20,7	3000
Россия	Кама	3	2,6	34,5	17,3	5,6	900
Украина	Днепр	6	3,7	43,8	18,4	7,0	860
Канада	Ла Гранд	5	-	158,6	68,6	9,6	650
США	Теннесси	15	4,0	32,4	16,0	3,5	1290

Все сооружения средненапорной ДнепроГЭС: бетонные плотины, здания ГЭС, судоходные шлюзы, — выполнены на скальном основании. Сооружения ДнепроГЭС-1 эксплуатируются 80 лет, а ДнепроГЭС-2 — 32 года.

Учитывая длительный срок эксплуатации, старение сооружений и технологического оборудования, с 1995 г. ведется реконструкция сооружений ГЭС каскада, основными задачами которой является повысить безопасность сооружений, обеспечить современные требования к сооружениям и технологическому оборудованию, повысить энергетические показатели.

В соответствии с действующими нормами сооружения Кременчугской, Каховской и ДнепроГЭС относятся к классу ССЗ (классу капитальности I), а Киевской, Каневской и Днепродзержинской ГЭС к классу СС2-1 (классу капитальности II).

Водосбросные сооружения гидроузлов каскада при I классе капитальности обеспечивают при форсированном подпертом уровне (ФПУ) пропуск расчетных максимальных паводков 0,01% обеспеченности (например, для ДнепроГЭС — 26,9 тыс. м<sup>3</sup>/с), при II классе капитальности — 0,1% обеспеченности (например, для Днепродзержинской ГЭС — 20,7 тыс. м<sup>3</sup>/с). При этом ФПУ превышает нормальный подпертый уровень (НПУ) для различных ГЭС каскада от 1,1 м (Киевская ГЭС) до 2 м (Каховская ГЭС). При ФПУ объемы водохранилища увеличиваются от 1,1 км<sup>3</sup> (около 3 0%) для Киевской ГЭС, до 4,4 км<sup>3</sup> (на 24 %) для Каховской ГЭС.

ГЭС и водохранилища каскада являются важнейшими народно-хозяйственными объектами и одновременно объектами повышенной опасности.

Каскады ГЭС на равнинных реках, аналогичные Днепровскому каскаду и даже более мощные, построены во многих странах: России, США, Канаде и др. (Табл. 2).

## 2. Водные ресурсы Днепра, водообеспеченность территории Украины.

Среднегодовой объем годового стока Днепра около устья в районе Каховской ГЭС в природных условиях составляет около 53 км<sup>3</sup>, в маловодном году (95 %) — 31,8 км<sup>3</sup>, а среднегодовой расход соответственно 1670 м<sup>3</sup>/с и 1010 м<sup>3</sup>/с.

Характерной особенностью водного режима Днепра является неравномерность стока в течение года. Так. В среднем 75–80 % стока проходит в течение 3 месяцев весенних паводков. В этот период наблюдались максимальные паводки, например в районе Киева в 1931 г. — расход 23,1 тыс. м<sup>3</sup>/с, что соответствует 0,3% обеспеченности, в 1970 г. — 18,5 тыс. м<sup>3</sup>/с, что соответствует 1 % обеспеченности. На остальные 9 месяцев года приходится 20–25 % годового стока, когда расходы резко снижаются в среднем до 450 м<sup>3</sup>/с, а в маловодные годы, например в районе Киева в 1921 г. — до 93 м<sup>3</sup>/с. Характерный график изменения расходов р. Днепр в створе Кременчугской ГЭС в многоводные и маловодные годы приведены на Рис. 2.

В таких условиях только благодаря внутригодовому регулированию стока водохранилищами каскада полезной емкостью 18,4 км<sup>3</sup>, что составляет более 34 % среднегодового стока, обеспечивается снижение максимальных и увеличение минимальных в межень период расходов и эффективное использование водных ресурсов в народно-хозяйственном комплексе. Следует отметить, что по водо-

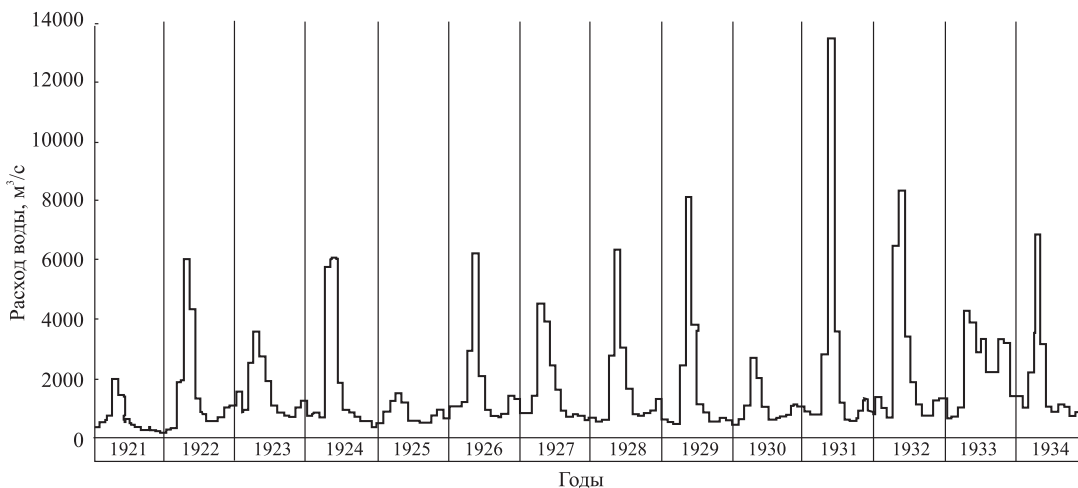


Рис. 2. График расходов р. Днепр в створе Кременчугской ГЭС (с охватом многоводных и маловодных периодов)



обеспеченности Украина занимает одно из последних мест в Европе при речном стоке, приходящимся на 1 жителя в год – 1,8 тыс. м<sup>3</sup>/чел.

В условиях изменения климата, как показывают исследования [1], на большей части территории Украины формируются стойкие позитивные тенденции изменения стока. Так, средние величины увеличения стока в бассейне Днепра (с 1880 по 2004 г.) составляют для рек верхнего Днепра – 20 %, а нижнего Днепра – 9,5 %.

**3. Значение каскада Днепровских ГЭС для народно-хозяйственного комплекса Украины.** Каскад Днепровских ГЭС и водохранилищ является мощным водохозяйственным и энергетическим комплексом, имеющим огромное значение для экономики Украины.

Благодаря водохранилищам каскада ГЭС обеспечивается коммунально-бытовое, промышленное и сельскохозяйственное водоснабжение крупнейших промышленных и сельскохозяйственных регионов, охватывающих в целом более 50 % территории страны, где проживает более 30 млн. человек, в том числе Донбасса, Кривого Рога, Приазовья, Крыма, орошение около 1 млн. га земель в южных засушливых районах страны и в Крыму. Необходимо отметить, что дефицит воды является одной из угроз национальной безопасности страны.

Каскад Днепровских ГЭС, вырабатывает более 9 млрд. кВт·ч электроэнергии в год, выполняет важнейшую роль в объединенной энергосистеме Украины, (где около 50 % электроэнергии вырабатывается базисными АЭС, около 43 % базисными ТЭС и ТЭЦ), покрывая пиковую часть графика нагрузок и обеспечивая функции аварийного и частотного резерва энергосистемы. В условиях, когда оборудование на большинстве ТЭС выработало свой ресурс, что приводит к повышению аварийности, именно высокоманевренные ГЭС являются тем аварийным резервом объединенной энергосистемы (ОЭС) Украины, который при возникновении нештатных ситуаций (внезапном отключении, например, блока АЭС, аварии на ЛЭП) позволяют быстро нарастить мощности в энергосистеме, сохранить ее работоспособность, не допустив развала. В 1998 г., когда отключился блок Южно-Украинской АЭС, аварийное включение агрегатов Кременчугской ГЭС позволило сохранить работоспособность ОЭС Украины. Значение высокоманевренных ГЭС как аварийного резерва ОЭС Украины будет возрастать.

Благодаря водохранилищам каскада ГЭС, обеспечивающих регулирование стока Днепра, фактически ликвидирована угроза разрушительных наводнений в его бассейне.

Защита от наводнений является одной из важных экономических, социальных и природоохранных задач, решаемых водохранилищами каскада.

Рекреационное использование водохранилищ каскада ГЭС решает важную социальную задачу, обеспечивая отдых населения.

Благодаря каскаду ГЭС создана глубоководная

транспортная система по Днепру длиной 870 км. В 1985 г. грузооборот по Днепру составил 60 млн. т.

- Создание каскада водохранилищ позволило многократно увеличить рыбные ресурсы. В последние годы промышленный вылов рыбы из водохранилищ составляет 8–9 тыс. т-год.

- Важнейшее природоохранное и социальное значение имеет обеспечение из водохранилищ каскада гарантированных санитарно-экологических попусков в меженные периоды маловодных лет.

**4. Обеспечение безопасности гидротехнических сооружений ГЭС Днепровского каскада с учетом принятых в мире подходов.** ГЭС и водохранилища Днепровского каскада, имеющие огромное значение для экономики Украины, являются потенциально опасными объектами, аварии на которых могут привести к тяжелейшим последствиям.

Гидротехнические сооружения ГЭС каскада эксплуатируются длительный срок от 40 лет (Каневская ГЭС) – 56 лет (Каховская ГЭС), до 80 лет (ДнепроГЭС1), в связи с чем происходит их старение. С течением времени меняются нормативные требования. Обеспечение безопасности гидротехнических сооружений является важнейшей государственной задачей.

В соответствии с современными требованиями с 1995 г. в ПАО "Укргидроэнерго" ведется комплексная реконструкция ГЭС каскада (1 очередь реконструкции закончена в 2002 г., II очередь должна быть закончена в 2019 г.). В процессе реконструкции на основании исследований и анализа состояния сооружений проводится усиление сооружений и конструкций, дополнительное оснащение КИА, замена технологического оборудования на современное.

На трех ГЭС (Киевской, Каховской и Кременчугской) введены, а на остальных находятся на этапе внедрения автоматизированные системы контроля с использованием КИА, что позволяет обеспечить современный уровень контроля за безопасностью сооружений.

ПАО "Укргидроэнерго" на всех ГЭС каскада ведет мониторинг с выполнением комплексного многофакторного анализа технического состояния сооружений на основании КИА, природных и техногенных воздействий на них, сравнением наблюдаемых с расчетными параметрами (предельно допустимые показатели) и критериями их безопасности, проводятся систематические обследования, чем достигается контроль безопасности сооружений.

Важнейшей задачей мониторинга является своевременное выявление опасного развития процессов и подготовка управляющих решений.

При выявлении несоответствия критериям безопасности даются рекомендации по управляющим решениям и мероприятиям по обеспечению безопасности сооружений (см. Табл. 3).

К основным нормативным документам, регламентирующим требованиям по безопасности сооружений и введенным в Украине после 1991 г., относятся:



Таблиця 3. Зависимость характера управляющих решений от состояния объекта

Состояние объекта	Ситуация	Характер управляющих решений
Проектное (нормативное)	Устойчивая	-
Нарушенное	Необратимая (кризисная)	Проведение восстановительных мероприятий
Сильно нарушенное	Чрезвычайная (катастрофическая)	Принятие срочных специальных мер

34.03.106-2003 — Безопасность гидротехнических сооружений и гидромеханического оборудования Украины. Положение об отраслевой системе надзора

34.20.507-2003 — Техническая эксплуатация электрических станций и сетей. Правила

34.21.342-2003 — Типовая техническая программа обследования гидротехнических сооружений и гидромеханического оборудования электростанций

ДБН В.1.2-9-2008 — Технічний регламент будівельних виробів, будівель і споруд. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Основні вимоги до будівель і споруд. Безпека експлуатації

ДБН В.1.2-6-2008 — То же. Механічний опір та стійкість

ДБН В.1.2-14-2008 — То же. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ

ДБН В.1.2-4-2006 — Інженерно-технічні заходи цивільного захисту (цивільної оборони)

Большое количество действующих нормативных документов в области гидротехники и гидроэнергетики, определяющих безопасность, условия проектирования и эксплуатации гидротехнических сооружений, ГЭС и ГАЭС были разработаны в 70—80 гг. прошлого века и не соответствуют современным требованиям.

Необходима утвержденная программа обновления нормативно-правовой базы в области гидротехники и гидроэнергетики. Эти нормативно-правовые акты являются важнейшей составляющей обеспечения на современном уровне безопасности гидротехнических сооружений.

В Украине, кроме крупных гидроэнергетических объектов, таких как каскады ГЭС на Днепре и Днестре, существует большое количество малых и средних ГЭС, водохранилищ разного назначения. Всего в состав водохозяйственного комплекса страны входит 1103 водохранилища объемом 55 км<sup>3</sup> [2]. При этом, как показывают уроки аварии 6 июля 2012 г. с прорывом плотины в результате дождевого паводка относительно небольшого Незджайского водохранилища в России, предназначенного для водоснабжения г. Новороссийска, эта авария привела к тяжелейшим последствиям, многочисленным жертвам и чрезвычайной ситуации в г. Крымске.

В Китае, где более 20 тысяч плотин высотой более 15 м, зафиксировано 3500 аварий, сопровождавшихся прорывом плотин. Причем большинство

аварий произошло на небольших и средних грунтовых плотинах [3].

В России с 1997 г. действует закон "О безопасности гидротехнических сооружений" и соответствующие подзаконные акты, с 2011 г. закон "Об обязательном страховании гражданской ответственности владельца опасного объекта за причинение вреда в результате аварии на опасном объекте", успешно реализуется программа обновления нормативно-правовой базы в области безопасности, проектирования и эксплуатации гидротехнических сооружений и гидроэнергетических объектов.

Вопросы обеспечения безопасности гидротехнических сооружений, оценки и регулирования риска аварий плотин находились в центре внимания многих конгрессов Международной Комиссии по большим плотинам (ICOLD), в том числе последнего 24 конгресса ICOLD, проходившего 6—9. 06. 2012 г. в г. Кисто (Япония), в работе которого принимала участие делегация Украины.

На 24 конгрессе ICOLD [4] обсуждались вопросы:

- оценки и регулирования рисков;
- нормативно-правовое обеспечение безопасности плотин;
- опыт эксплуатации, включая ремонт и реконструкцию плотин;
- чрезвычайные ситуации, имевшие место на сооружениях, в том числе при землетрясениях.

Как показывает мировой опыт, на основе анализа и оценки рисков аварий, можно оптимизировать технические и организационно-управленческие решения, минимизировать риски аварий плотин, неблагоприятные материальные и социальные последствия аварий.

Опыт эксплуатации плотин подтверждает эффективность регулирования риска аварий и обеспечения безопасности плотин на основе автоматизированной системы мониторинга состояния плотины и внешних воздействий в сочетании с современными техническими средствами раннего предупреждения.

При проектировании и эксплуатации гидроузлов важно обеспечить:

- комплексный подход;
- возможность оперативного уменьшения объема водохранилища, в том числе при использовании глубинных водосбросов;
- дублирование гидромеханического оборудования, обеспечивающего пропуск расходов, в том числе бесперебойное электроснабжение;
- нормативное состояние плотин в условиях эксплуатации с учетом их старения за счет выполнения мероприятий по реконструкции, ремонту.



Одним из важнейших факторов обеспечения безопасности является оценка ущерба и последствий при прорыве плотины на основе выполненных на современном уровне расчетов прорывной волны при различных сценариях. Такие расчеты прорывной волны с оценкой ущерба и последствий при прорыве плотин, выполненные на современном уровне, чрезвычайно важные для Днепроовского каскада ГЭС. Именно на основании анализа результатов этих данных можно разработать мероприятия по уменьшению возможного ущерба.

**Выводы.**

Исходя из современных принятых в мире подходов, для обеспечения дальнейшего повышения безопасности сооружений ГЭС Днепроовского каскада следует:

1. Разработка и принятие Верховным Советом Закона Украины "О безопасности гидротехнических сооружений".
2. На основании принятия Закона Украины "О безопасности гидротехнических сооружений" подготовить новые и внести необходимые изменения в действующие законодательно-правовые акты, включая реорганизацию системы государственного контроля за безопасностью этих сооружений.
3. Разработать программу обновления нормативной базы в гидротехнике и гидроэнергетике, где предусмотреть этапы и сроки разработки нормативных документов, в том числе ускорить сроки разработки первоочередных нормативных документов.
4. Провести в 2014 г. плановое комплексное обследование состояния и безопасности гидротех-

нических сооружений ГЭС Днепроовского каскада (последнее обследование было проведено в 2009 г.) с привлечением представителей научно-исследовательских и проектных организаций с анализом соответствия параметров сооружений новым нормативным документам.

5. Внедрить в 2014 г. автоматизированные системы контроля состояния гидротехнических сооружений Каневской, Днепроодзержинской и ДнепроГЭС.

6. Рассмотреть вопрос создания "Аналитического центра безопасности гидротехнических сооружений ГЭС Днепроовского и Днестровского каскадов", куда будет поступать вся информация для анализа состояния сооружений и разработки оперативных решений для недопущения аварийных ситуаций.

7. Разработать и реализовать "Программу мероприятий по повышению уровня безопасности сооружений ГЭС Днепроовского каскада".

**ЛИТЕРАТУРА**

1. *Сніжко С. та інші.* Оцінка можливих змін водних ресурсів місцевого стоку в Україні в XXI столітті. / Водне господарство України. — 2012. — № 6.
2. *Сташук В.* История, современные проблемы и перспективы развития водного хозяйства Украины. / Водне господарство України. — 2012. — № 6.
3. *Иващенко И.Н., Иващенко К.И.* Оценка и регулирование риска плотин. / Гидротехническое строительство. — 2013. — № 3.
4. *ICOLD (2012)* . Trans of 24 Congress, Q93 "Safety of dams", Kyoto, Japan.

© Ландау Ю.А., 2013



УДК 621.313

**КАСЬЯНИУК Я.Л.**, нач. цеху комп'ютерних технологій, релейного захисту та зв'язку каскаду Київських ГЕС і ГАЕС

## НОВІ ТЕХНОЛОГІЇ В АВТОМАТИЗАЦІЇ КИЇВСЬКОЇ ГЕС

У наступному 2014 році Київській ГЕС виповняється 50 років. Протягом всіх років експлуатації виконується модернізація всього працюючого устаткування зі збільшенням показників станції таких як ККД, потужність, і ін., так і збільшення надійності як самого устаткування, так і греблі ГЕС.

Хотілося б зупинитися на застосуванні нових технологій в автоматизації станції, так як однією із вагомих позитивних властивостей гідроенергетичного устаткування ГЕС є високий рівень автоматизації, якого неможливо досягти на теплових і атомних електростанціях. Значними перевагами автоматизованої роботи гідроелектростанцій є підвищення надійності і економічності роботи гідроагрегатів, підвищення маневреності енергетичного ус-

таткування, скорочення часу їхнього пуску й зупинки, виключення можливості хибних операцій при керуванні гідроагрегатами, значне зменшення аварійних ситуацій і наслідків аварій, підвищення рівня централізації керування енергосистемою, зменшення кількості оперативного персоналу і, як результат всього, зниження собівартості електроенергії.

Так протягом останніх 15 років реалізується реконструкція систем автоматизації станції, систем керування, збудження, систем обліку електричної енергії, а також систем електричних і технологічних захистів, використовуючи передові світові технології із застосуванням мікропроцесорної техніки.

